

Repüléstudományi tanulmányok

Repüléstudományi Szemelvények 2020

Szerkesztette

Szilvássy László, Békési Bertold



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi tanulmányok

Repüléstudományi tanulmányok

Repüléstudományi szemelvények 2020

Szerkesztette

Szilvássy László, Békési Bertold



Budapest, 2021

Szerzők
Bárdos György
Békési Bertold
Domján Károly
Dunai Pál
Györe István
Kavas László
Kiss Béla
Major Gábor
Novoszáth Péter
Óvári Gyula
Rózsa Benjamin
Siska Miklós
Szabó Sándor András
Szaniszló Zsolt
Tótká Zsolt
Vada Gergő
Varga Béla

Szakmai lektorok
Palik Mátyás
Szabó Sándor András
Szilvássy László
Svéd László
Vas Tímea

Kiadja a Nemzeti Közszerológati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó Iroda
A kiadásért felel: Koltay András rektor

Székhely: 1083 Budapest, Ludovika tér 2.
Kapcsolat: kiadvanyok@uni-nke.hu

Felelős szerkesztő: Karácsony Fanni
Olvasószerkesztő: Bujdosó Hajnalka
Korrektor: Tar Krisztina
Tördelészerkesztő: Stubnya Tibor

A borítóképet † Kővári László (jetplanes.blog.hu) készítette

DOI: https://doi.org/10.36250/00924_00

ISBN 978-963-531-631-1 (ePDF) | ISBN 978-963-531-632-8 (ePub)

© A szerkesztő, 2021
© A szerzők, 2021
© A kiadó, 2021

Minden jog védve.

Tartalom

Szabó Sándor András, Tótká Zsolt, Domján Károly, Dunai Pál, Vada Gergely: Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben	11
Dunai Pál, Györe István, Szabó Sándor András: Teljesítménydiagnosztika alkalmazása a repüléstudományi kutatásokban	43
Óvári Gyula, Kavás László, Szaniszló Zsolt: Véget ért egy fejezet... vagy mégsem? Lesz-e személyzeti mentőejtőernyő a Magyar Honvédség új helikoptertípusainak fedélzetén?	109
Békési Bertold: Műszertan I.	151
Novoszáth Péter: A Covid-19-járvány hatásai a repülési ágazatra	209
Bárdos György, Dunai Pál: Pszichometria és pszichomotoros vizsgálatok alkalmazása a repüléstudományi kutatásban	249
Kiss Béla – Major Gábor: Légből kapott segítség a Covid-19 ellen	281
Varga Béla, Kavás László, Rózsa Benjamin: Repülőgép-hajtóművek hatásfokai, és hatások a szén-dioxid-kibocsátásra	311
Siska Miklós: Milyen közeli és a távolabbi célok felé „repül” a légi forgalom?	345

Vákát

A könyv szerzői

BÁRDOS GYÖRGY prof. dr. az Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Egészségfejlesztési és Sporttudományi Intézetének oktatója, az Életmód, Egészség, Szabadidő Kutatócsoport vezetője, az MTA doktora. Több száz publikáció szerzője, kutatási területének elismert hazai és nagy tekintélyű nemzetközi szakértője. Szerteágazó oktatótevékenységét az ELTE neveléstudományi, pszichológiai, biológiai és az SZFE doktori iskoláiban végzi. Fő kutatási területei közé tartozik a pszichofiziológia, a sport és rekreáció, a viselkedés és magatartás, a pszichovegetatív kölcsönhatások, a nem specifikus egészségproblémák, az öregedés és halál, az életmód és pszichológia.

BÉKÉSI BERTOLD dr. alezredes, a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszékének egyetemi docense, az állami légiközlekedési szak katonai repülőműszaki szakirányának felelőse, tantárgyfejlesztője. Kutatásaival UAV-szakértőként és alternatívüzemanyag-szakértőként vett részt az egyetemen folyó pályázatokban. Szakterületei közé tartozik a katonai repülésben alkalmazott üzemeltetési rendszerek kiszolgálási elveinek vizsgálata, a repülőeszközökön alkalmazott energetikai rendszerek, a repülőgépek villamos hajtóművei, a megújuló energia alkalmazása a fedélzeten és a pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos kutatások vizsgálata.

DOMJÁN KÁROLY mk. zászlós, közlekedésmérnök, alkalmazott kutató. Fő érdeklődési területe a repülőorvosi környezetben végzett szimuláció, amelynek eredményeként 2013-tól pályázati keretek között részt vett egy hordozható szimulátorkonzol fejlesztésében. 2016-tól csatlakozott az NKE keretein belül folyó, de külsős partnerek számára is nyitott pályázathoz, amelynek keretében az „aviation human” kutatási terület szakértőjeként repülőorvosi VR-műszerszakot fejlesztett. A tesztrendszer mellett kidolgozás alatt áll az új eljárási dokumentáció, és folyamatosan fejlesztik a műszerrendszert is. A kutatási program folytatása a jövőben is várható.

DUNAI PÁL dr. testnevelő tanár, humán kineziológus. Az NKE Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszékének oktatója, egyetemi docens. A felsőoktatásban 30 éve tanít testnevelést és a repülés humán tényezőjével kapcsolatos elméleti tantárgyakat. Az állami légiközlekedési szak légijármű-vezető szakirányának felelőse. Az NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója és témavezetője. Kutatási területei: pilóták, repülésirányítók és pilóta nélküli légi járművek operátorainak speciális felkészítése, teljesítményelemzése. A repülő-hajózó állomány speciális földi felkészítésének elmélete és gyakorlata a repülésélettani és magasságélettani sajátosságok figyelembevételével. Teljesítménydiagnosztikai és pszichofiziológiai vizsgálólaboratórium vezetője.

GYÖRE ISTVÁN dr. az Országos Sportegészségügyi Intézet Kutatóosztálya Spiroergometria Laboratóriumának megbízott osztályvezetője. 1987 óta foglalkozik alkalmazott kutatással a sportélettan és terhelésélettan területén, elsősorban a maximális terhelhetőség és az optimális edzésintenzitás élettani vonatkozásait vizsgálva élsportolókon. Sokrétű sportorvosi tapasztalatát az evezős-, majd később a kajak-kenu, a triatlon- és a rövidpályás gyorskorcsolya-válogatott keretorvosaként szerezte. Sportorvosként részt vett egy nyári olimpián (1996, Atlanta) és három téli olimpián (1998, Nagano; 2002, Salt Lake City; 2006, Torino). 2005 és 2008 között a Magyar Súlyemelő Szövetség Orvosi Bizottságának elnöke, 2007-től a Magyar Labdarúgó Szövetség Orvosi Bizottságának titkára. 2008-tól az MSTT Teljesítményélettani Bizottságának vezetője. 2009-től a Magyar Evezős Szövetség Orvosi Bizottságának tagja.

KAVAS LÁSZLÓ dr. ezredes, okleveles gépészmérnök, egyetemi docens, tanszékvezető. A katonai felsőoktatásban 35 éves szakmai tapasztalattal rendelkezik, kiemelten a légi járművek üzemben tartása területén – 5 katonai és polgári légijármű-típus üzemeltetésében 14 éves gyakorlattal –, továbbá szakértője a háborús sérülések gépek javításának, valamint a roncsolásmentes defektoszkópia alkalmazásának. Az NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskolájában oktatóként és témavezetőként is közreműködik. Kutatási területe a katonai légi járművek műszaki, technológiai és gazdaságossági szempontú vizsgálata, az MH repülőeszközeinek alkalmazható karbantartási, javítási módszerek elméleti lehetőségei és gyakorlati megoldásai. Tudományos kutatási tevékenységében jelentős állomás a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 azonosító számú, „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszerződési Egyetemen (VOLARE)” című pályázat keretében az „aviation fuel” kiemelt kutatási területen végzett vezetői munka.

KISS BÉLA százados, az MH 86. Szolnok Helikopter Bázis állományának századparancsnoka. 2012-ben okleveles védelmi igazgatási vezetői mesterdiplomát szerzett a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen, katasztrófavédelmi szakirányon, ugyanebben az évben TDK-dolgozatát (A Magyar Honvédség helikoptereinek alkalmazhatósága katasztrófavédelmi feladatok ellátása során) első helyezéssel és az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság különdíjával ismerték el. 2012-től a Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskolájának hallgatója lett, ahol 2015-ben abszolutóriumot szerzett. 2018-ban közgazdász-mesterdiplomát szerzett a Szent István Egyetem Gazdasági és Társadalomtudományi Karán. Fő kutatási területe a légi járművek alkalmazhatósága katasztrófavédelmi feladatok ellátása során.

MAJOR GÁBOR folyamatautomatizálási villamosmérnök, mérnök tanár, egyetemi tanársegéd (NKE HHK RFRT). A tanítást középiskolai repülőműszaki hallgatókkal kezdte, majd a katonai felsőoktatásban folytatta, a légi járművek fedélzeti rádió- és lokátorrendszereinek oktatásával honvédtisztjelölték részére. 2018-ban teljesítette az NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola tanulmányi kötelezettségeit, abszolutóriumot szerzett. Kutatási területei a pilóta nélküli légijármű-rendszerek alkalmazási spektruma, kiváltképp a nemzetbiztonsági célú felhasználás lehetőségei, valamint a drónok használatának etikai kérdései.

NOVOSZÁTH PÉTER dr. a Nemzeti Közszerződési Egyetem Közpénzügyi Tanszékének egyetemi docense, a Magyar Hadtudományi Társaság és a Magyar Közlekedéstudományi Társaság tagja, az NKE Katonai Műszaki Doktori Iskolájának témakiírója. Eddig több mint százhusz tudományos dolgozata jelent meg Magyarországon és külföldön, független hivatkozásai száma jelenleg meghaladja a 180-at. Fő kutatási területei közé tartoznak a hazai és nemzetközi pénzügyek, a foglalkoztatáspolitikai, az értékteremtés és a tulajdonosi értéknövelés, továbbá a légi közlekedés, a repterek működésének és fejlesztésének vizsgálata ezen aspektusokból.

ÓVÁRI GYULA prof. dr. okleveles repülőmérnök, egyetemi tanár (NKE), egyetemi magántanár (BME). A katonai felsőoktatásban 38, a polgáriiban 27 éve tanít (többek közt repülőgép-szerkezet, repülőgéprendszerek tantárgyakat). Az NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola törzstagja, oktatója és témavezetője, eddig 11 doktorandusza nyerte el a PhD-fokozatot. Kutatási területei: légierő-innováció; orosz és nyugati gyártmányú katonai repülőgépek együttes üzemeltethetősége; VTOL/STOL (eVTOL), stealth, aerostatikus légi járművek, ekranoplánok, hiperszonikus és űrrepülőgépek alkalmazhatósága; alternatív energiaforrások felhasználási lehetőségei a repülésben.

RÓZSA BENJÁMIN a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar negyedéves hallgatója. Tanulmányait 2016-ban kezdte katonai üzemeltetés alapképzési szakon. Jelenleg a Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék katonai repülőműszaki specializációján tanul. A középiskola után szoftverüzemeltető-alkalmazásgazda, illetve internetes alkalmazásfejlesztő és programozói szakképzéseken vett részt.

SISKA MIKLÓS dr. statisztikus szakközgazdász, egyetemi doktor. Különböző kutatóintézeti, államigazgatási, hazai és külföldi közjogi és magánszervezeteknél töltött be döntés-előkészítő, illetve vezetői pozíciókat. Jelenleg a Közlekedéstudományi Intézet Közlekedésmenedzsment Osztályának tudományos munkatársa. Főbb szakterületei: közlekedéstervezés, -szervezés és -menedzsment, matematikai modellezés, forgalmi előrejelzések, költség-haszon elemzések, logisztika, a közlekedési szokások változása. Hazai és nemzetközi projekteket vezet. Számos cikk és tanulmány (társ)szerzője.

SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS dr. habil. o. ezredes, belgyógyász, repülőorvos, a honvéd-, katasztrófa- és foglalkozás- orvostan szakorvosa. Jelenleg a Szegedi Tudományegyetem Repülő- és Űrorvosi Tanszékének vezetője, a Magyar Honvédség repülő-főszakorvosa. Részt vesz a kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet munkájában, repülőorvos-szakértőként közreműködött az NKE keretein belül folyó, de külsős partnereket is bevonó pályázatban, amelyben vezette és irányította a repülőorvosi vizsgálatok szakcsoportját. 21 éve ad elő magyar és angol nyelven graduális és posztgraduális képzésben. Fő kutatási területei közé tartozik a stressz és a repülés kapcsolatának vizsgálata, a repülőalkalmasság elbírálásának kérdései és a repülésélettani kihívások vizsgálata.

SZANISZLÓ ZSOLT a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztálya állományának repülésfelügyeleti (ejtőernyős) főtisztje. Főiskolai gépészmérnök, illetve egyetemi közlekedésmérnök (repülőmérnök) oklevéllel, valamint a doktori képzést lezáró abszolutóriummal rendelkezik. A 2014/2015-ös tanévtől kezdve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Karának tantervében szereplő úrdinamika tantárgy keretében – mint meghívott külső előadó – az emberes ürrepülések biztonságtechnikai kérdéseivel foglalkozó témakört mutatja be a hallgatóknak. Rendszeresen publikál, illetve tart szakmai előadásokat, többek között a szolnoki Repüléstudományi Konferencia és a Magyar Repüléstudományi Napok rendezvényein. Fő kutatási területe a légi járművek személyzeti mentő ejtőernyőinek vizsgálata, amelynek kiemelt fontosságot tulajdonít, mivel tizenkét éven át helikoptervezető-lövészként repülő-hajózó beosztásban szolgált.

TÓTKA ZSOLT dr. orvos alezredes, az MH Egészségügyi Központ Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézete Magassági Élettani Osztályának osztályvezető főorvosa. 1988 és 1992 között a szolnoki repülőtér repülésbiztosító orvosaként dolgozott, majd a Repülőkórház belgyógyászati osztályának munkájában vett részt, valamint a sürgősségi betegellátó osztályon látott el ügyeleti munkát. Fő kutatási területe a magas légnyomáson bekövetkező hipoxia.

VADA GERGELY címzetes egyetemi docens, a testszenzoros HRV-alapú vizsgálatok hazai úttörője, a Magyar Alvás Szövetség alapító alelnöke, a Magyar alváskönyv társszerzője, az MH Digitális Katona program külső szakértője. A humán teljesítőképesség témájában olyan kutatás-fejlesztések terén dolgozik, amelyek az emberi stressztűrő képességet, a restitúciós sajátosságokat, illetve a fenntartható egészség tudományát vizsgálják. Több ezer egyéni

mérés és számtalan régiós egyetemmel, kutatóközponttal, sportolóval, fegyveres testületekkel és vállalattal végzett munka képezi jelentős tapasztalatának alapját, programjai többek között az ELTE, az NKE, a Szegedi és a Corvinus Egyetemen, illetve a Magyar Honvédség Modernizációs Intézeténél zajlottak.

VARGA BÉLA dr. alezredes, az NKE HHK Repülő Sárkány-hajtómű Tanszékének egyetemi docense. 39 éve oktat repülőműszaki területen, tudását Erasmus-pályázatokkal és külföldi tanfolyamokkal tartja naprakészen. 2013-ban summa cum laude minősítéssel zárta doktori fokozatszerzését. Fő kutatási területe a gázturbinás hajtóművek, illetve az ezek égőterében zajló folyamatok vizsgálata, modellezése. Elméleti tudását a gyakorlatban is kamatoztatja, szabadidejében saját repülőgépével (movit és egymotoros dugattyús) szeli az eget.

Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben

Absztrakt

A repülésélettani kockázatok közül a hypobarikus (magasságfüggő) hypoxia mind gyors ütemű, mind fokozatos kialakulásakor komoly fenyegetést jelent: a pilóta mint operátor pillanatnyi fizikai-szellemi teljesítménye elégtelenné válhat. Ez részben az agyi keringésben és az agysejtek anyagcseréjében bekövetkező, egymásnak is ellentmondó kompenzációs mechanizmusok, részben az ezt kísérő vegetatív idegrendszeri egyensúlyvesztés, a szív-agy tengely stresszreakciójának kiszámíthatatlan eredőjeként jelentkezik. Az elhúzódó magassági hypoxia nemcsak a tényleges oxihemoglobin-szint regulációja, hanem az agyi vérátáramlás magasságfüggő, szén-dioxid-kimosással együtt járó pH-eltolódás (alkalózis) miatt kialakuló csökkenése révén is veszélyezteti az agysejtek aerob, teljes kognitív funkciót fenntartó működését. Néhány perces időtartam után pedig a szervezetszintű, a metabolikus aktivitás fékezésével tovább romló, alacsony szén-dioxid-szint mellett stabilizálódó alkalózis, csökkent agyi keringés és sejtaktivitás mellett elhúzódó kognitív funkcióvesztés fenyeget. A repülés hőskorától előforduló és a napjaink katonai vadászgépein szintén több alkalommal bekövetkező hypoxiás halálesetek mint UPE (unexplained physiological events – megmagyarázatlan élettani események) retrospektív elemzése és a magasságélettani kutatások legfrissebb eredményei a hypoxia megelőzésének és kezelésének revízióját indokolja a repülésbiztonság elveit szem előtt tartva.

Bevezetés

A repülés mint háromdimenziós dinamikus helyzetváltoztatási képesség olyan élettani és pszichés kihívásokat jelent az emberi fizikai cselekvőképesség és szellemi munkavégző képesség számára, amely részben dinamikájában, részben intenzitásában messze meghaladja az emberi evolúció során kifejlesztett és szelekciós előnyként faji szinten megjelenő szív- és érrendszeri és agyi keringési reflexek adaptív reakciókészségét. Miközben az új kabinergonómiai megoldások, a technikai-technológiai rendszerek megfelelő redundanciája és többszörös biztosítása (a mesterséges intelligencia kialakítása révén akár önfejlesztő módon) minimalizálja a pillanatnyi technikai elégtelenség okozta fenyegetettséget, a humán faktor fentiekből adódó kiszámíthatatlan instabilitása a pilótát teszi a repülésbiztonság leggyengébb láncszemévé. Vagyis az „ember-gép-környezet” dinamikus rendszerében a humán tényező az, amely a modern harci technika irányításában, kezelésében és a katonai feladat végrehajtásában leginkább korlátozó tényező lehet (innentől kezdve ez már nem „csak” repülésbiztonsági, hanem harckészültségi, hadrafoghatósági kérdés is).

Ez az emberi hibahajlam részint a repüléssel járó fokozott mentális terhelés és idő-kényszerben végzett munka okozta szellemi (pszichés) stressz következménye, másrészt a repüléssel járó élettani paraméterek direkt biológiai stresszhatása a szervek (agy, szív) vérátáramlására és oxigénellátására, például gyorsulástúlterhelés és magasságfüggő oxigénhiány során. Ahogy a HFACS¹-rendszer kidolgozói megfogalmazták: „Az ember természeténél fogva hajlamos a hibára; észszerűtlen hibamentes teljesítményt várni tőle.”²

Legnyilvánvalóbb (és a repüléstörténetet tekintve legrégebben azonosított repülés-biztonsági probléma) a biológiai stressz és az oxigénhiány kapcsolata, amelynek során a szívizom direkt munkavégző képessége és az agy autonóm (tudattól független, zsigeri) idegrendszeri szabályozása révén a szívfrekvencia modalitása, oszcillációja is megváltozik. Másrészt az agyi keringés és oxigenizáció (oxigénkínálat és oxigénhasznosulás) romlása direkt módon befolyásolja a mentális-kognitív teljesítményt, fokozza a hibahajlamot, csökkenti az ítélőképességet a klasszikus „magassági részegség” állapotában.

Célunk a hypoxia okozta gyakorlati, repülésbiztonsági kockázatot, sőt vészhelyzetet jelentő esetek elemzése, majd saját kísérleti elrendezésben, barokamrai VR (virtuális valóság) alkalmazásával szimulált repülési helyzetben az alattomos, lassan felépülő és elhúzódó hypoxia okozta kockázat kórélettani hátterének megvilágítása és magyarázata, fontos gyakorlati következtetés levonásával a fedélzeti oxigénmenedzsment tökéletesítésére.

Hypoxia okozta vészhelyzetek

A magasságfüggő oxigénhiány lehetőségét és az aktuális cselekvőképességre gyakorolt kedvezőtlen hatását már jóval a modern, levegőnél nehezebb, légi járművek alkalmazása előtt felvetették. D'Acosta nevű jezsuita szerzetes a spanyol hódítókat kísérve Dél-Amerikában, a 16. században az Andok hegyláncain történő átkelés közben észlelte és leírta, hogy a spanyol katonák a magas hegyekben fulladtak, hamar kifáradtak, képtelenek voltak harcolni és gyorsan gondolkodni, türelmetlen fejfájásuk volt. A hegyek túloldalán leereszkedve fizikai erejük, cselekvőképességük visszatért. Feljegyzéseivel a szerzetes a „magashegyi betegség” tüneteit rögzítette, amelyeket alapvetően az oxigénhiány okozta tüdő- és agyvizenyő váltott ki.³

1875-ben Tissandier, Sivel, Crocé-Spinelli ballonrepülése során 28 000 láb magasságot (körülbelül 8600 m) ért el; a nagy francia élettanász Paul Bert javaslatára vittek ugyan magukkal oxigént, de a nagy magasságban uralkodó hideg miatt az adagoló szelepek befagytak, és ők észrevétlenül, alattomosan hypoxiás állapotba kerültek, amelynek tüneteit a magassági részegség miatt már nem ismerték fel, csak emelkedtek tovább. (Ketten

¹ Human factor analysis and classification system (US): emberi hiba elemzési és osztályozási rendszere.

² Douglas Wiegmann et al.: *Human error and general aviation accidents: A comprehensive, fine-grained analysis using HFACS*. Civil Aerospace Medical Institute, Federal Aviation Administration, Oklahoma City, 2005. *Final Report, DOT/FAA/AM-05/24*. Office of Aerospace Medicine, Washington, DC 20591.

³ Jose de Acosta: *The natural and moral history of the Indies*. Ed. Jane Mangan; Durham, NC: Duke University Press, 2002.

belehaltak, Tissandier mint túlélő megsüketült, de ahogy a naplójában rögzítette: „belső öröm árasztott el bennünket, minden közömbössé vált, és mindenki örült, hogy egyre csak emelkedünk, nem is gondoltunk a veszélyre.”⁴

A levegőnél nehezebb repülőeszközökkel történő, egyre nagyobb magasságokba való emelkedés kapcsán az 1930-as évek elejére szembesültek a folyamatos oxigénadagolási képesség és a magassági védőfelszerelés kialakításának szükségességével. Ebben Wiley Hardeman Post úttörő szerepet vállalt: a Winnie Mae fedélzetén egyedül repült körbe a Földet először 1931-ben (7 nap 18 óra és 49,5 perc alatt), illetve 50 000 láb (16 ezer m) magasra emelkedett, ahol az általa fejlesztett magassági védősisak és ruha nélkül aligha maradt volna életben vészhelyzet esetén.⁵ A II. világháború alatt (teljes hermetizáció hiányában) csak a folyamatos adagolás (a gazdaságos működtetés érdekében esetleg visszaléggő zsákkal ellátott) oxigénrendszer biztosította a nagy magasságú bombázók személyzetének cselekvőképességét. A kilehelt pára miatt azonban így is gyakran befagytak a szelepek, és a légénység oxigénhiányos állapotba került. A B-17-es és B-25-ös bombázó erődök pilótáinak, bombázó tisztjeinek, lövészeinek erre folyamatos figyelmet kellett fordítani, ha az erős légvédelem miatt magasabbról támadtak.⁶ A Hirosimára atombombát dobó Enola Gay B-29-es repülőerőd kabintere volt először megfelelőképpen hermetikussá, nyomásállóvá téve, hiszen a speciális bombateher miatt extrém magasán, a légvédelem és a léghátrítás biztonságos elkerülésével kellett a célterület fölé eljutni és a bombát kioldani.⁷

A II. világháború után, a nagy magasságú (sztratoszféra alsó szintjét elérő) utaszállító gépek forgalma rendkívül dinamikusan nőtt, ami magával hozta az alattomosan előforduló kihermetizáció (kabinnnyomásvesztés) és hypoxia okozta esetek alkalmi előfordulását is. 1999-ben a *Time* címlapjára került az Egyesült Államok golfbajnoka Payne Stewart és társai esete egy Learjet 35 fedélzetén, amit kísértetiesen hasonló eset követett Ausztráliában 2000-ben, ahol összesen 8 ember halt meg egy Beech King Air jetgép fedélzetén, amely Burketown mellett, Queensland területén lezuhant.⁸ (A pilóták feltehetően mindkét esetben észlelték a fedélzeti riasztás jelzését, de arra vártak, hogy a korábban repült géptípushoz hasonlóan az automatika majd helyreállítja a nyomást. Mire felismerték, hogy ez nem fog bekövetkezni, addigra cselekvőképtelenné váltak, a robotpilóta pedig addig „vezette” a gépet, amíg az üzemanyag el nem fogyott.)

A tünetek alattomosága és a légszomj hiánya miatt a magassági hypoxia nem kellemetlen, nem menekül az ember belőle: a fedélzeti lassú dekompresszió esetei nem egyszer észrevétlenül vezettek légi katasztrófához. Jól ismert a 2005-ben bekövetkezett

⁴ Wilfred de Fonvielle: The “Zenith” balloon ascent. *Nature*, 11. (1875), 513.

⁵ Dennis R. Jenkins: *Dressing for altitude. U.S. aviation pressure suits – Wiley post to space shuttle*. NASA, 2011.

⁶ Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében. (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben.)* PhD-dolgozat, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009. 10.

⁷ Amaczi Viktor: Paul Warfield Tibbets halálára. *Magyar Honvéd*, 27. (2006), 51–52. 41.

⁸ Lásd www.flightglobal.com/australian-king-air-crash-mirrors-payne-stewart-learjet-accident-/34148.article és www.flightsafetyaustralia.com/2014/08/do-not-go-gentle-the-harsh-facts-of-hypoxia/

katasztrófa a Helios légitársaság 522-es járatának fedélzetén: egy korábbi hermetizációs ellenőrzés során rossz (manuális „KI” állásban maradt) kapcsoló miatt a kabinnyomás az utazómagasságra emelkedés közben fokozatosan megszűnt a Larnaca–Athén-útvonalon. Egy szabadságon lévő légiutas-kísérő észlelte csak időben a problémát, oxigénpalackot magához véve próbált az eszméletét veszítő pilótaszemélyzet helyett a pilótafülkében cselekedni, de amikor kifogyott az üzemanyag, a gép Marathon közelében lezuhant. (Utólagos megállapítás szerint a fedélzeten lévők már mély kómában voltak a lezuhanás pillanatában.)⁹

A Malév moszkvai járatán (Boeing 737-800-as gép 2011. november 23-i felszállásaakor) is történt hasonló incidens (kapcsoló hibás állása miatt), ahol az emelkedés közben a kabinnyomás lassú, alattomos elvesztése mellett a pilóták – feltehetőleg a súlyosbodó oxigénhiány miatt – késlekedve ismerték fel a helyzetet, és hajtották végre a szükséges vészhelyzeti eljárásokat, és csak az utolsó pillanatban sikerült visszafordítani és épségben letenni a gépet Budapesten.¹⁰

Az Ausztráliai Közlekedésbiztonsági Tanács saját hatáskörében 517 kabinnyomás elvesztésével kapcsolatos polgári légi incidenst és balesetet vizsgált 1975 és 2006 között, ezek közül 10 esetben fordult elő halál vagy maradandó sérülés.¹¹ Ugyanígy az ausztrál légierő hosszú távú felmérése szerint (1990–2001 között) nem extrém magasságon (döntően 10 000–19 000 láb között) 85%-ban fedélzeti oxigénrendszert használó légi személyzetnél, 63%-ban a személyi magassági védőfelszerelés (oxigénmaszk vagy regulátor) hibája miatt 27 esetben összesen 29 főnél jelentettek hypoxiás eseményt katonai gép fedélzetén, két esetben következett be eszméletvesztés, egy esetben halálos kimenetellel. Ugyanakkor a hypoxiás epizódok 85,8%-át maguk a pilóták időben felismerték.¹²

A boszniai háború alatti hosszú távú C-130 Herkules repülések kapcsán (repülési idő akár 12 óra volt) az akut hegyi betegség tünetei (fáradtság, szédülés, meglassultság, hányinger) már jóval kisebb – akár 6500 láb (2000 m körüli) – kabinmagasságon is jelentkeztek a kanadai hajózóállományon. (E gépek kabinja és tehertere nem minden altípusnál hermetizált kivitelű). Ezért a hosszú távú repülések idejét 8000–10 000 láb közötti (azaz 2400–3000 m közötti) kabinmagasság mellett is 4 óra időtartamban korlátozzák.¹³ Afganisztáni bevetési tapasztalatok alapján akár 10 000 láb alatt (3300 m körüli magasságig), fizikai aktivitással párosulva a hypoxia tünetei jelentkezhetnek, számolási

⁹ Hellenic Republic Ministry of Transport & Communications Air Accident Investigation & Aviation Safety Board (Aaiasb) Aircraft Accident Report Helios Airways Flight Hcy522 Boeing 737-31s at Grammatiko, Hellas on 14 August 2005 11/2006.

¹⁰ Közlekedésbiztonsági Szervezet (KBSZ) Zárójelentése 2011-272-4P: Súlyos repülőesemény Budapest (LHCC) FIR, 2011. 11. 23., Boeing 737-800 HA-LOK. www.kbsz.hu/j25/dokumentumok/2011-272.pdf

¹¹ David G. Newman: 'Depressurisation accidents and incidents involving Australian civil aircraft'. 1 January 1975 to 31 March 2006. In *ATSB Research and Analysis Report*. Canberra, Australian Transport Safety Bureau, 2006.

¹² Gordon G. Cable: In-flight hypoxia incidents in military aircraft: Causes and implications for training. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74. (2003), 2. 169–172.

¹³ Gary Gray – Michel A. Paul: *Assessing the effects of crew exposure to cabin altitudes of 8,000 ft to 10,000 ft: A literature review and recommendations*. Defence Research and Development Toronto, 2002. 4. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA406891>

hibák, zavartság, szédülés léphet fel. 10 000–14 000 láb között Apach AH-64D harci helikopterek pilótái 70%-ban tapasztalták az oxigénhiány ilyen teljesítményrontó hatását.¹⁴

A NATO és az amerikai haderőnemi terminológiában korábban mask-on hypoxia néven illetett, a fedélzeti oxigénellátó rendszer technikai hibájának tulajdonított több balesetet (mivel a pilótán rajta volt a maszk, és azt hitte, hogy oxigént kap). Ez jelenleg változás alatt áll, az UPE/UPI (unexplained physiological events/incidents, azaz megmagyarázatlan élettani események) címszó alatt összesítik a nem egyértelműen technikai okokra visszavezethető incidenseket. Az amerikai haditengerészet, a US Navy 2001 óta négy rendkívül korszerű F-18 Hornet vadászgépet és pilótát veszített úgy, hogy a pilótán nagy magasságú repüléskor rajta volt a maszk, de az alacsony kabinnyomás mellett az OBOGS¹⁵ „nem működött”, a pilóta eszméletét veszítette, és lezuhant.¹⁶ Az OBOGS használata mellett a hypoxia relatív rizikója mintegy tízszeresére növekedett mask-on helyzetben is: 1980–2000 között a gyakorisági ráta 0,03, míg 2001–2004 között 0,29 volt.¹⁷ Az Amerikai Légierő (USAF) egy F-22-es gépe is lezuhant Elmendorf mellett Alaszkában, 2010 decemberében, hasonló ok miatt, majd a magassági korlátozások ellenére ismétlődő incidensek miatt az egész flottát (147 db F-22-es vadászgép) több mint egy évig eltiltották a repüléstől. (Több pilóta nyilvánosan megtagadta a repülést a bizonytalan oxigénrendszer miatt, az első nagy távolságú és nagy magasságú átrepülést Okinawa szigetére személyesen Panatta hadügyminiszternek kellett engedélyeznie). A Magyar Honvédség Gripen vadászgépén is előfordultak hasonló incidensek, de a pilóták a barokamrai gyakorlatnak köszönhetően időben észlelték az oxigénhiány fenyegető tüneteit, és alacsonyabb magasságra süllyedve megelőzték az eszméletvesztést.¹⁸

2010 májusa óta az F-18-ason előforduló „élettani esetek” száma újra folyamatos emelkedést mutat: a Navy 382 esetet vizsgált az F-18/A típuson. A hibákat két fő csoportba sorolták: a kabinnyomás elvesztése (114 esetben), illetve a belélegzett oxigén levegőszennyeződése (130 esetben). A probléma nem korlátozódik egy haderőnemre: a haditengerészeti repülés ígáslovának számító T-45 Goshawk esetében több mint 100 oktató pilóta és sok pilótanövendő (köztük Pence alelnök fia) tagadta meg a repülést (vagy csak 5000 láb alatti repülést hajtanak végre) az OBOGS megbízhatatlanságára hivatkozva. Itt is, az utóbbi 5 évben megnégyszereződött az oxigénlégző-rendszer hibájával kapcsolatos jelentések száma.¹⁹ 2018. február 6-án az amerikai kongresszusban bizottsági meghallgatásra került sor, a haditengerészet pedig 2017 májusában leállította 197 T-45-s kiképző repülőgépének repülését.

¹⁴ Adrian M. Smith: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: A retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799.

¹⁵ OBOGS (On-board Oxygen Generating System): fedélzeti oxigéngenerátor-rendszer (oxigénforrás).

¹⁶ Anthony R. Artino, Jr. – Richard V. Folga – Brian D. Swan: Mask-on hypoxia training for tactical jet aviators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 8. 857–863.

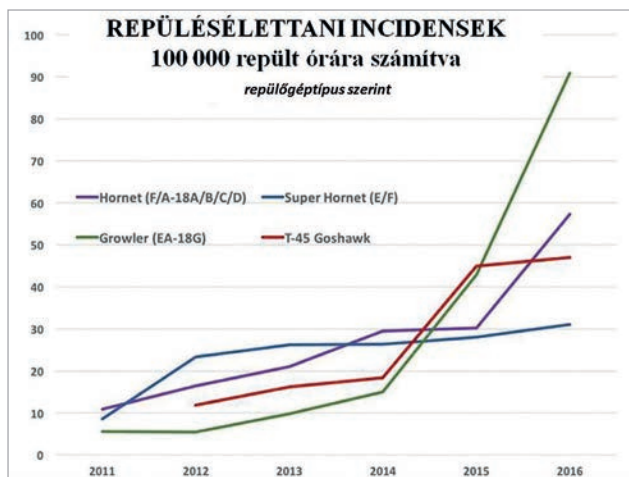
¹⁷ George B. Ostrander: *Hypoxia in the Hornet. What we know, and what we're doing*. 12–14. Online: https://static.dvidshub.net/media/pubs/pdf_42721.pdf

¹⁸ Magyar Honvédség Repülésbiztonsági konferencia, MH 59 Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis 2008.

¹⁹ Lucas Y. Tomlinson: *Navy instructor pilots refusing to fly over safety concerns*. Online: www.foxnews.com/politics/2017/04/04/navy-instructor-pilots-refusing-to-fly-over-safety-concerns-pences-son-affected.html

Legújabbban az F-35-ös kiképzőbázison (LUKE AFB) nem csak növendékeknel észleltek súlyos hypoxiás incidenseket (legutóbb 2017. május 2. és június 8. között halmozódó 5 súlyos esetben), légzési nehézséget az OBOGS használata közben.²⁰ Szerencsére a tartalék folyékony oxigénforrás minden esetben megfelelően működött, a pilóták biztonságosan le tudtak szállni. Az incidensek következményeként a teljes flottát, 55 legkorszerűbb lopakodó gépet letiltottak.²¹ Spanyol Eurofighter Typhoon zuhant le 2014. június 9-én Sevilla közelében, ahol felvetik (utólag) a repülőgép nagy magasságban bekövetkezett oxigénrendszere hibájának és a pilóta leszállás során bekövetkező cselekvőképtelenségének az ok-okozati összefüggését (a fedélzeti oxigénrendszer hibája után a katapultülésben lévő tartalék oxigéntartály csak 3 percre biztosított oxigénellátást).²²

A NATO Standardizációs Testület Repülőorvosi Munkacsoport 2019-es párizsi ülésén több ország légierő-kutató intézetei részéről hangzott el előadás a probléma okának kutatására vonatkozóan, egyértelmű eredmények és megoldási javaslatok nélkül. Jelenleg ez az első számú repülésbiztonsági probléma a NATO-n belül. (1. ábra)



1. ábra: Repülésélettani események gyakorisága

Forrás: Varis–Parkkola–Leino (2019) alapján

A hypoxia nemcsak azonnali, pillanatnyi cselekvőképtelenséget okozhat: a szellemi teljesítménycsökkenés standardizált, pszichológiai tesztekkel történő mérésekor úgy tűnt, hogy a nagy magasságú hypoxiás epizódok hatása nem szűnik meg azonnal az oxigénellátás helyreállásakor. Új jelenségként írták le a hypoxia hangover (másnaposság) veszélyes

²⁰ Erich Rödig: *F-35A pilots have experienced five physiological events since June*. Online: www.airforcemag.com/daily-report/October%2025%202017/; előadás Debrecen 7th User Meeting of AMST, 2019.

²¹ Tyler Rogoway: *Now that the F-35a is also having oxygen issues a solution is more likely*. 2017. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/11468/now-that-the-usafs-f-35a-has-oxygen-issues-too-a-solution-is-more-likely

²² Niall O’Keeffe: *Fatal Eurofighter crash in Spain*. *FlightGlobal*, 2010. Online: www.flightglobal.com/eurofighter-suffers-first-fatal-crash-in-spanish-training-accident/95589.article

tüneteit.²³ A magasság gyors csökkentése és a tartalék (katapultülésben lévő gáznemű) oxigén felhasználása ellenére elhúzódó mentális teljesítménycsökkenés és fáradtság lép fel, amely miatt a pilóta nem repülhet, 12 órás (sőt most már a hypoxia és magassági keszonártalom által az agyállományban okozott fehérállomány-meszesedések miatt 36 órás!) letiltás javasolt, most már a barokamrai vizsgálatok után is.²⁴

Fentiek alapján a pilóták által leírt és elszenvedett fedélzeti élettani incidensek nem kellő magyarázata, illetve a hypoxiás állapot elhúzódása (post, azaz utóhatás) komoly repülésbiztonsági problémát jelent mind a mai napig, ahogy azt Dr. Mayes ezredes, az amerikai légierő Wright-Patterson légibázison (Ohio) működő Armstrong Repülőorvosi Kutatóintézet vezetője a NATO 2017-es tudományos konferenciáján jelezte. A jelenlegi kutatások nem zárják ki sem a humán élettani tényezők, sem a kabin környezeti tényezők kombinált élettani hatását, de az adatok jelenleg nem elégségesek egyik teória igazolására sem.²⁵

VR-szimuláció hatása az agyi keringésre hypobarikus hypoxiában

Saját tapasztalataink és a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszékével közösen GINOP-pályázat keretében folytatott vizsgálati eredményeink alapján új megközelítésben vizsgáltuk a magassági hypoxia okozta eltéréseket.²⁶ A Magyar Honvédség szakemberei által fejlesztett VR- (virtuális valóság) szemüveg által biztosított szimulált repülés és a barokamrában szimulált magassági hypoxia szinkronizált létrehozásával élettanilag is valósághűen modelleztük a repülési feladat (akár vészhelyzet) közben kialakuló agyi vérkeringés változást. A VR-szemüveg fejlesztését, technikai lehetőségeit illetően más szakirodalmi forrás részletes elemzést nyújt.²⁷ Az orvosbiológiai adatrögzítés alapelveit és történeti fejlődési fokozatait az agyi vér oxigénszintjét mérő NIRS²⁸ VR-ral való integrációját szintén korábban közöltük.²⁹ (2. ábra)

²³ Nikke Varis – Kai I. Parkkola – Tuomo K. Leino: Hypoxia Hangover And Flight Performance After Normobaric Hypoxia Exposure. *A Hawk Simulator Aerospace Medicine Human Performance*, 90. (2019), 8. 720–724.

²⁴ NATO STANAG (Egységes Védelmi Előírás) 3114 (Aeromedical Training of Aircrew. Ed.9. AAMedP-1.2 Aeromedical Training of Flight Personnel Edition A Version 1 February 2018).

²⁵ Ryan Mayes: USAF & NATO STO HFM (Tudományos és Technológiai Szervezet, Humán Faktor és Medicina Panel) Summit, March 2017. idézve: Rödig, E. (BG Luftwaffe) előadása Debrecen 7th User Meeting of AMST, 2019.

²⁶ GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közzolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

²⁷ Domján Károly – Vada Gergely: Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között. *Haditechnika*, 54. (2020), 3. 2–7.

²⁸ NIRS (near infrared spectroscopy): – agyi véráramlás mérése közel infravörös tartományban, agyi pulzoximetria.

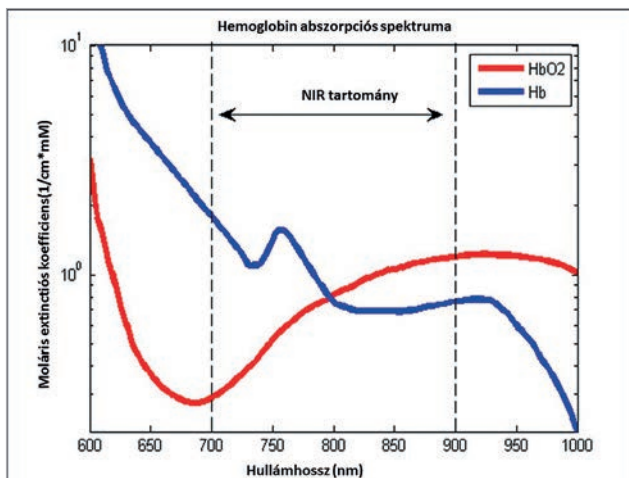
²⁹ Szabó Sándor András: Orvosbiológiai monitorizálás jelene és jövője a katonai repülésben (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére). *Repül-*



2. ábra: NIRS és VR integrációja barokamrai szimulált felszállás közben

Forrás: a szerző saját felvétele

A NIRS-technika (mint az agyi vérkeringés és oxigénkínálat változásának nyomon követésére közvetlenül alkalmas módszer) számos repüléssel kapcsolatos kutatásban jól alkalmazható noninvazív technika: a homlok bőrére helyezett elektródák a fejbőrön keresztül képesek mérni az agyban, a homloklebény kevert vénás (már oxigénfelhasználás jeleit mutató) ereiben a vérfesték (hemoglobin) abszorpciós spektrumának változásával az oxihemoglobin (oxigént kötő vérfesték) mennyiségét a deoxihemoglobinhoz (oxigénmentes vérfestékhez) képest. (3. ábra)



3. ábra: NIRS során használt eltérő abszorpciós spektrumok a vérfesték molekulákban Megjegyzés: HbO₂ = oxigenált hemoglobin piros vonallal³⁰

Forrás: Adrian Curtin: Oxy and Deoxy Hemoglobin Near-Infrared absorption spectra (Wikimedia Commons)

léstudományi Közlemények, 30. (2018), 2. 145–162.

³⁰ Adrian Curtin. <https://medicine.uiowa.edu/iowaprotocols/pulse-oximetry-basic-principles-and-interpretation>

A kevert agyi regionális vérátáramlás (rSO₂) számítása az eltérő abszorpciós maximumokból és a verőeres/visszeres vér százalékos arányának eltérő súlyozásából fakadóan a gyártó cégeknél kismértékben eltérő lehet (Foresight, Cerrox, Equanox: 70% vénás, 30% artériás, míg az általunk használt INVOS-eszköz 75:25%-os arányban kalkulál). Jól követi az agyi keringés változását például G túlterhelés alatt: fokozódó fej-láb irányú túlterhelés közben is (ahogy megszakad az agyi keringés folyamatossága a vér alsó testfélbe történő áthelyeződése miatt) esik az rSO₂, és a túlterhelés pillanatnyi vagy elhúzódó jellegétől függően lassabban vagy gyorsabban tér vissza.³¹

A NIRS-technika, akár valós repülés közben, az agyi vérátáramlás és oxigenizáció folyamatos regisztrálására is képes, mint ahogy a longitudinális Holter EKG a szív működés regisztrálására. Egy komplett repülés során a NIRS-regisztrátum hű képet ad a helikopterpilótát érő szellemi/kognitív és a fizikai környezeti tényezők okozta kombinált stresszről a repülés egyes fázisaiban.³²

A mért változások jól korrelálnak az egyéb testrészeken (fülcimpa, ujj) elhelyezett, illetve más módszerrel (ki/belélegzett gázkoncentráció érzékelése) oxigénmérő eszközök által mért értékekkel.³³ A talált agyi oxigénszint-csökkenés körjelző, az intenzív terápiában prognosztikai értékű (20%-nál nagyobb műtét alatti esése rontja a műtét utáni túlélés esélyét), és felhasználható az agyi autonóm érreguláció (véráramlás-szabályozás) noninvazív jellemzésére.³⁴ Az agyi funkcionális MRI- (mágneses rezonancia elvén alapuló képalkotás) és NIRS-vizsgálatok összehasonlító elemzése igazolta, hogy a kognitív feladat tengerszinti nyomáson és normális oxigénkinálat mellett is közel azonos módon aktiválja a különböző agyi területeket, vagyis a morfológiai aktivitási jelek és az oxigénfelhasználás mértéke párhuzamosan változnak.³⁵

Kísérleti protokollunkban az enyhe, 2500 m-es, a mérsékelt (elvileg jól kompenzálható), 4000 m-es, hypoxiás magasság és az oxigénlégzéssel (elvileg teljesen) kompenzált, 5500 m-es, hypobáriás magasság, valamint a tengerszinti nyomásra történő visszatérés utáni állapot élettani jellemzését, a NIRS- (agyai véroxigénszint), kapnográf- (végki-légzési szén-dioxid) értékek összevetését tűztük ki célul, adott magasságon 5–5 perc ekvibrációs idő után. Fenti protokoll elvi lehetőséget ad az elhúzódó hypoxia és/vagy hypobaria (oxigénhiány nélküli nyomáscsökkenés) oki szerepének tisztázására, egymástól függetlenül. (4. ábra)

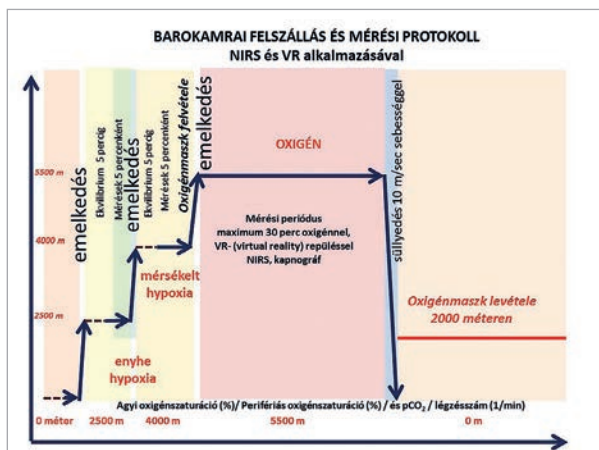
³¹ Martin B. Rasmussen et al.: Quantifying cerebral hypoxia by near-infrared spectroscopy tissue oximetry: the role of arterial-to-venous blood volume ratio. *Journal of Biomedical Optics*, 22. (2017), 2.

³² Azusa Kikukawa – Asao Kobayashi – Yoshinori Miyamoto: Monitoring of pre-frontal oxygen status in helicopter pilots using near-infrared spectrophotometers. *Dynamic Medicine*, 7. (2008), 10.

³³ Jeffrey B. Phillips – Dain S. Horning – Roy E. Dory: *A comparison of pulse-oximetry, near-infrared spectroscopy (NIRS), and gas sensors for in-cockpit hypoxia detection*. Technical Memorandum Report Number 12–60. Naval Medical Research Unit – Dayton, 2012.

³⁴ Anneliese Moerman – Stefan De Hert: *Recent advances in cerebral oximetry. Assessment of cerebral autoregulation with near-infrared spectroscopy: Myth or reality?* 2017.

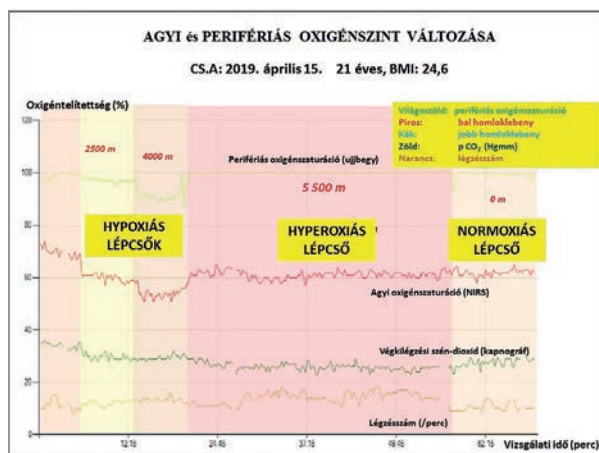
³⁵ Xu Cui et al.: A quantitative comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *Neuroimage*, 54. (2011), 4. 2808–2821.



4. ábra: Vizsgálati protokoll hypoxiás és hypobáriás normoxiás lépcsőkkel

Forrás: a szerző saját szerkesztése

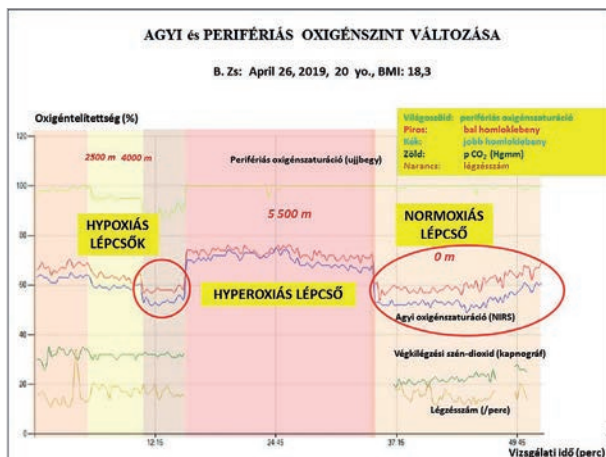
A vizsgált populáció (fiatal pilótanövendékek és egyéb repülő-hajózó állomány) esetében jól nyomon követhető a magasságfüggő nyomáscsökkenéssel jelentkező hypoxia mind a periférián (ujjbegyen), mind a NIRS-elektrodákon keresztül a homloklebeny kevert vénás vérében; a periférián 2500 m-en 5%-os, az agyban 10%-os, 4000 m-en a periférián további 5–7%-os, az agyban további 5–7%-os, összességében 15%-ot meghaladó regionális oxigéntelítettség-csökkenés következik be. Meglepő módon 100 v/v %-os (tiszt) oxigénadagolás mellett 5500 m-re emelkedve – miközben a periférián szinte azonnal 100%-ra emelkedik az oxigénszaturáció – az agyban ez a korrekció nem következik be, elhúzódóan 2500, sőt 4000 m-es hypoxiának megfelelő alacsonyabb rSO₂ regionális agyi oxigénszintet mutat a NIRS, még a tengerszinti nyomásra visszatérés után is! (5. ábra)



5. ábra: Agyi és perifériás oxigénszint változása magassági hypoxia és hypobáriás normoxia során (BMI normális)

Forrás: a szerző saját szerkesztése

A vizsgálati eredmény összefüggést mutathat a testtömeggel (BMI)³⁶, soványabb testalkat esetén még a hyperoxia fázisa (oxigénlégzéssel történt látszólagos normalizálódás) után is drámai az agyi oxigénszint újbóli csökkenése, még a tengerszinti nyomásra történő visszatéréskor is, az elhúzódóan alacsonyabb végkilégzési szén-dioxiddal is korrelálva. (Ennek statisztikai igazolásához további vizsgálatok szükségesek.) (6. ábra)



6. ábra: Agyi és perifériás oxigénszint változása magassági hypoxia és hypobáriás normoxia során (BMI alacsony)
Forrás: a szerző saját szerkesztése

Fentiek alapján felvetjük, hogy a magassági hypoxiát (pontosabban az agysejtek oxigénhasznosítását) önmagában az oxigén (akár folyamatos) adagolása nem normalizálja, magasság és idő függvényében az agysejtek oxigénellátottsága továbbra is zavart lehet; a kórélettani háttér alapján új technikai megközelítés szükséges a magasság elleni védelemben.

A magassági agyi hypoxia új kórélettani megközelítése

A hypoxia, azaz a szervezet egésze és egyes létfontosságú szervek, mint a szív és az agy sejtjeinek csökkent oxigénellátása a pilóta munkavégző képességét drámai módon rontó vészhelyzet. A magasságfüggő nyomáseséssel leggyakrabban a hypobarikus hypoxia jelentkezik, amely a környezeti belélegzett levegő csökkent oxigénkinálatára vezethető vissza, a légutakban, tüdőben (alveoláris szinten), illetve a verőeres keringésben (artériás telítettség) is romló oxigénszinteket vonva maga után. (Lásd 1. táblázat.)

A magasság függvényében a hypobarikus hypoxia tünetei súlyosbodnak. Az adott magasságra jellemző (magasság függvényében fizikailag exponenciálisan csökkenő

³⁶ BMI (Body Mass Index): testtömegindex testtömeg [kg]/testmagasság² [m²], ideális értéke 25.

parciális nyomású) oxigén belégzése mellett négy magassági élettani zónát lehet megállapítani, amely angolszász és európai tankönyvi beosztásokban kissé eltérő.

1. táblázat: Oxigénszint a magasság függvényében

Alveolaris oxigénszint és artériás oxigénszaturáció
a magasság függvényében, környezeti levegőt lélegezve

Magasság	Légköri nyomás Hgmm	Alveoláris oxigénnyomás Hgmm	Artériás oxigénszaturáció (%)
tengerszint	60	104	97
10 000 láb (3000 m)	523	90	70
20 000 láb (6000 m)	349	40	67
30 000 láb (9000 m)	226	21	20
40 000 láb (12 000 m)	141	6	5
50 000 láb (15 000 m)	87	1	1

Forrás: David Gradwell – David J. Rainford (eds.): *Ernsting's aviation and space medicine*. Boca Raton, CRC Press, 2016. 56.

1. Élettanilag indifferens zóna (hazai gyakorlatban 2000 m-ig, angolszász gyakorlatban kompenzált zóna 10 000 láb-ig, azaz 3000 m-ig): itt egy egészséges, fiatal ember nyugalomban semmilyen szellemi/fizikai teljesítőképesség-romlást nem tapasztal (de katonai repülésben az éjszakai látás, a színlátás, az új feladat tanulási képessége, vizuomotoros – szem-kéz – koordináció már érintett lehet 1500 m fölött!)³⁷

2. Tökéletes kompenzáció zónája (hazai gyakorlatban 2000–4000 m között, angolszász beosztásban kezdeti dekompenzált zóna 10 000–15 000 láb, azaz 3000–4500 m között): kezdődő álmoság, szétszórtság, csökkenő reakciókészség lehetséges, arra fogékonyaknál fokozott pulzus, vérnyomás-labilitás előfordulhat. (Polgári gépek kabinmagasságán, 2300 m-en ez körülbelül 93%-os oxigénszaturációt jelent, korábbi, élettanilag elfogadhatónak tartott 10 000 láb – 3000 m – mellett ez már 89%-ra csökkenne!)

3. Tökéletlen kompenzáció zónája (hazai gyakorlatban 4000–5500 m között, angolszász gyakorlatban 15 000–20 000 láb között, azaz 4500–6000 m-es zónában): itt már a fiatal, egészséges egyénen is a szimpatikotóniás vészreakció, „adrenerg löket” kifejezettebb, a perctérfogat (CO) bal kamra lökettérfogat (SV) emelkedik, 3–4 MET oxigénfogyasztás mellett (ugyanakkor a maximális aerob teljesítmény és elérhető maximális pulzusszám limitált). A személyiség (a frontális lebeny hypoxiája miatt) torzul, eufória (magassági részegség) jelentkezik, csökken az ítélőképesség, az önkritika. Szemtünetek jelentkezhetnek (megvilágítottság csökken, a látóélesség kifejezetten csökken, beszűkül a látótér, akár homályos látás, teljes látásvesztés (blackout) is kialakulhat. A hallás kevésbé

³⁷ John Ernsting (ed.): *Aviation medicine*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000. 3. ed., 56, 70, 86, 134, 135, 142, 319; 2006, 4. ed., 47.

érzékeny (ezért vannak figyelmeztető hangjelzések is a fedélzeten, mert ezeket tovább észleli a pilóta), a tapintási zavar (paraesthesia) kevert hypoxiás-hypokapniás jel lehet.

Jelentősen meglassult kognitív képességek észlelhetők (objektívizálásukra az agyi elektromos aktivitásban az újdonság P300-hullám késői jelentkezése, illetve az összetett reakcióidő meghosszabbodása szolgál).³⁸ Romlik a rövid távú memória, a finommotoros koordináció tovább romlik, a beszéd elkentté válik, a kézírás (akár jól begyakorolt aláírás is) szétesik, olvashatatlan lesz. Szubjektív tünet lehet az indokolatlan fáradtság, fejfájás, hányinger, nyugtalanság, agresszivitás, hőhullámok, paresztézia, megfigyelhető lehet a deoxigenált hemoglobinszint miatti kékeslilás ajak és ujj (cyanosis). A klinikumban jellemző fulladásérzet nem jellegzetes, nem figyelemfelhívó, késői jel lehet, az indokolatlan tévesztések, meglassulások előjelezhetik a mélyülő tudatzavart, finom izomrángások jelentkezhetnek (fenti tünetek a hypokapniával, a túlzott szén-dioxid-kimosással is átfedő jellegűek).

4. Magassági halál öve (kritikus zóna, hazai gyakorlatban 5500 m-től kezdve, angolszász gyakorlatban 6000 m-től). 5500 m magasságban, ahol a légköri nyomás felére csökken, és a feleződött oxigénrésznyomás miatt a verőeres oxigéntelítettség 75% körüli értékre csökken, a TUC (hasznos öntudati vagy önmentési idő)³⁹ 20–30 perc, ez után várható a visszafordíthatatlan keringésromlás és az eszmélet elvesztése. További magasságnöveléssel, exponenciális jellegű oxigén parciális nyomáscsökkenéssel pedig szintén exponenciálisan csökken a hasznos önmentési idő: 7600 m-en 4–5 perc, 12 000 m-en 9–12 másodperc, ahol a hasznos öntudati idő meredek csökkenése, fenti tünetek halmozott és kiszámíthatatlanul romló kombinációja az egész testre kiterjedő epileptiform görcsök, keringés-, légzésleállás kíséretében okoznak halált. A TUC-időtartamok és tünetegyüttesek igen nagy egyéni szórást mutatnak, a hypoxiás barokamrai vizsgálatra vonatkozó abszolút megszakítási küszöb 65%-os perifériás oxigénszaturáció. De akár 5500 m-en, a hypobáriás hypoxiás barokamrai vizsgálat 3–5. percében is jelentkezhet kollapszus/syncope, vagy már hypoxiás vizsgálat után a tengerszintre ereszkedve, miközben a perifériás oxigénszaturáció még/már gyakorlatilag normális (Luftwaffe-pilóta szívleállással járó esete a königsbrücki intézet barokamrájában, a tengerszintre történő ereszkedés közben, elvileg már biztonságos magasságban). Ez az egyéni vagotónia mértékétől és a kompenzációs reflexszintű válaszok elégtelenségétől függ.⁴⁰

A környezeti levegő belégzése mellett jelentkező rövid idejű hypoxia okozta oxigénszint és -szaturáció-változást a repülés közben jelentkező vészhelyzetben mindig komolyan kell értékelni, a klinikai gyakorlatban a 90% alatti hypoxiát már veszélyesnek ítéljük (2. táblázat). A rövid távú hypobarikus hypoxiás expozíció során a nagy vérköri artériás vérben kialakuló oxigéntelítettség nem függ szorosan a kabinlevegő oxigén parciális nyomásától; akaratlan vagy szándékos szapora légvétel (polypnoe), vagy anti-G légzési manőver révén akár közel 100%-os is lehet 5500 m-es hypobáriában, vagy 90% 7600 m-en.

³⁸ Balázs László et al.: Frontális diszfunkcióra utaló eseményhez kötött agyi potenciálváltozások magassági hipoxiában. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 55. (2000), 4. 501–516.

³⁹ Time of useful consciousness: hasznos öntudati/önmentési idő.

⁴⁰ Michael Nehring: *Cardiac arrest during hypobaric chamber training*. AsMA congress, 2017.

2. táblázat: Hasznos önmentési/öntudati idők (TUC)

Repülési szint (100 lábanként, azaz 30 méterenként 1 Flight Level szint)	Magasság méterben	Hasznos önmentési/ öntudati idő
FL 430 és fölött	12 900 m	9–12 s
FL 400	12 000 m	15–20 s
FL 350	10 500 m	30–60 s
FL 300	9 000 m	1–2 min
FL 280	8 400 m	2,5–3 min
FL 250	7 500 m	3–5 min
FL 220	6 600 m	8–10 min
FL 180	5 500 m	20–30 min

Forrás: Gradwell–Rainford (2016) i. m. 62.

E folyamatok az emberi szervezet számára váratlanok, az evolúció során sem alakult ki megfelelő adaptációs mechanizmus, akut szív-érrendszeri reflexek csak korlátozottan képesek kompenzálni a hatását. (Ennek teljes, az orvosi biológiai háttérét és a fizikai teljesítőképességgel fennálló kapcsolatát elemző részletezése más publikációkban rendelkezésre áll.)⁴¹ Ez természetesen csak az akut reakciókra vonatkozó élettani határérték, elhúzódóbb, alattomos jellegű állapotromlás már jóval alacsonyabb magasságon is jelentkezhet.

A magasság függvényében (miközben a troposzférában a magasság során a gázok térfogatszázalékos összetétele gyakorlatilag konstans) az oxigénhiány az oxigén parciális nyomásának a csökkenéséből alakul ki. Ez az oxigén parciális nyomáscsökkenés fog aztán a tüdőben a léghólyagocskákra (az intraalveoláris térre), majd a diffúzió és nyomásfüggő vérbeoldódás után az egyéb folyadékterekre áttevődni a szervezetben, és végül is sejtszintű oxigénhiányos állapotot előidézni. Ebből az a látszólag helyes következtetés vonható le, hogy a probléma az oxigénadagolással kiküszöbölhető. Ugyanakkor friss állatkísérletes kutatási adatok arra mutatnak rá, hogy a periodikusan alkalmazott oxigénadagolás (például agysérülés után) a hypobáriában nem javítja a regenerációt, sőt rontja az agyi kognitív funkciót, vagyis a hypobária (oxigénszinttől függetlenül!) rontja a helyreállított agyi keringés mellett az agyi teljesítményt.⁴²

Napjaink katonai repülési gyakorlatában a kabinnyomás csökkenésekor a maszkon keresztül, illetve a sisakban belélegzett levegő összetételének a módosítása történik: először az oxigén arányának a tengerszintéhez képest fokozatos emelése (2000–3000 m-től 8000 m-ig az oxigén aránya 100%-ra nő), majd 12 000–13 000 m-től az oxigén túlnyomással történő belélegzése nélkülözhetetlen, különben ugyanúgy bekövetkezik az eszméletvesztés – akár másodperceken belül (3. táblázat).

⁴¹ Szabó Sándor András: A fizikai állóképesség és egészség-tudatosság repülésbiztonsági jelentősége. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 175–194.

⁴² Jacob W. Skovira et al.: Simulated aeromedical evacuation exacerbates experimental brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 33. (2016), 14. 1292–1302.

3. táblázat: Légzési rezsimek a tüdő alveoláris résznyomások, véroxigén-telítettség és ekvivalens magasságok függvényében

Magasság (láb)	Teljes nyomás (Hgmm)	Alveoláris pO ₂ (Hgmm)	Vér O ₂ telítettség (%)	Légzési rezsimek
50 000	87	60	87	Túlnyomásos légzés
40 000	122	60	87	100% O ₂
40 000	141	60	87	
34 000	187	100	98	100% O ₂
10 000	523	60	87	
tengerszint	760	100	98	levegő

Forrás: Gradwell–Rainford (2016.) i. m. 70.

A hypoxia elleni védelem a korszerű harci gépekben is magasságfüggő elven működik. Egyedi viszont az oxigénforrás, amely a hagyományos, rendszeresen feltöltendő, illetve cserélendő gáz- vagy folyékonyoxigén-tartály helyett fedélzeti oxigéngépző rendszert (OBOGS) alkalmaz. A MSOC⁴³ legalább két, alumínium-szilikátból álló, zeolitkristályos szűrőágy közötti nyomásváltás és nitrogénadszorpció elvén működik. A levegő átbotcsátásakor az eltérő tetrapol momentumú nitrogén a szűrőágyban adszorbeálódik, az átpaszszált levegő oxigénben feldúsul. A rendszer földi oxigénforrás nélkül 95% tisztaságú oxigén előállítására képes. Az ilyen oxigénrendszerek logisztikailag előnyösek (gyors karbantartás, megbízhatóság), repülőműszaki szempontból egyszerűbbek (a belégzésvezérelt műtűdőt, a demand regulátort egyszerűsítik). Mivel működése a hajtóműből jövő levegőáramtól függ, hajtóműleállás esetére tartalék (gáznemű) oxigénrendszer szükséges. Az újraindítás után a rendszer működése helyreállítható, a bevetés elvileg folytatható. Jelenleg kétségek merültek fel a molekuláris oxigénszűrés hatékonyságával, esetleges szennyeződések előfordulásával és a kabinlevegő szintén kondicionáló rendszer hibája miatti elszennyeződésével kapcsolatban.⁴⁴

Az emberi szervezet a rövid távú magassági nyomáscsökkenéshez evolúciós szinten nem adaptálódott. Felvethető, hogy a hypobáriának fontos szerepe van önmagában is (akár kellő parciális nyomású oxigénlégzés mellett is) az oxigénhasznosítási problémák miatt a sejt energiadeficitjének a kialakításában. Az út, amelyen keresztül a hypobaria önmagában is rontja az oxigén felhasználhatóságát, az a respirációs alkalózis (amelyhez aztán a későbbiekben metabolikus komponens is fog csatlakozni).

Barokamrában 5500 m-es vizsgálataink során ugyanazt a kabinlevegőt belélegző pácienseknél teljesen eltérő oxigénszaturációs értékek fordulhatnak elő: míg az egyik páciensnél akár 95–100%-os értéket is észlelhetünk, addig a mellette ülő páciensünknel 60%-os is lehet (egyik páciens sem jár ezzel az értékkel objektíven „jól”). A vizsgálat befejeztével, amikor már oxigénlégzés történik, az ereszkedési fázisban kritikus mértékű újabb oxigénhiányos állapot alakulhat ki, akár a tankönyvek szerinti „tökéletes kompenzációs magasságokban”. Például egy jelölt páciensünknel 3200 m-es magasság-

⁴³ MSOC (Molecular Sieve Oxygen Concentrator): molekuláris oxigénkoncentrátor-szűrő mint oxigénforrás.

⁴⁴ NATO Repülőorvosi Munkacsoport ülése 2019. május, Párizs (szabad diszkusszió).

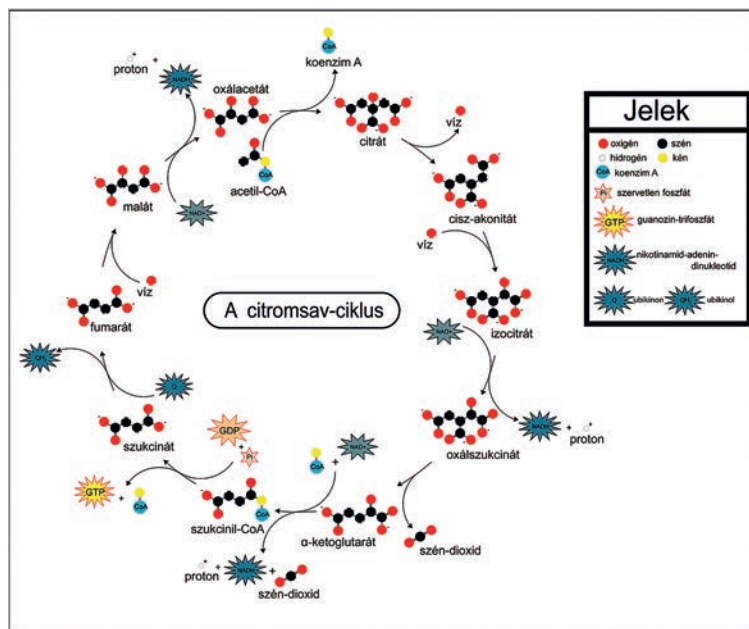
ban 62%-os oxigénszaturáció alakult ki, neki emiatt oxigént kellett adagolni, s miután az állapota rendeződött, a 62%-os szaturáció 2200 m-en ismét kialakult az ereszkedés során (utasszállító kabinmagassága), ismételt oxigénadagolás hatására az állapota rendeződött, de a vizsgálat után 8, majd 16 perccel 0 m-en ismételt 82% szaturáció alakult ki a periférián, az ujjbegyen mérve. Az elhúzódó „makacs” perifériás oxigénhiány előrevetíti az agyi hypoxia elhúzódó fennállását is, amellyel párhuzamosan a kognitív funkció is elhúzódó romlást mutathat. A barokamrai vizsgálat során triviális kérdéseket is fel szoktunk tenni a pácienseinknek, amelynek során például a stewardess nem tudja megnevezni az Egyesült Királyság fővárosát (London helyett Angliát mond), miközben a szaturációs értéke 95% (közel normális). Másik esetben a közgazdász végzettségű pilóta (94%) oxigénszaturáció mellett – az $1000 : 0,1 = 100$ helytelen választ adja. Lengyelország fővárosának Krakkót nevezik meg, majd helyesbítéskor Kairót, vagy nem tudják eldönteni, hogy melyik a nagyobb szám a $4/5$ vagy a $9/8$, illetve a $3 - (-6)$ kiszámolása nagy kihívást jelent szinte mindenki számára. Egyik alkalommal 7000 m-en 5 l/min-es folyamatos oxigénáramlású oxigénlégzés során az orvoskolléga nem tudta kivonni a 17-ből a háromat. Az eredmény helyett csak kétségbeesetten ismételtette az elvégzendő műveletet, miközben a vérének oxigénszaturációja 96% (normális) volt. Fenti tapasztalatok csak az oxigénhiánnyal nem magyarázhatóak, hiszen a periférián látszólag minden rendben van.

Miért ennyire kritikusan érzékeny az agyszövet a magassági oxigénhiányra és a pH-változásra? Tény, hogy a légköri oxigén a testünkben a szabályozott energiafelszabadítási folyamathoz szükséges (terminális oxidáció folyamata), amelyben az oxidatív foszforiláció során a felszabaduló energiának egy része beépül a nagy energiájú foszfátokot tartalmazó ATP- (adenozin-trifoszfát-) molekulába.

A szervek-szövetek közül tömegarányát tekintve az egyik legnagyobb, konstans oxigénfelhasználást követelő szervünk az agy. A testtömeg 2%-át (1–1,5 kg) kitevő szervként a nyugalmi oxigénfogyasztás 20%-át hasznosítja, mintegy 50 ml-t. A nyugalmi oxigénfogyasztás körülbelül 250 ml/min, 70 kg tömegű embernél ebből számítható a MET – metabolikus ekvivalens (vagy egyenérték) – 3,57 ml/kg/min egységnyi értéke. Aerob terhelés során ennek 10–14-szeresét (10–14 MET-értéket) tudja elérni egy fiatal, egészséges alany kerékpár- vagy futószőnyeg-terhelés során, maximális erő kifejtés mellett.

Ez a nyugalmi agyi oxigénfogyasztás a tényleges szellemi aktivitástól függetlenül fennmarad. Az idegsejtek működése, energetikai egyensúlya alapvetően aerob anyagcsere révén biztosított. A közvetlen „tüzelőanyag” a kellően előkészített hidrogén – NADHH+ formájában. A hidrogén előkészítése az energiafelszabadításhoz az idegsejtben a Szent-Györgyi – Krebs-ciklushoz, a citrátkörhöz kötött. A citrátkör univerzális bemeneti oldala az acetil-CoA, glükózdependens oldala pedig a borostyánkősav (vagy oxálcetsav). Ez utóbbi csak glükózból vagy glükózdependens anyagcsere-származékokból tud keletkezni. A körfolyamat során hat szénatomból álló trikarbonsav keletkezik a két bemeneti szubsztrátból, s ebből a trikarbonsavból két szén-dioxid leadásával újra borostyánkősav keletkezik, amely ismételtelen készen áll az újabb acetil-CoA fogadására. Az idegsejt citrátkörében csakis a glükolízis során keletkező acetylsoportokban meglevő „hidrogén” energiafelszabadításra történő előkészítése folyik, miközben 2 molekula

CO₂ keletkezik 1 molekula acetylsoport lebontásakor. A terminális oxidációban oxidált hidrogénből felszabaduló energia egy része az oxidatív foszforiláció révén épül be a makroerg kötések tartalmazó ATP-be (adenozin-trifoszfát). Hat szénatomos glukóz-molekula lebontása 6 molekula oxigén jelenlétében biztosít teljes „elégetést” és maximális energiatermelést, vagyis hat szén-dioxid-molekula (a citrátkörben) és hat vízmolekula (a terminális oxidációban) jön létre, 38 nagy energiájú foszfátkötést tartalmazó ATP-molekula képzése mellett. A citrátköri hidrogén-előkészítési folyamatban direktben nagy energiájú foszfátkötést tartalmazó molekulaként 1 molekula GTP (guanozin-trifoszfát) is keletkezik még 1 molekula acetylsoport lebontásakor, amely energetikailag ekvivalens 1 molekula ATP-vel. Egy molekula NADH⁺-ból 3 molekula ATP képződik a terminális oxidáció – oxidatív foszforiláció során (7. ábra).⁴⁵



7. ábra: Intermedier anyagcsere és ATP-képzés

Forrás: [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citric_acid_cycle.svg)

A testi sejtekben a másik nagy disszimilációs út a zsírsavak béta-oxidációja. Ennek során a zsírsavlánchról történő acetylsoportok lehasításakor FADH₂ keletkezik, s az acetylsoportok ezt követően ugyanúgy léphetnek be a citrátkörbe. Egy átlagos testi sejt, mondjuk egy szívizomsejt energiaigényének kb. a 70%-át a béta-oxidációban előállított FADH₂⁴⁶ oxidációjával keletkező ATP-vel fedezi. A béta-oxidáció nagyobbrészt a sejt

⁴⁵ Mike Jones – Julius Aegidius: TCA-hu.svg.

⁴⁶ FAD (flavin-adenin-dinukleotid): elektronátvivő kofaktor, amely fontos szerepet játszik az oxidatív foszforilációban, és a zsírsavak β-oxidációjában nagy energiájú elektronokat biztosít az oxidatív foszforiláció második lépéséhez.

citoplazmájában, a citrátkör nagyobb része a mitokondrium kettős membránja közötti térben, a terminális oxidáció-oxidatív foszforiláció pedig a mitokondrium belső terében folyik. A béta-oxidációnak az idegsejt esetében nincs gyakorlati jelentősége.

Oxigén jelenléte nélkül csak anaerob lebontás áll rendelkezésre egy testi sejt számára. Amennyiben az idegsejtek (elsősorban a legaktívabb és emiatt az oxigénhiányra legérzékenyebb agykérgi sejtek) számára normális aktivitásuk fenntartásához elégtelen az oxigénkínálat, akár az agyi vérkeringés romlása, akár a vér által szállított oxigénszint lecsökkenése révén, a sejtműködés 5–6 másodperc alatt leállhat, s ha az oxigénhiány nem rendeződik, akár sejthalál is bekövetkezhet négy perc múlva. Klinikailag ez a kognitív funkció romlásaként, eszméletvesztésként, sőt klinikai halál és agyhalál képében is megjelenhet.

Az idegsejtek energiaigényüket csak a glükóz aerob disszimilációjából képesek fedezni. (Elméletben ketontestek, főleg az acetecetsav bontásának útján is lehetséges ez, de ehhez olyan metabolit koncentrációra lenne szükség a vérben a glükóz ekvivalens ATP előállításához, amely jelentős ozmotikus és pH-egyensúlyi eltolódáshoz vezetne a szervezetben.) Ha az oxigén nem áll rendelkezésre kellő mennyiségben, s van ehhez elegendő idő is, akkor a testi sejt a glükolízis utolsó előtti lépésében keletkező pirosvajsavból tejsavképzéssel tünteti el a citrátkörben keletkező és „feltorlódott hidrogén” mennyiségét, így a nettó egy glükózmolekulából aerob feltételek esetén származtatható 38 ATP helyett nettó 2 ATP-molekula képződhet (tejsavlebontás – Embden–Meyerhof-út). A testben felhalmozódó tejsavnak ilyenkor számos előnyös hatása lehet (egy bizonyos pontig), ugyanis a savas irányba eltoló belső milió javítja az oxigén felhasználhatóságát: növeli az AVDO₂-t (arteriovenosus oxigéndifferencia), endothel vezérelten a nagy vérkörben növeli a szöveti vérperfúziót (nyitja az ereket) kompenzálódó a hypoxiát. Valamint javítja a terminális oxidációnál – oxidatív foszforilációnál az ATP-oxigén arányt. Így a szervezet hosszabb távú hypoxiás expozíció esetén időt nyerhet az akklimatizációs folyamatok statikus komponenseinek a felépüléséhez (emelkedő hemoglobinszint, 2–3 difoszfoglicerát-szint-emelkedés a vörösvértestekben, ez utóbbi fokozza a hemoglobin oxigénleadási képességét, az oxihemoglobin disszociációs görbét jobbra tolja el).

Az is közismert tény, hogy a szervezet belső miliójének kialakításában a pH-nak (azaz a hidrogénion-koncentrációnak) döntő jelentősége van. Csak szűk határok között tartva működhetnek a biokémiai és élettani folyamatok optimálisan. Minden, az optimumtól való kis fokú eltérés is drámaian rontja az élettani folyamatok hatékonyságát, sebességét, bár a savasabb irányút jobban tolerálja a szervezet, mint az alkalotikus irányú eltolódást, azaz a pH-emelkedést).

A szén-dioxid-szénsav-bikarbonát puffernek döntő jelentősége van a szervezetünkben a pH-állandóság biztosításában. Ez a pufferrendszer a szén-dioxid oldalán a tüdőn keresztül, a bikarbonát oldalán a vesén keresztül nyitott a külvilág felé. Mint fizikokémiai rendszerre, erre a disszociációs egyensúlyi rendszerre is érvényes a Le Châtelier – Brauntörvény (a legkisebb kényszer elve vagy tömeghatás törvénye): ha a rendszert behatás éri, akkor az egyensúlyi állapota úgy tolódik el, hogy a behatás mértéke csökkenjen (megszüntetni a behatást nem tudja, de annak mértékét csökkenteni igen). Respirációs alkalózisban elsődlegesen csökken a szén-dioxid mennyisége, ez a szénsav szén-dioxidra

és vízre bontását segíti, viszont emiatt a bikarbonát könnyebben felveszi a protont (szén-savat képezvén vele), kompenzálandó a szénsavszint csökkenését. A klinikumban a vér sav-bázis laborvizsgálatánál ezen primer és kompenzatorikus folyamatok eredőjét láthatjuk. A helyzet rendezését mindig a primer ok megszüntetésével lehet tartósan elérni.

Hypobáriában, normális vagy nagyobb parciális nyomású oxigént tartalmazó gázkeverék belégzésénél a respirációs alkalózis kialakulása gyorsan bekövetkezik. Elméleti számvetésként vegyük azt kiindulási állapotnak, hogy normoxiás levegőt lélegezve úgy emelkedünk 5500 m-re, hogy emelkedés során az esetleges szén-dioxid-vesztést kiküszöböltük. Majd a magasság elérése után az első néhány légvétel alkalmával, mivel az össznyomás a felére csökkent a tengerszinthez képest, a kilélegzett levegőben a szén-dioxid térfogatszázalékos aránya megkétszereződik $v/v\% = pP/P_0$ (a rész és össznyomás hányadosa). Nulla m-en szén-dioxid $v/v\% = 40 \text{ Hgmm}/760 \text{ Hgmm} = 5,3 \text{ v/v}\%$. A szokásos 500 ml-s légzési térfogattal számolva ez 26 ml szén-dioxidnak felel meg 1 atm nyomáson. Az Avogadro-gáztörvény alapján ez – 26 ml/24,5 dm³ – közelítőleg 0,001 mólnyi szén-dioxid kilégzését jelenti légvételenként. Vagyis 5500 m-es magasságban a kilégzésre kerülő szén-dioxid térfogati aránya 40 Hgmm/380 Hgmm = 10,5%. Az ekkor kilélegzett levegőben 52 ml a szén-dioxid térfogata 0,5 atm nyomáson nézve. De ebben is csak 0,001 mólnyi a szén-dioxid mennyisége. Látszólag tehát nem történt szén-dioxid-vesztés. Azonban a légzés dinamikus folyamat: 1–2 másodpercig tart a belégzés, s körülbelül ugyanennyi ideig tart a kilégzés. A légzési térfogatok 0,5–1 másodperc alatt nyílnak meg, és már következik a kilégzés. A gázok diffúziójának ennyi idő alatt kell megtörténnie a tüdő légzési térfogataiban. Nagy magasságban, a csökkenő össznyomás miatt a szén-dioxid expanziója kétszer akkora a tüdő légtereiben, mint nulla m esetében, valamint ezt a tágulást a szén-dioxid a kisebb össznyomás mellett feleakkora sűrűségű közegben végzi el. Tehát a magasságban történő légzés alkalmával a szén-dioxid diffúziós hatótávolsága és diffúziós sebessége megnövekszik a tüdő légtereiben. Ennek következtében ugyanannyi idő alatt több szén-dioxid-molekula tudja a kicserélésre szánt légzőterfogatokat elfoglalni. Így nagy magasságban a szén-dioxid funkcionális légúti holttere lecsökken. Ez a tüdőn keresztüli szén-dioxid-vesztés fogja okozni a szervezetben levő pH alkalotikus irányú eltolódását elsődlegesen.

A helyzetet bonyolítja, hogyha hypoxiás levegő légzésével történik a magasságba való emelkedés, akkor a kis vérköri sajátos endothelvezérelt érreakció miatt (Lilianstrand–Euler-effektus) a kis vérköri vérkeringés csökkenni fog (az erek összehúzódnak), így a tüdő szén-dioxid-leadó képessége is csökken. Emiatt az oxigén vérbe történő diffúziója az alveoláris térből pedig úgyszintén gátolt lesz. Ezért hypoxiás levegő légzése mellett a szén-dioxid-vesztés nem olyan látványos, de a fizikai hajtóerő azért felépül. Viszont, ha oxigénlégzéssel történik az emelkedés – ennek során a repülőgép fedélzetén a belégzésre kerülő oxigén parciális nyomása akár nagyobb lehet, mint tengerszinten (160 Hgmm) – a kis vérköri erek a nyugalmi normoxiás körülményekhez képest nagyobb mértékben kitágulhatnak, tehát a diffúziós lehetőség a tüdőben megnő, s emiatt a szén-dioxid-vesztés hatványozott lesz. Méréseink alkalmával 18 Hgmm-es etCO₂-t, azaz végkilégzési szén-dioxid-szintet is mértünk, a normális tengerszinti 40 Hgmm-es szén-dioxid-résznyomás helyett.

Az alkalózisnak az oxigénfelhasználhatóságra kifejtett hatásai már ismertek:

1. Alkalotikus közegben az oxihemoglobin disszociációs görbéje balra tolódik el, azaz a hemoglobin könnyen felveszi az oxigént, és nehezen adja le a sejteknek. Ez magyarázza, hogy nagy magasságban, az előzők során említetteknek megfelelően akár normális perifériás oxigénszaturáció is észlelhető a nagy vérköri artériás vérben – 5500 m-en hermetizálatlan kabinban levegőt lélegezve. (Itt megemlítendő, hogy a szén-dioxid önmagában is, allosztérikus módon elősegíti az oxihemoglobin disszociációját, a vérfesték-molekula térbeli szerkezetét befolyásolva elősegíti az oxigénleadást, hypobáriában viszont az alkalózis mellett hypocapnia is van, így ez is növeli a hemoglobin oxigénaffinitását.)
2. Az agyi vérperfúzió kizárólag endothelvezérelt (leszámítva olyan kóros állapotokat, mint a magas vérnyomás okozta agyi érbántalom [hypertenzív encephalopathia], mert ekkor nyomásvezérelt). A nagy vérköri endothelvezérelt érreakciót pedig a Starling-mechanizmus írja le. Ökölszabályként a hypoxia, acidózis, hypercapnia (magasabb szén-dioxid-szint) nyitja a prekapilláris izomgyűrűket (szfinktereket), ezek ellenkezője, a hyperoxia, alkalózis, hypocapnia (alacsonyabb szén-dioxid-szint) pedig zárja ezeket. Erre a nagy vérköri endothelvezérelt érreakcióra épül aztán rá a központi idegrendszeri szabályozás, egyrészt direkt érbeidegzés révén, másrészt az adrenalinhormon hatáson keresztül. Az agyi ereknek viszont nincs érbeidegzése, továbbá sem alfa- és sem béta-receptora, amelyen keresztül az adrenerghatás közvetítése történik. A rövid távú magassági hypoxiás állapotban az agyi érendothelre kettős hatás fog érvényesülni. Egyrészt a hypoxiának lesz egy értágító (vasodilatátor), az alkalózisnak pedig egy érszűkítő (vasokonstriktor) hatása, ez a két ellentétes hatás fogja befolyásolni az autonóm érregulációt.⁴⁷ Ennek eredőjeképpen relatív agyi érkeresztmetszet-csökkenéssel mindenképpen lehet számolni, de kisebb agyterületeken akár tényleges vasokonstriktóval is. (Sürgősségi újraélesztési – International Traumatological Life Support, ITLS-tan-
könyvekben külön tárgyalják azt a jelenséget, miszerint egy átmeneti szívéllást követően újra meginduló szívműködés mellett az agyi vérperfúzió még több per-
cen át szünetel – no flow-jelenség áll fenn. Véleményünk szerint ez is az agyban az oxigénhiányból fakadó átmeneti, az agyi kapillárisok környezetében kialakuló alkalózis következménye.) Ennek következtében tehát az oxigénnek a felhasználási helyre történő eljutása is nehezített lesz.
3. Ami oxigén mégis csak eljut az agyszövetig, és leadásra kerül a mikrocirkulációban az idegsejteknek, az az alkalotikusabbá vált sejten belüli (intracelluláris) pH-milió miatt rosszabb hatékonysággal használódik fel a terminális oxidáció – oxidatív foszforiláció során. Tehát romlik az oxigén-ATP arány, vagy más szóval ugyanannyi ATP előállításához alkalózisban több oxigénre van (lenne) szüksége az idegsejtnek a kellő energetikai szintjének a biztosításához, miközben abból pedig kevesebb

⁴⁷ Andrew W. Subudhi – Ronney B. Panerai – Robert C. Roach: Acute hypoxia impairs dynamic cerebral autoregulation: results from two independent techniques. *Journal Applied Physiology*, 107. (2009), 4. 1165–1171.

áll rendelkezésére. A mai repülésbiztonsági rendszabályok a harci pilótának oxigénhasználatot írnak elő, ezt a pilóta számára az automatika biztosítja az adott kabinmagasságnak megfelelően. Ez történhet a tengerszinti parciális oxigénnyomás biztosításával, de történhet akár az adott kabinmagasság melletti 100% oxigén használatával. (Korábban a szovjet-orosz vadászgépeken üzemszerű állapotban 2300 m-es gépmagasság felett a kabinhermetizáció felezte a gép kabinmagasságát a nyomás tekintetében. 7000 m fölé semmiképpen nem engedte azt, bármilyen magas volt a tényleges repülési magasság. A nyugati gépeknél nem ilyen szigorú a hermetizációs rezsim, akár 9000–10 000 m-re is felmehet a kabinmagasság nyomás tekintetében, és a kialakuló oxigénhiány ellen csak az OBOGS-rendszeren keresztül a folyamatos oxigénadagolás véd, de ez nem kompenzálja a kialakuló alkalózis okozta oxigénutilizációs zavart. Ennek az lehet a következménye, hogy a nyomáscsökkenésből fakadó fizikai-élettani törvényszerűségek miatt sokkal nagyobb mértékű szén-dioxid-vesztés következhet be a szervezet részéről, ami drámai mértékben hathat vissza az oxigén felhasználhatóságára. Ezért a repülőgépen szigorú oxigénhasználati fegyelmet kell tartani, azaz nem engedhető meg, hogy csak minden második, harmadik légvétel történjen a maszkból, illetve hogy az oxigénmaszk az arcra lazán legyen felhelyezve.

4. Az alkalózis csökkenteni fogja a légzőközpontok ingerlékenységét. Ugyanis a leg-erősebb centrális légzőközponti trigger a vér, illetőleg az agyvíz pH-jának acidotikus irányba való eltolódása, savasodása. Ez azt jelenti, hogy ha a pilóta bonyolult repülőmanőverbe kezd (légi tankolás, függeszkedés hegyszurdokban stb.), amikor mind a négy végtagjával finom precíziós mozgást kénytelen végezni, önkéntelenül is nyugalmi exspirációs mellkashelyzetet fog felvenni (a mellkas kilégzési vég-állapotba kerül), és az apnoés idő megnyúlhat az alacsonyabb vérbeli $p\text{CO}_2$ -szint okozta alkalózis miatt. Így hiába van az arcán a maszk, abból nem fog elég mély légvétellel és kellő frekvenciával oxigént belélegezni, aminek következtében még nagyobb lelki energiát igényel a feladat végrehajtása (pszichés fixáció), még inkább mellőzni fogja a kellő hatékonysággal a maszkból történő légvételt. Tapasztalatunk szerint 5500 m-en 10 perces oxigénlégzést követően az átlagos apnoés (légzésvisz-szatartási) idő teljes tüdőkapacitással történő oxigénbelégzés után (ha a páciens kellően motivált) 3–4 perc is lehet, sőt a rekordunk 8 perc úgy, hogy a páciens a nyolcadik percben határozottan fel kellett szólítani az apnoe befejezésére. (Az oxigénszaturációja ekkor még mindig 94% volt!)
5. Az oxigénutilizációs zavar a továbbiakban önmagát erősítő metabolikus alkalózist indukál:
 - a) Ugyanis a respirációs alkalózisnak, illetőleg az ez által létrejövő oxigénki-használati zavarnak lesz egy fontos metabolikus hatása. Az idegsejtek csak aerob glükolízisből és az ehhez kapcsolódó citrátkörben előállított hidrogén „tüzelőanyag” oxidálásából képesek energiát felszabadítani, mint azt a fentiekben elemeztük. Az oxigénhiány során az idegsejtben a terminális oxidáció gyorsan leáll (nincs oxigénraktár, míg az izomban némi oxigén raktározására lehetőség van a myoglobinnal). Az agyban a citrátkörben keletkező hidrogénnel

- gyorsan telítődnek a kötőfaktorok (NAD). Ennek következtében a citrátköri aktivitás és így a CO_2 -képzés csökkenni fog, miközben a sejt közötti állományban (intersticiumban) már eleve csökkentebb a fizikailag oldott szén-dioxid mennyisége. (A testünkben a szén-dioxid döntően a citrátkörben keletkezik.)
- b) A kialakuló energiadeficit – ATP-hiány miatt vélhetően az energiaigényes (ATP-bontással járó) iontranszport-folyamatok, az idegsejt membránjában például a Na^+ - K^+ -ATPáz aktivitás csökkenni fog. A Na^+ - K^+ -ATPáz (Na^+ -pumpa) tartja fenn a sejtek K^+ potenciálját, így jelentős szerepe van a nyugalmi membránpotenciál létrejöttében, és alapvetően befolyásolja annak mértékét is.⁴⁸ E transzportrendszer legfontosabb feladata, hogy a spontán sejtmembránon keresztüli nátriumion „beszívargást”, illetve káliumion „kiszívargást”, továbbá az ideg ingerületi tevékenységgel együtt járó nagy fokú Na^+ -beáramlást és K^+ -kiáramlást követően az eredeti ionegyensúlyt a sejtmembrán két oldalán (intra-extracelluláris tér) ismét helyreállítsa. Ennek során normálisan 3 Na^+ -kation vagy H^+ -kation mozog extracelluláris irányba 2 K^+ -kation befelé irányuló transzportjával szemben. Tekintve az idegsejt működését, ennek a folyamatnak (akciós potenciál mint elemi elektromos aktivitás és ingerületi jel létrehozása) nagy az energia-, így az ATP-igénye. Az ATP-szint fent levezetett csökkenése a Na^+ - K^+ -ATPáz működés csökkenéséhez vezet. Viszont a H^+ elektrokémiai potenciálgradiense a sejt belseje felé irányul, így az ellenirányú (sejten belüli térből a sejten kívüli tér felé), aktív transzportfolyamat intenzitásának csökkenése miatt nagy mennyiségben a sejten belüli térbe kerülhet, tovább fokozva ezzel az extracelluláris tér alkalózist.
- c) Az alkalózis viszont tovább fokozza a sejtmembrán permeabilitását, az ionok spontán transzportját, így ennek helyreállításához a sejt energiaigényét.
- d) A csökkentebb citrátköri aktivitás miatt előálló kisebb mértékű szén-dioxid-képzés viszont metabolikus oldalon fixálja a respirációs oldalról kiinduló alkalózist. Ezért az oxigénutilizációs zavar a hypobarikus expozíciót követően jóval tovább, több tíz percen keresztül fennállhat, holott a pilóta már réges-régen normobarikus normoxiás levegőt használ a földön. Ezek alapján látható, hogy az elsődleges respirációs okból kialakuló alkalózissá ráépülő metabolikus hatások további alkali-kus pH-eltolódást okozva fokozzák az előzőekben tárgyalt kedvezőtlen hatásokat: a Starling-mechanizmus értelmében zárják az agyi prekapilláris izomgyűrűket (szfinktereket), tehát az agyi véráramlás tovább romolhat. Véleményünk szerint ez okozza a fent említett no flow- (nincs áramlás) jelenséget is az agyi keringést illetően az újraillesztés első 3–5 percében.

Végző soron tehát a pilóta esetében ördögi kör alakul ki – respirációs alkalózis – oxigénutilizációs zavar – energiadeficit – csökkent ionpumpa-aktivitás, csökkent szén-dioxid-képzés és fokozottabb intracelluláris térbe történő protonbeáramlás – metabolikus

⁴⁸ Sikter András: Ionokról, elektrolitokról egy belgyógyász-kardiológus szemével. *Cardiologia Hungarica*, 37. (2007), B1–B6.

alkalózis útján (ami tovább fokozza a sejtmembrán áteresztőképességét és így a sejt energiaigényét). Eközben nincs számottevő tejsavképződésre lehetőség. (Az izomzatban nyugalmi állapotban a Starling-mechanizmus által vezérelt vérátáramlás történik. Így a kapilláris rendszernek csak tört része van aktuálisan nyitott állapotban.) Oxigénlégzés során a hybobáriában és a repülés utáni fázisban az izomzatban nyugalomban is keletkező tejsav által kinyitott kapilláris hálózathoz a savasabb szöveti pH gyorsan kimosódik. Az oxigén az izomsejt számára már rendelkezésre áll, így a tejsavképződés nem tud fokozódni (mint például a hegymászó esetében). Így a kapilláris rendszer lokálisan ismét kizárásra kerül. Ily módon a vér pH-ja alkalotikus maradhat, ami rontja a fentebb leírt okok miatt az agyi vérátáramlást és egyúttal az idegsejtek oxigénfelhasználását, ami továbbra is fenntarthatja az idegszövet alkalotikus (lúgos) miliójét. (8. ábra)

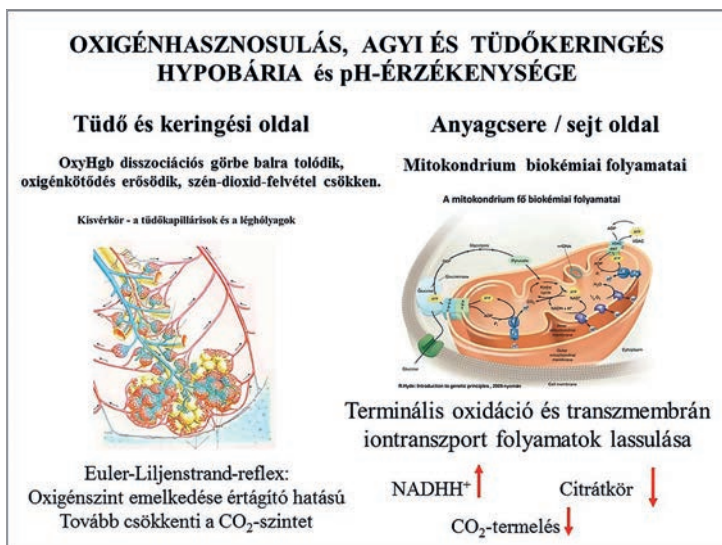
A hegymászóknál teljesen más az élettani helyzet. Ott az oxigénhiány sokkal lassabban alakul ki, így a tejsavképzés beindulására van idő. Ez persze tovább csökkenti a szervezetben a szénsavszintet – a bikarbonátszinttel együtt, és erre még ráakodik az acidózisból fakadó polipnoe (szapora, kapkodóbb légzés) általi kompenzáció is, de az eredő hatás az acidózis lesz. Ez bizonyos pontig túlélhetőbb a szervezet számára, mint a hasonló mértékű hypoxia alkalózissal párosulva.

Fentiek alapján a pilóták oxigénmenedzselését újra kellene gondolni, mert nemcsak az oxigénpótlás a fontos, hanem annak az idegsejt általi felhasználhatósága is nélkülözhetetlen. Ennek legegyszerűbb módja a szén-dioxid-vesztésnek a magasságból, a hypobáriából fakadó mérséklése, kivédése, például a magasságtól függő légzési holtter növelésével. Véleményezhető, hogy amennyiben az idegrendszer energetikai, pH-egyensúlyi helyzete a korábbi hypobáriás expozíció miatt kibillent, akkor már csak nagyobb légzési holttérvöveléssel állítható az helyre. Továbbá finomítani kellene a magassági hypoxiás övek élettani határait is, hangsúlyozva az alattomos, de veszélyes hatásfokcsökkenést az agyi oxigénhasznosulás folyamatában.

A fent leírt hatásokból látszik, hogy a hypobarikus hypoxia mértékét a klinikumban általánosan használt perifériás vér oxigéntelítettségének mérésével nem lehet korrekten megítélni, ugyanis a vér oxigénszintje mellett a vérben levő oxigén felhasználhatósága is jelentősen romlik. Mindamellet az agyi vérátáramlás a centrális, a keringési központok szabályozása alatt álló perifériás keringéstől szétválk. A perifériás pulzoximetria (például ujjbegyen mért oxigéntelítettség) csak durva tájékozódásra alkalmas a szervezetben lezajló folyamatok megítélését illetően: miközben a perifériás szaturométer már régen 100%-ot, azaz teljes normalizálódást mutat, az agyi keringést jellemző rSO₂ (regionális oxigéntelítettség) szerint az agy még 2500, sőt akár 4000 m-nek megfelelő hypoxiás állapotban van! Szükség lehet a valós repülés alatt a sisakba beépített szenzorok segítségével az agyi regionális vérátáramlás és oxigénszint valós idejű monitorizálására is.

Technikai oldalról pedig megkérdőjeleződik a hypobáriás oxigénhiány csak oxigénlégzéssel történő kivédésének kellő mértékű hatékonysága. Erre számos megfigyelésünk enged következtetni: oxigént lélegezve zárt rendszeren keresztül, a páciens kognitív terhelésnek alávetve vagy finommotorizációt igénylő koordinációs mozgásokra kényszerítve (ehhez hasonlíthat valós repülés folyamán a légi utántöltés vagy a helikopterrel történő függeszkedés) a perifériás keringésen is jól kimutatható oxigénhiány léphet fel,

esik az ujjbegyen mért oxigéntelítettség. Indirekten ebből az következik, hogy az agyban még nagyobb az oxigénhiány mértéke ekkor.



8. ábra: Oxigénhasznosulás kedvezőtlen szempontjai hypobáriában

Forrás: saját szerkesztés

Ennek figyelembevételével sok, korábban érthetetlen légi baleset, valamint a vizsgálatunk során a barokamrámban megfigyelt jelenség, az elhúzódó mentális zavar érthetővé válik, sőt a kórélettani magyarázat technikai megoldást is kínál a veszélyhelyzet kivédésére. Fenti kórélettani tapasztalatokat kísérleti körülmények között, normobáriás hypoxiában, a szén-dioxid-szint kísérleti körülmények közötti modulálásával (a hypoxia és a hiperventiláció azaz túllihegés okozta szén-dioxid-kimosás és hypocapnia egymástól független vizsgálatával), az alkalózis domináns oki szerepének felvetésével,⁴⁹ az agyi keringés hemodinamikai vizsgálatával és a kognitív teljesítménycsökkenés igazolásával a közelmúltban humán alanyokon is megerősítették.⁵⁰

Összefoglalás

A katonai és polgári repülésben az oxigénhiány ma is alapvető repülésbiztonsági kockázat, megelőzésére a hypoxiatudatosság fokozása (barokamrai profilok földi szimulált stresszhelyzetben történő alkalmazása) és a technikai védelem (hermetikus pilótakabin,

⁴⁹ Alexander T. Friend – George M. Balanos – Samuel J. E. Lucas: Isolating the independent effects of hypoxia and hyperventilation-induced hypocapnia on cerebral haemodynamics and cognitive function. Research Paper. *Experimental Physiology*, 104. (2019), 10. 1482–1493.

⁵⁰ Jack K. Leacy – Trevor A. Day – Ken D. O'Halloran: Is alkalosis the dominant factor in hypoxia-induced cognitive dysfunction? *Experimental Physiology*, 104. (2019), 10. 1443–1444.

magassági védőfelszerelés és oxigénadagolás) áll rendelkezésre. De ezek sem jelentenek százszázalékos biztonságot a hypoxia kivédésére. A Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetében barokamrában végrehajtott VR-szimulált repülések során NIRS-technikával végrehajtott transcraniális agyi oximetria mérések kapcsán azt találtuk, hogy:

1. Az előzetes kisebb mértékű, esetlegesen a szabályzatok által még oxigénlégzést el nem rendelő magasságon történő tartózkodás és az ezt követően a nagyobb magasságba történő emelkedés nagymértékben lerövidíti a kritikus mértékű agyi hypoxia kialakulásának idejét a közvetlen, erre a nagyobb magasságra emelkedéskor kialakult agyi hypoxia kialakulásának idejéhez képest. Ezt a negatív változást a kisebb magasságon történő oxigénlégzéssel nem lehet kivédeni.
2. Hypobáriás hypoxiában kellő mértékű parciális nyomással használt oxigénlégeztetéssel sem lehet feltétlenül biztosítani a hypobáriás expozíció előtti, a tengerszinti levegő belégzésével elért normális agyi oxigénszintet.
3. Ezen túlmenően, csupán a tengerszintinek megfelelő légnyomás és oxigénrésznyomás önmagában nem korrigálja 100%-ban az agyi keringést a hypobarikus expozíció után. Valószínűleg a megváltozott sav-bázis egyensúly miatt az agyi oxigenizáció még akár 10–20 perc után sem tér vissza a behatás előtti szintjére (miközben az ujjbegyen mért szaturáció már teljes, 100% értéket mutat). A körülbelül 10–15%-os agyi oxigéndeficit komoly idegrendszeri funkcionális kiesést jelenthet, ami a hypoxia másnaposság („post hatás”) részjelensége lehet. Helyesebb lenne a hypobarikus oxigénutilizációs zavar elsődlegességét hangsúlyozni.

Ez az „utóhatás” a fiatalokon, a kis vagy normális BMI-indexszel rendelkező (sovány) pácienseken (vagyis a pilótapopuláció preferált testalkatára is vonatkozóan) jól megfigyelhető, és jól korrelál a hypoxia hangover/másnaposság okozta tünetekkel és panaszokkal.

4. Saját megfigyeléseink szerint maga a kognitív terhelés barokamrai kontrollált körülmények mellett is befolyásolja a kevert agyi hajszáleres vér oxigénszintjét. A stressz, a légzésvisszatartás és felületesebb légzés a figyelem maximalizálása és összpontosítás mellett csökkenti az effektív légzés hatékonyságát, esik az agyi oxigénszint (és a feladat befejezése után is csak lassan normalizálódik). Az oxigénhiány okozta veszély (bár csak 18 000 láb [5500 m] fölött válik percekben-másodpercekben mérhető cselekvőképzetlenségi veszéllyé), kisebb magasságon is ronthatja a hadműveleti körülmények között nélkülözhetetlen új feladat tanulási képességet (navigáció, üzemanyag-számítás, rövid távú memória használata kapcsán).

Ezek alapján felmerül a hypobarikus hypoxiában kialakuló mechanizmusok újragondolásának szükségessége, s ebből fakadóan a repülésben alkalmazott oxigénrendszerek funkcionalitásának az újragondolása, sőt újratervezése.

A barokamrai hypoxiás edzés (demonstráció) egyértelmű haszna, hogy a pilóták megtapasztalják és megtanulják felismerni a fenyegető, alattomos hypoxia jeleit vészhelyzetben, és aktívan képesek ellene tenni a vészhelyzeti tevékenységük során (átkapcsolás tartalék oxigénrendszerre, magasságcsökkentés). Ennek eredményeként csak

3,8%-nál következik be eszméletvesztés valós vészhelyzetben (hypoxia incidensben), míg a tapasztalatlan utasoknál akár 94%-ban. A hypoxiatudatosságnak, az alarmírozó állapotjellemzőknek mint emlékképnek a rögzítése vészhelyzetben segít az azonnali cselekvésben, önmentésben. Ennek hiányában viszont a vészhelyzeti reakció pánikjellegű, rendezetlen és így a helyzetet tovább súlyosbító lehet. Ezért létfontosságú a hypoxia kontrollált körülmények közötti rendszeres szemléltetése, felidézése, az önbizalom felépítése a gyakorlás során.

A hirtelen cselekvőképтелenség veszélye azért óriási, mert a hypobáriás hypoxia nem kellemetlen élmény, nem okoz nyilvánvaló fulladásérzést az oxigén alacsony szintje, mert a szimultán magasságfüggő szén-dioxid-kimosás a szervezetből megszünteti a légzőközpont elsődleges ingerét (és tovább szűkíti az agyi ereket, ily módon rontva az agyi vérellátást is). A „magassági részségység” állapotában a homloklebeny kérgi gátlásai oldódnak, az alany felhangolt, jókedvű, nincs veszélyérzete, önkritikája elvész. Nem is kíván a helyzetéből menekülni mindaddig, amíg már nem is képes rá: túllépi az adott magasságon jellemző hasznos öntudati időt. Elvégzett vizsgálataink pedig arra is rámutatnak, hogy az agyi keringés változása, az oxigénhasznosulás kritikus csökkenése hosszabb távon, a földi tengerszínti nyomás helyreállítása után akár órákig befolyásolhatja a mentális teljesítményt.

A Magyar Honvédség technikai eszközrendszerének, személyi és infrastrukturális fejlesztésének nagy léptékű átfogó modernizációját célzó Zrínyi Haderőfejlesztési Programban prioritást élvez a pilótaképzés teljes önálló, nemzeti spektrumának megteremtése. Egészséges fiatal, de nagy stressz-szint mellett, nem konvencionális beosztásokban dolgozók (például katonaság, azon belül katonai repülő-hajózó állomány) alkalmassági szűrővizsgálata során célunk az emocionálisan stabil, alacsony stressz-szint mellett magas produktivitást mutató jelöltek kiválogatása. Ebben a csoportban a kognitív teljesítménymutatók összevetése (korreláltatása és szimultán értékelése) a mögöttes vegetatív idegrendszeri stabilitás (és gyors regeneráció vagy reziliencia, lelki rugalmasság), vagy instabilitás (stressz és gyors kimerülés) a szívfrekvencia variabilitás HRV-mutatóival, esetleg az agyi vérátáramlás (NIRS) és a multicSATornás EEG nyújtotta direkt regionális agyi aktivitási jellemzőkkel hasznos lehet.

A kiképzett pilótáknál pedig a fenti képességek terén a teljesítmény longitudinális követése (éves vizsgálatok során az adatbázis összehasonlítása) nyújt információt és visszajelzést a pilóta aktuális szellemi munkavégző képességéről és stressztűrő képességéről. Barokamrában standardizált hypoxiás felszállás során a kognitív teljesítmény kényszere szimulátoron végrehajtott repülési feladattal egybekötve még informatívabb lehet a tényleges szellemi teljesítőképességről. Távolati célként a NIRS-EKG-HRV (agy-i véráramlás és szívfrekvencia variabilitás) mint szenzoros monitorizálás és kiértékelési képesség fedélzeti alkalmazása (orvosi feketedoboz) is felmerül, illetve egyéb orvosbiológiai paraméterek valós idejű regisztrációja a harcképesség nyomon követésére. (9. ábra)



9. ábra: A jövő katonája az orvosbiológiai monitorizálás alrendszerével

Forrás: saját szerkesztés

A repülésélettani kihívások hatását a stressztűrő képességre, a humán teljesítőképességre jelenleg kutatási projektben is vizsgáljuk a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 számú „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közzolgálati Egyetemen (VOLARE)” projekt keretében. A kutatási projekt során megvalósuló, a pilóták éves repülő-egészségügyi alkalmassági vizsgálataiba integrálódó funkcionális teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok, az agyi (regionális) és teljestest-keringést jellemző oxigénszaturációs paraméterek, szén-dioxid-szint rögzítése és a stresszmonitorozást biztosító HRV-készülék (Fusion Vital cég Firstbeat Bodyguard 2 szívfrekvencia-varianciát mérő készüléke) együtt alkalmas lehet a pilótát érő repülésélettani kihívások során a vegetatív idegrendszeret érő akut hatások jellemzésére, az agyi oxigénhasznosulás hatékonyságának és a szív- és érrendszeri rezervkapacitás és regeneráció megítélésére. A beállított mérési módszerek alkalmasak lehetnek a pulzuslabilitás mérésével a stresszreakció jellemzésére.

Köszönetnyilvánítás

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

A kutatás a fenti projekt „AVIATION_HUMAN” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.

Külön köszönetünket fejezzük ki Dr. Végh Tamásnak, a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum (DEOEC) docensének, aneszteziológusnak és a Coci-dien, majd a jogutód Medtronic Hungary orvostechikai cégnek (Dinóczkiné Kázmér Katalin és Hegyközi Bálint munkatársaknak) szakmai segítségükért és az INVOS gyártmányú NIRS-készülék rendelkezésre bocsátásáért a barokamrai kísérleti elrendezéshez.

Köszönetünket fejezzük ki Fischer Gábor főmérnök úrnak (Anamed Kft.) a Mindray orvosbiológiai őrzőpult barokamrai telepítéséért és a NIRS-, kapnograph és EEG-modul alkalmazási lehetőségéért.

Felhasznált irodalom

- Acosta, Jose de: *The natural and moral history of the Indies*. Durham, Duke University Press, 2002.
- Amaczi Viktor: Paul Warfield Tibbets halálára. *Magyar Honvéd*, 27. (2006), 51–52. 41.
- Artino, Anthony R. – Richard V. Folga – Brian D. Swan: Mask-on hypoxia training for tactical jet aviators. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 8. 857–863.
- Balázs László – Czigler István – Grósz Andor – Karmos György – Szabó Sándor – Tótka Zsolt: Frontális diszfunkcióra utaló eseményhez kötött agyi potenciál változások magassági hipoxiában. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 55. (2000), 4. 501–516.
- Cable, Gordon G.: In-flight hypoxia incidents in military aircraft: Causes and implications for training. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74. (2003), 2. 169–72.
- Domján Károly – Vada Gergely: Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között. *Haditechnika*, 54. (2020) 3. 2–7.
- John Ernsting (ed.): *Aviation medicine*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000.
- Fonvielle, de Wilfred: The “Zenith” Balloon Ascent. *Nature*, 11. (1875), 513. Online: <https://doi.org/10.1038/011513a0>
- Friend, Alexander T. – George M. Balanos – Samuel J. E. Lucas: Isolating the independent effects of hypoxia and hyperventilation-induced hypocapnia on cerebral haemodynamics and cognitive function. Research Paper. *Experimental Physiology*, 104. (2019), 10. 1482–1493. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31342596/> <https://doi.org/10.1113/EP087602>
- Gradwell, David P. – David J. Rainford (eds.): *Ernsting’s aviation and space medicine*. Boca Raton, CRC Press, 2016.
- Gray, Gary – Michel A. Paul: *Assessing the effects of crew exposure to cabin altitudes of 8,000 ft to 10,000 ft: A literature review and recommendations*. Defence Research and Development Toronto, 2002. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA406891.pdf>
- Hellenic Republic Ministry of Transport & Communications: *Aircraft Accident Report*. 11. (2006). Online: https://reports.aviation-safety.net/2005/20050814-0_B733_5B-DBY.pdf
- Jenkins, Dennis R.: *Dressing for altitude. U.S. aviation pressure suits – Wiley post to space shuttle*. NASA, 2011. Online: www.nasa.gov/pdf/683215main_DressingAltitude-ebook.pdf
- KBSZ (Közlekedésbiztonsági Szervezet) Zárójelentése 2011-272-4P: Súlyos repülőesemény Budapest (LHCC) FIR, 2011. 11. 23., Boeing 737-800 HA-LOK. Online: www.kbsz.hu/j25/dokumentumok/2011-272.pdf

- Kikukawa, Azusa – Asao Kobayashi – Yoshinori Miyamoto: Monitoring of pre-frontal oxygen status in helicopter pilots using near-infrared spectrophotometers. *Dynamic Medicine*, 7. (2008), 10. Online: <https://doi.org/10.1186/1476-5918-7-10>
- Leacy, Jack K. – Trevor A. Day – Ken D. O'Halloran: Is alkalosis the dominant factor in hypoxia-induced cognitive dysfunction? *Experimental Physiology*, 104. (2019), 10. 1443–1444. Online: <https://doi.org/10.1113/EP087967>
- Magyar Honvédség Repülésbiztonsági konferencia, MH 59 Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis, 2008.
- Mayes, Ryan: USAF & NATO STO HFM (Tudományos és Technológiai Szervezet, Humán Faktor és Medicina Panel) Summit, March 2017.
- Moerman, Anneliese – Stefan de Hert: *Recent advances in cerebral oximetry. Assessment of cerebral autoregulation with near-infrared spectroscopy: myth or reality?* 2017. Online: <https://doi.org/10.12688/f1000research.11351.1>.
- NATO STANAG 3114: Aeromedical Training of Aircrew. AAMedP-1.2: Aeromedical Training of Flight Personnel Edition. February 2018.
- Nehring, Michael: *Cardiac arrest during hypobaric chamber training*. AsMA congress, 2017. Online: www.asma.org/asma/media/AsMA/pdf-meetings/2017%20Annual%20Meeting/posters-2017/201705_282_Nehring.pdf
- Newman, David G.: 'Depressurisation accidents and incidents involving Australian civil aircraft'. 1 January 1975 to 31 March 2006. In *ATSB Research and Analysis Report B20060142*. 2006. Canberra, Australian Transport Safety Bureau, 2016. Online: www.atsb.gov.au/media/32876/b20060142.pdf
- O'Keeffe, Niall: *Fatal Eurofighter crash in Spain*. Aviation Week. Online: www.flightglobal.com/eurofighter-suffers-first-fatal-crash-in-spanish-training-accident/95589.article
- Ostrander, George B.: Hypoxia in the Hornet. What we know, and what we're doing. *Approach. The Naval Safety Center's Aviation Magazine*, 50 (2005), 3. 10–12. Online: https://static.dvidshub.net/media/pubs/pdf_42721.pdf
- Phillips, Jeffrey B. – Dain S. Horning – Roy E. Dory: *A comparison of pulse-oximetry, near-infrared spectroscopy (NIRS), and gas sensors for in-cockpit hypoxia detection*. Technical Memorandum Report Number 12–60. Naval Medical Research Unit – Dayton, 2012. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA571028.pdf>
- Rasmussen, Martin B. – Vibeke R. Eriksen – Bjørn Andresen – Simon Hyttel-Sørensen – Gorm Greisen: Quantifying cerebral hypoxia by near-infrared spectroscopy tissue oximetry: the role of arterial-to-venous blood volume ratio. *Journal of Biomedical Optics*, 22. (2017), 2. Online: <https://doi.org/10.1117/1.JBO.22.2.025001>
- Rogoway, Tyler: Now that the F-35a is also having oxygen issues a solution is more likely. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/11468/now-that-the-usafs-f-35a-has-oxygen-issues-too-a-solution-is-more-likely
- Rödig, Erich: *F-35A pilots have experienced five physiological events since June*. Online: www.airforcemag.com/daily-report/October%2025%202017
- Sikter András: Ionokról, elektrolitokról egy belgyógyász-kardiológus szemével. *Cardiologia Hungarica*, 37. (2007), B1–B6.
- Skovira, Jacob W – Shruti V. Kabadi – Junfang Wu – Zaorui Zhao – Joseph DuBose – Robert Rosenthal – Gary Fiskum – Alan I. Faden: Simulated aeromedical evacuation exacerbates experimental brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 33. (2016), 14. 1292–1302. Online: <https://doi.org/10.1089/neu.2015.4189>

- Smith, Adrian M.: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: A retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16110698/>
- Subudhi, Andrew W. – Ronney B. Panerai – Robert C. Roach: Acute hypoxia impairs dynamic cerebral autoregulation: results from two independent techniques. *Journal of Applied Physiology*, 107. (2009), 4. 1165–1171. Online: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00498.2009>
- Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében. (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben).* PhD-dolgozat. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009.
- Szabó Sándor András: Orvosbiológiai monitorizálás jelene és jövője a katonai repülésben (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére). *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 2. 145–162.
- Szabó Sándor András: A fizikai állóképesség és egészség-tudatosság repülésbiztonsági jelentősége. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 175–194. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-Repulestudomanyi_kozlemenyek.pdf
- Tomlinson, Lucas: *Navy instructor pilots refusing to fly over safety concerns*. Online: www.foxnews.com/politics/2017/04/04/navy-instructor-pilots-refusing-to-fly-over-safety-concerns-pences-son-affected.html
- Varis, Nikke – Kai I. Parkkola – Tuomo K. Leino: Hypoxia hangover and flight performance after normobaric hypoxia exposure in a Hawk Simulator. *A Hawk Simulator Aerospace Medicine Human Performance*. 90. (2019), 8. 720–724. Online: <https://doi.org/10.3357/AMHP.5289.2019>
- Xu Cui – Signe S. Bray – Daniel M. Bryant – Gary H. Glover – Allan L. Reiss: A Quantitative Comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *Neuroimage*, 54. (2011), 4. 2808–2821. Online: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.069>
- Wiegmann, Douglas – Troy Faaborg – Albert Boquet – Cristy Detwiler – Kali Holcomb – Scott Shappell: *Human error and general aviation accidents: a comprehensive, fine-grained analysis using HFACS*. Oklahoma City, Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration, 2005. Online: www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/0524.pdf

Teljesítménydiagnosztika alkalmazása a repüléstudományi kutatásokban

Absztrakt

A tanulmány bemutatja a humán faktor vizsgálatának rövid fejlődéstörténetét, a teljesítménydiagnosztika és funkcionális rendszerek vizsgálatának helyét az orvostudomány rendszerében (kutatási módszerek, a vizsgálatok műszerei és berendezései, értékelési módszerek, a tudományterület szerepe az alkalmassági vizsgálatok rendszerében). Ismerteti a teljesítménydiagnosztika alkalmazási lehetőségét a repülésben napjainkban (milyen hatása van a tudományos-technikai fejlődésnek az alkalmasságvizsgálatokkal szembeni szakmai követelmények változásaira. Elemzi a noninvazív eljárásokat és alkalmazási területét, az ergonometriás, spirometriás, HRV-vizsgálatokat, diagnosztikai eljárásokat és ezek alkalmazásának alternatíváit a pilóták és UAV-operátorok felkészítésében és teljesítményértékelésében.)

Bevezetés

A levegőnél nehezebb, gépi meghajtású repülőeszközök esetében sajátos paradoxon, hogy miközben a repülés effektív energetikai megvalósítása (háromdimenziós mozgás végrehajtása extrém magasság-, gyorsulás- és sebességtartományban) alapvetően technikai-technológiai fejlesztések révén valósul meg, aközben – bár az emberi erőre direkt módon nincs szükség – a fizikai teljesítőképesség és a szív-érrendszeri reakciók harmonikus, kompenzációs működtetésére igen, hogy a fenti fizikai paraméterek szervezetet erő és akut túlterhelési/kimerítési stresszreakciót okozó hatásait, amelyek ad absurdum hirtelen cselekvőképtelenséget okozhatnak, minimalizáljuk. Ily módon az egyik oldali repüléstechnikai/avionikai fejlesztés maga után vonja az orvosbiológiai kutatást-fejlesztést, amelynek elsődleges célja a repülés-élettani stresszorokkal szembeni tűrőképesség felmérése és javításuk lehetséges kutatása. (Természetesen ennek is van technikai összetevője, a repülőorvos – mint „erőnléti edző” – csak részben tudja az élettani reakcióképességet optimalizálni, szükség van az életfenntartó rendszerek technikai-technológiai fejlesztésére is, természetesen a biológiai alany adottságainak, teljesítőképességének objektív figyelembevételével. Mindaddig, amíg élő ember (pilóta) vezeti a repülőgépet, csak a már meglévő antropometriai, mozgásszervi, erőnléti alapokra építkezve lehet, a biomechanika és a repülésélettan kutatási eredményeire támaszkodva a fizikai teljesítőképességet, a speciális repülőorvosi (hypoxia¹ és G gyorsulás elleni)

¹ Hypoxia: oxigénhiány, alapvetően a repüléssel együtt járó nagy magasságon az alacsony nyomás okozta formája.

tűrőképességet növelni. Ennek megoldásában szükség van az élettani kihívások és körélettani válaszreakciók széles körű ismeretére és a technikai megoldások antropomorf, ergonómiailag hatékony kivitelezésére.

A repülőorvostan és a fizikai teljesítmény történeti összefüggése

Ma evidenciának tűnik, hogy ahhoz, hogy a pilóta alkalmazkodóképessége, munkaképessége maximumát nyújthassa, mind a fizikai, testi teljesítőképesség, mind a pszichés/lelki stressztűrő képesség, mind az információ feldolgozó képesség szempontjából kiváló teljesítményt kell nyújtania. Történeti áttekintésben ez nem volt mindig így, illetve egy-egy paramétert önkényesen kiragadva, a követelményszinteket eltorzítva vagy leegyszerűsítve értékelték. De a fizikai teljesítőképesség elvárt szintje mindig része volt a követelményeknek, ha máshol nem, az általános, katonaegészségügyi alkalmassági fizikai paraméterek meghatározásánál.

A repülésben (különösen a katonai repülésben) a humán faktor (kibernetikai szempontból a gép – repülési környezet – ember hármas rendszerében a pilóta) vizsgálata szorosan követte a haditechnikai kihívások és technológiai fejlődés emelkedő spirál jellegű fejlődését, sokáig azonban csak retrospektíve, dinamikusan visszaható jelleggel, lekövetve annak változásait, mérőldköveit (magassági tartományok meghódítása, hangsebesség átlépése, többszörös G gyorsulás és túlterhelés). Ez a reflexió sajnos sokáig csak a repülésbiztonság riasztó statisztikáiban, a bekövetkezett légi közlekedési balesetek tanulmányozása után, a következtetések levonásában és a bekövetkező hasonló balesetek elkerülésének jobbító szándékában volt követhető, *a repülési szabályzatokat így valóban vérrel írták*. Először tehát a balesetek körülményeinek, repülésélettani aspektusainak feldolgozása nyújtott lehetőséget a hasonló stressz-szituációk legközelebbi elkerülésére (mi történhetett, hogyan tudtuk volna elkerülni?). Ezt csak később váltotta fel magának a stressz-szituációnak a tudatos, kontrollált szimulációja földi (biztonságos) körülmények között, ahol valós idejű orvosi biológiai monitorizálás közben lehetett a még elfogadható élettani reakciót elválasztani a kóros, mindenképpen előzetesen kizárandó és kerülendő körélettani reakcióktól – ez vezetett a speciális kutatási metodikák és ennek megfelelően a repülőorvosi alkalmassági, minősítési elvek kidolgozásához.

A „levegőnél nehezebb repülőeszközökkel történő repülés” születésnapja 1903. december 17-e, amikor a Wright testvérek az általuk kifejlesztett első géppel (Flyer) a levegőbe emelkedtek (Észak-Karolina, Kitty Hawk). Az első repülés rövidebb és kisebb magasságú volt, mint a Boeing-747 Jumbo Jet magassága és szárnyainak fesztávolsága – ilyen értelemben még természetesen semmit nem jelzett előre a repüléssel járó, várható repülés-élettani kihívásokból. 1908-ban, amikor az amerikai hadsereg beszerezte az első repülőgépet, még a szárazföldi egészségügyi követelményeket alkalmazták, amely a fogászati követelményeket emelte ki (az amerikai polgárháború túlélő – és kissé elavult – emléképeként a dugót kellett kihúzni a löporos üvegből). Csak 1910-ben a német hadsereg vezette be az első minimális repülőegészségügyi követelményrendszert, előre vetítve a dinamikusan fejlődő katonai repülés okozta potenciális kihívásoknak való törvényszerű

megfelelést. Az amerikai hadsereg (US War Department) 1912. február 7-én publikálta az első repülőorvosi követelményrendszert, amelyet hamarosan követett az olasz (Italian Air Medical Service), a francia és a brit orvosi standard. Ezekben már szerepet kapott a normális látás (mélységlátás, távolságbecslés), hallás, dobhártyák épségének definíciója. Alkalmatlanságot jelentett a színvakság/szintévesztés, a közép- és belsőfül/hallóideg heveny vagy idült betegsége, vagy a légző-, keringési és idegrendszer bármely betegsége – természetesen erősen behatárolt műszeres vizsgálati lehetőségek mellett. Az egyensúlyozó képességet például zárt szemmel történő „egy helyben állás”, illetve „ugrás nyitott/zárt szemmel” helyzetben ellenőrizték. Az 1914-ben történt szigorítás az egészségügyi követelményekben a beválási arány csökkenését és ezzel az utánpótlás nehezítettségét okozta. Az egyik „kifinomult” teszt szerint a jelölteknek egy tűt kellett a hüvelykujj és mutatóujj közé lazán szorítaniuk. Ha a fejük mögött közvetlenül elsütött pisztolylövés okozta (egyébként óhatatlan) startle (ijedtségi) reakció miatt megszurta az ujját, és vér jelent meg, alkalmatlanná vált.

Az I. világháború első évében (csekély intenzitású légi harc mellett is) a brit és francia repülőorvosi szervezet szerint a magas veszteségráta alapvetően a humán faktor elégtelenségére volt visszavezethető: Az összveszteségből 2% (!) volt ellenséges repülővel történt légi harc miatti veszteség, 60% saját testi/érzékszervi defektus közvetlen következménye, a többi mechanikai, technikai, karbantartási ok vagy „baráti tűz” miatt történt. Az I. világháború alatt a nyugati fronton egy vadászpilóta átlag 6 hétig (!) élt és repült, utána lezuhant és meghalt (vagy nyomorék lett). Ritka kivétel volt Roland Garros, a párizsi teniszszentély névadója, aki a „nagy háború” előtt már körbepölyt a Földközi-tengert, kiváló pilótaadottságokkal rendelkezett, és majdnem túlélte a háborút: 1918 őszén, pár nappal a 30. születésnapja és a háború vége előtt lőtték le.

Ugyanakkor már az I. világháború katonai légi hadviselése rámutatott az emberi szervezetet potenciális meg/túlterhelő magasság-élettani kihívásokra: a német haditengerészeti légjáró hadtest (*German Naval Airship Division*) londoni légítámadásai ellen alkalmazott légi eszközök² 5000–6000 m magasságban repültek (16 400–20 000 láb), ahol a hideg, a hypoxia, a hajtóműzaj (akár 8 órás expozíciós idő alatt) már dokumentált, komoly élettani reakciókat, klinikai tüneteket váltottak ki: szédülés, fülzúgás, fejfájás, emelkedett pulzus és légzésszám, kimerés jelentkezett. (A fedélzeti sűrített levegőnek pedig kellemetlen olajos íze volt, amit a repülőszemélyzet egyébként is vonakodott használni, mivel a gyengeség jelének tekintették.)³

Az amerikai katona-egészségügyi szolgálat is a magas veszteségráta okaként a testi defektus (mindenféle szervrendszeri elégtelenség) hátterében döntő mozzanatként a légköri csökkent oxigénkínálat okozta azonnali vagy késleltetett szív-érrendszeri inadekvát válaszreakciót feltételezte. (Egyéb okként a harctéri kimerülés, akna shock [„gránátnyomás” okozta komplex polytraumatizáció a lökéshullám miatt] és az ideggyengeség merült fel.) A Brit Királyi Légierő (RAF) kezdett először speciális rehabilitációs céllal

² Dirigibles: kormányozható léghajók.

³ Jeffrey R. Davis et al.: *Fundamentals of aerospace medicine*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2008. 4.

is bíró gondozóhálózat kiépítésébe (Care of Flyer Service). Ennek eredményeként két év alatt a testi defektusproblémák aránya 60%-ról 12%-ra esett. Ehhez a csökkenéshez a fizikai teljesítőképességgel szembeni követelménytámasztás, a tervszerű előrehaladó repülő kiképzés, a fizikai és érzelmi problémákra adott szakszerű kezelés kétségtelenül hozzájárult.

Persze mindig voltak kivételek: a repülést annak idején „ülő foglalkozásnak” tekintették, a fizikai teljesítőképesség abszolutizálása nehezen is volt összeegyeztethető némely kiváló vadászrepülő tényleges harci teljesítményével, miközben esetlegesen komoly egészségügyi problémákkal küzdöttek. Például Richthofen báró német ász harci kiképzője Georg Zeumer idült tuberkulózisban szenvedett, krónikus köhögéssel, a 40 légi győzelemmel rendelkező Oswald Boelcke tüdőasztmás volt. A brit ász, a 34 éves Mike Mannock 73 légi győzelemig jutott, miközben fél szemére születési rendellenessége miatt vak volt. Az ausztrál Frank Alberry hadnagy földi ütközetben elvesztette a lábát, de múltábal – a brit uralkodó személyes kihallgatáson átadott engedélyével – a légi erőben elvégezte a pilótaképzést, és 7 győzelemig jutott. (Furcsa fintora a sorsnak, hogy az I. világháború után, az újonnan megalakuló ausztrál légierő visszautasította a jelentkezését.) És a nagy német ász, a „vörös báró” Manfred von Richthofen gépét (80 légi győzelem) végül is lelövő Roy Brown idült gyomorfájdalommal repült, emiatt rendszeresen szódabikarbonátot, tejet és brandyt fogyasztott. Eddie Rickenbacker (26 győzelem) komoly fülműtéten (mastoidectomy, a fül mögött csecsnyúlvány üreges csont celláinak feltárásával) esett át. Ezek alapján a repülőkarrier sikeres folytatása felveti a lelki tényezők, a lelki állóképesség és motiváció jelentős kompenzációs szerepét, a testi defektusokkal szemben.⁴

1917 májusában adta ki a már részletesebb és a harci repülések okozta élettani kihívásokkal jobban korreláló egészségügyi követelmény rendszerét a U.S. Army, amelyben már szerepelt a normális szemizomegyensúly, a szemnyomás, a látótér, a közelpont szerinti akkomodáció és a középfül nyomáskiegyenlítési képesség elvárt szintje, illetve forgószékvizsgálat történt.⁵

A háborús tapasztalatok (effektíve az elégtelen pilótateljesítmény és a magas veszteségráta) nyomán szigorították és tovább egységesítették a jelöltekkel szembeni elvárásokat mind az általános egészségügyi, mind a speciálisabb fizikai felkészültséget, teljesítőképességet jellemző paraméterek vonatkozásában. Így született meg Theodore C. Lyster vezetésével az első részletes repülőorvosi kézikönyv és szabályzat 1916-ban (amely komplett formában 1919-ben *Air Service Medical* néven került kiadásra). A vizsgálatok rendszerében kezdettől fogva jelen voltak a szimulált, a repülési környezet valamely aspektusát külön kiemelő, azt szimuláló, akár szélsőséges stressz-szituációt kialakító

⁴ Ennek jelentőségét például a mai amerikai katona-egészségügyi minősítő gyakorlat is elfogadja, lásd például a *Man of Honor (Férfibecsület)* címen megfilmesített történetet az amerikai Master Chief Petty Officer Carl Brashear Master Diver (oktatóbúvárról), aki első afroamerikaiként hajófedélzeti baleset után, amputált lábbal érte el ezt a beosztást és rendfokozatot, és 10 évig maradt még szolgálatban.

⁵ A Bárány-féle forgószékes vizsgálatot, amely a magyar Nobel-díjas Bárány Róbert emlékét őrzi, a mai napig számos légierő standard módon alkalmazza. Az elismerést 1914-ben a „vesztibuláris apparátus (egyensúlyszerv) fiziológiájával és kórtanával kapcsolatos munkáiért” ítélték oda.

egészségügyi vizsgáló eljárások. A britek a szív-érrendszeri teljesítményt és hypoxia hatását vizsgálták visszalégzőtasakkal (rezervoir), amelyben progresszíven csökkentették az oxigén résznyomását, hogy szimulálják a nagy magasságú parciális oxigénnyomás csökkenését. A franciák a vesztibuláris rendszer⁶ és az idegrendszeri állóképességet vizsgálták (szintén váratlan puskalövés okozta stresszhelyzetben). Az olaszok a reakció-időket, a cselekvési gyorsaságot mérték és minősítették.

Az egységes minősítési elvek kidolgozása vezetett az első repülőorvosi központok létrehozásához, ahol a kidolgozott szabályrendszer de facto alkalmazásához nagyon hamar felzárkózott a jogszabályi háttérnek a kor tudományos színvonala fejlődéséhez igazított folyamatos korszerűsítése, vagyis a tudományos eredmények felhasználásával a kiválogatási elvek, diagnosztikus eljárások korszerűsítése és alkalmazása a repülőorvosi klinikai gyakorlatban. Kutatási vonalon is az amerikaiak intézményesítették először a repülőorvosi alkalmazott (később alap) kutatási tevékenységet, tudományos munkát. Dr. Lyster (ekkor már az amerikai repülőorvosi központ – U.S. Army Aviation Section – vezetője) 1917 májusában hozta létre Isaac H. Jones philadelphiai fül-orr-gégész kollégával az első repülőorvosi vizsgálóközpontot a philadelphiai egyetemi kórházban, amelyet 34 követ majd országszerte. 1917 decemberétől három hónapos európai tanulmányút keretében tanulmányozták az európai fejlődési tendenciát, majd visszatérve megalapították Long Island (New York) Hazelhurst Field területében az első kutató laboratóriumot is Air Service Medical Research Laboratory néven, amelynek William H Wilmer (szemészorvos) lett a parancsnoka. A létesítményben korszerű alacsony nyomású barokamra működött, ahol úttörő kutatásokat végeztek a repülésélettanban kulcsszerepet játszó hypoxia tanulmányozására és a hypoxia elleni védelem technikai megoldásaira. A pilóta speciális fizikai teljesítőképességének elbírálására állandó bizottságot hoztak létre. Működését a már említett, komplett formában 1919-ben kiadott *Air Service Medical* repülő-egészségügyi kézikönyv írta le. Ebben már szerepelt az igény a flight surgeon – repülőorvos specialista – státuszára, pilóta képezésére is, hogy az orvosok első kézből szerezzenek tapasztalatot a repülés okozta megterhelésről, az orvosi biológiai kihívásokról. Így nem véletlen, hogy az 1921-ben elsőként végzett repülőorvos-csoportból Raymond E. Longacre saját tapasztalataival megerősítve állította össze a személyiségjellemzőkre vonatkozó követelményszintet. Az I. világháború után Hazelhurst Field magánrepülőtér lett (Roosevelt Field néven), a kutatólabor 1919-ben a közeli Mitchel Field-re költözött, 1926-ban költözött Texasba (San Antonio, Brooks Field), majd a Randolph Field repülőtérre és vissza a Brooks AFB légítámaszpontra, ahol a 2000-es évek elejéig az USAFSAM (Amerikai Légierő Repülőorvosi Iskolája) is működött. A „repülő orvos”, *flight surgeon* beosztás ma is létező, elfogadott orvosi diszciplína és katonai beosztás is egyben az angolszász országok többségében, bár tényleges repülési kötelezettséget csak az amerikai haderőnemeknél jelent. A RAF Brit Királyi Légierőben csak az andoveri speciális alakulatnál kötelező. Dr. Brathwaite orvosvezetési irányítása alatt

⁶ Vesztibuláris rendszer: a belső fülben lévő egyensúlyérző rendszer (félkörös ívjáratok és zsákocskák/tömlőcske mint graviceptorok és accelerométerek egységes rendszere), amely a VIII. agyidegen keresztül juttat testképi-helyzetérző információkat az agytörzsbe és a kisagyba.

a csak repülés közben jelentkező térbeli dezorientáció (tájékozódó képesség elvesztése, illúziók) demonstrálása és a tűrőképesség fokozása a cél a katonaoorvos kollégák számára.⁷ A repülőorvosi képzettség az úrkorszakban, az űrhajók/űrsiklók fedélzetén végrehajtott misszióspecialista beosztásokban is előnyt jelentett (bár fatális kimenetel is előfordult: a Columbia végzetes dezintegrációjakor a 2003. február 1-jei visszatéréskor az STS-107 misszió végén).⁸

Hasonlóképpen az európai nemzeteknél: a bekövetkező balesetek és háborús tapasztalatok a műszaki problémák mellett az egészségügyi követelmények fontosságára is rávilágítottak. Az 1920-as években az európai országokban is létrejöttek a repülőorvosi követelményeket kidolgozó és a vizsgálatokat végrehajtó speciális intézetek. Magyarországon az 1930-as években Merényi Scholtz Gusztáv légügyi orvos vezetésével alakult ilyen intézet. A repülőorvosi minősítés végrehajtása mellett nagy hangsúlyt fektettek a pilótateljesítmény orvosi biológiai hátterének kutatására, a standardok fejlesztésére barokamrai hypoxiás körülmények között, hiszen „talán a leghősiesebb és emberpróbálóbb vizsgálóeljárása egy pilóta teljesítő- és állóképességének a magassági repülés”.⁹

A repülőorvostan tudományrendszertani besorolása

A repülőorvostan olyan alkalmazott orvostudományi ág, amely a potenciálisan veszélyes és ellenséges repülési környezetben az emberi teljesítőképesség határaival, fenntartásával, illetve megőrzésének lehetőségeivel foglalkozik. Mint alkalmazott tudomány erősen interdiszciplináris jellegű, sok tudományágat átfogó terület. Szorosan követi a repülőtechnika és avionika, valamint a kapcsolódó műszaki tudományok és a hadtudomány időnként robbanásszerű fejlődését, és megpróbál az új kihívásokra új megoldásokat kínálni. Jó példa erre a múltból (II. világháború és az azt követő évtized) a nagy sebességű, nagy magasságú repülések miatt kifejlesztett magassági védőfelszerelések tökéletesítése: hogyan alakult ki a komplex magassági ruha-sisak-oxigénlégző rendszer, az anti-G (gyorsulás és túlterhelés ellen védő) ruha. A háború utolsó éveiben a sugárhajtóműves vadászrepülőgépek megjelenése, a zuhanó- és nagy magasságú bombázások tömeges alkalmazása már jelezte az új élettani kihívásokat.¹⁰

A repülőorvostanban egyszerre érvényesül a megelőző preventív szemlélet és a diagnosztikai-terápiás gyógyító szándék. A diszciplína fejlődésében ennek megfelelően mindig tetten érhető az új mérőműszerek, diagnosztikus eszközök korai alkalmazása, validálása, indikációs körének kidolgozása azzal a céllal, hogy minél többet megtudjunk

⁷ A szerző saját tapasztalata: 1999 Diploma in Aviation Medicine, King's College és Royal Air Force közös diploma tanfolyama.

⁸ Küldetésspecialista David M. Brown és Laurel Clark, mindketten az Amerikai Haditengerészet (US Navy) ezredesei, repülőorvosok.

⁹ Jesse Richardson Hildebrand: Man's amazing progress in conquering the air. *National Geographic Magazine*, 46. (1924), 112.

¹⁰ A Messerschmitt Me 262 volt az első aktív csapatszolgálatba állított vadászrepülőgép, az Arado Ar 234 pedig az első bombázó-repülőgép, amelyet sugárhajtóművel láttak el. Paolo Matricardi: *A harci repülőgépek nagy könyve*. Budapest, Gabo, 2006. 233.

az extrém környezeti viszonyok között munkavégző emberről, annak élettani reakcióiról, teljesítményének korlátairól, pszichés stressz-szintjéről.

Ebből a szempontból különös jelentősége van az érzékszervi vizsgálatoknak, hiszen az információszerzési folyamat sikere alapvető a repülés sikeres és biztonságos végrehajtásához. A másik szervrendszer pedig a keringés, ahol a rövid távú reflexszintű alkalmazkodás és a hosszabb távú adaptáció vizsgálata során a szív-érrendszer egyes paramétereit vizsgálhatjuk. A különböző eszközök (longitudinális 24 órás EKG, vérnyomás monitorizálása, a billenőasztal-vizsgálat (a túlterhelések vagy éppen a súlytalanság modellezése) ezt a célt szolgálják. Ez viszont a sportorvostan teljesítménydiagnosztikai lehetőségeit is felhasználja a pillanatnyi teljesítőképesség regisztrálására és optimalizálására.

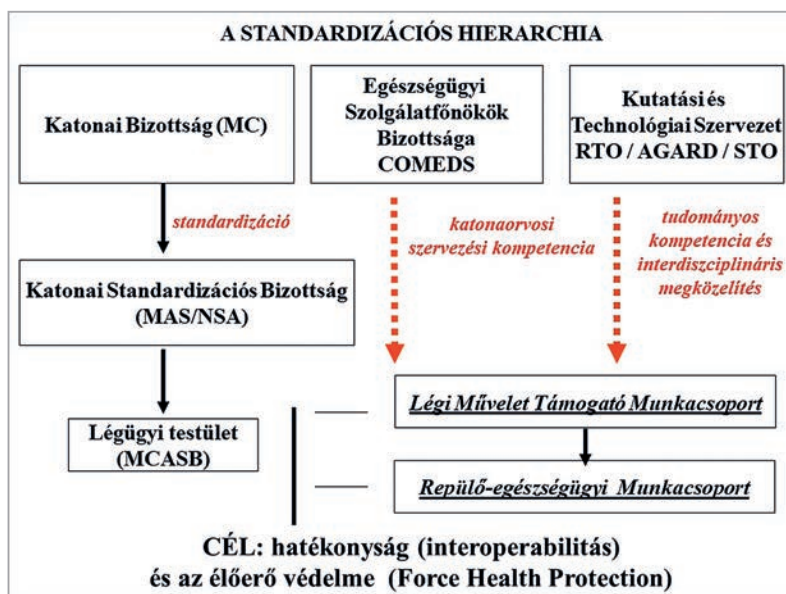
A repülőorvostan fejlődését a kezdetektől a jelenlegi világűrt meghódító korszakig (*aerospace medicine*, azaz repülő- és űrorvostan tudomány) a katonai igények és technikai fejlesztési lehetőségek diktálták, amelyben csak a legutóbbi időkben jelent meg a polgári repülőgépipar gazdaságosságra és repülésbiztonságra való törekvése is. A katonai meghatározottság és a légierő hadművelleti alkalmazhatóságának igénye megnyilvánul abban is, hogy a repülőorvosi tudásbázis mind nemzeti (például MTA rendszertani besorolás), mind nemzetközi (például NATO standardizációs szervezet) kategorizálás szintjén a hadtudományokhoz, azon belül a légiművelet támogató képességhez erősen kötődik, annak integráns része.

Hazánkban a Magyar Tudományos Akadémia négy tudományterületen tizenegy tudományos osztályt működtet. A tudományos osztály az Akadémiának egy vagy több, egymáshoz viszonylag közel álló tudományágazat szerint szervezett egysége. A tudományos osztály ellátja az Akadémia feladataiból a tudományágazatára háruló teendőket. A hadtudományok mint szubdiszciplína a kilencedik tudományos osztályba tartozik. A IX. osztály a Gazdaság- és Jogtudományok Osztálya, eredetileg e két nagy tudományterület akadémikus tagjainak testületeként jött létre. A későbbiekben újabb diszciplínák és szubdiszciplínák csatoltattak az Osztályhoz: a szociológia, a politikatudomány, a statisztika, a demográfia, a hadtudományok, továbbá a regionális tanulmányok tudományterülete is. Az MTA főtitkára az 1970-es években úgy fogalmazott: „A szervezéstudomány terén a világtörténelemben a hadtudomány járt az élen. Julius Caesartól vagy Hannibáltól kezdve egy folyamatos katonai szervezéstudomány van, amelynek vannak hadművészeti, stratégiai elemei is, és van alapvető klasszikus katonai szervezési anyaga. Tehát a hadtudomány klasszikus hagyományai és modern tapasztalatai lényegesen a polgári élet számára is.”¹¹

Nemzetközi katonai szervezet szintjén a hadtudományi integráció még egyértelműbb. A NATO standardizáció szervezete az elérhető kompatibilitási szinteknek megfelelően a művelési eljárások, technikai berendezések egységesítésével foglalkozik. A Repü-

¹¹ Ács Tibor: Jubilál a Magyar Tudományos Akadémia Hadtudományi Bizottsága. *Hadtudomány*, 14. (2004), 3–4.

lőorvosi Munkacsoport által gondozott és fejlesztett Egységes Védelmi Előírásokat¹² a Légügyi testület (Air Board) Légművelet támogató Munkacsoport (Air Operation Support Working Group) alá rendeli, természetesen tudományos vonalon érvényesítve a NATO tudományos szervezet (korábban RTO/AGARD, jelenleg STO)¹³ kutatási-fejlesztési irányelveit: ennek humán faktor panelje rendszeresen végez/irányít repülőorvosi kutatásokat is (1. ábra). A kiadott útmutatók egységes védelmi információs rendszerben¹⁴ elérhetők: az emberi teljesítőképességnek katonai szempontból, a harci alkalmazhatóság és haderőtervezés szempontjából meghatározó aspektusait rendszerezik, például a missziós bevetethetőség szempontjából.¹⁵



1. ábra: A repülő-egészségügyi ellátás és kutatás jogi harmonizációs kerete a NATO-ban

Forrás: a szerző saját szerkesztése

A repülőorvostan vertikális (katonai hierarchiához is illeszkedő) integrációja mellett az orvostudományi aspektus, a horizontális integráció is fontos (2. ábra). Ilyen szempontból a preventív és technikai jelleg az, ami a többi klinikai tudományágtól megkülönbözteti, és a foglalkozás-egészségügy nagy doménjén belül is unikális jellemzőkkel ruhazza fel: ez a speciális munkaalkalmassági vizsgálat, a speciális kockázatelemzés (ezen alapul a repülésbiztonság önálló humán faktor elemzése) és a technikai-életfenntartó rendszerek

¹² STANAG (Standardization Agreement): ratifikációs eljárás után többségi szavazattal érvénybe lépő kötelező erejű Egységes Védelmi Előírás.

¹³ RTO (Research Technology Organization); AGARD (Advisory Group for Aerospace Research & Development); STO (Science & Technology Organization).

¹⁴ Defence Technical Information Center.

¹⁵ Randy Russell et al.: Medical fitness for expeditionary missions: A NATO guide for assessing deployability for military personnel with medical conditions. *Military Medicine*, 179. (2014), 12. 1404–1411.

orvosi-technológiai együttes értékelése. (Egy lélegeztetőgép lehet bármilyen hatékony klinikailag, ha annak működése során a kabinban a diszkomfort, a légzési munka tudatosulása elvonja a pilóta figyelmét a harci feladatról, már csökkenti a harcképességet, és repülésbiztonsági kockázatot jelent.)



2.ábra: A repülő-egészségügyi ellátás működési területei

Forrás: Erich Rödiger repülő főszakorvos konferencia-előadása nyomán a szerző saját szerkesztése

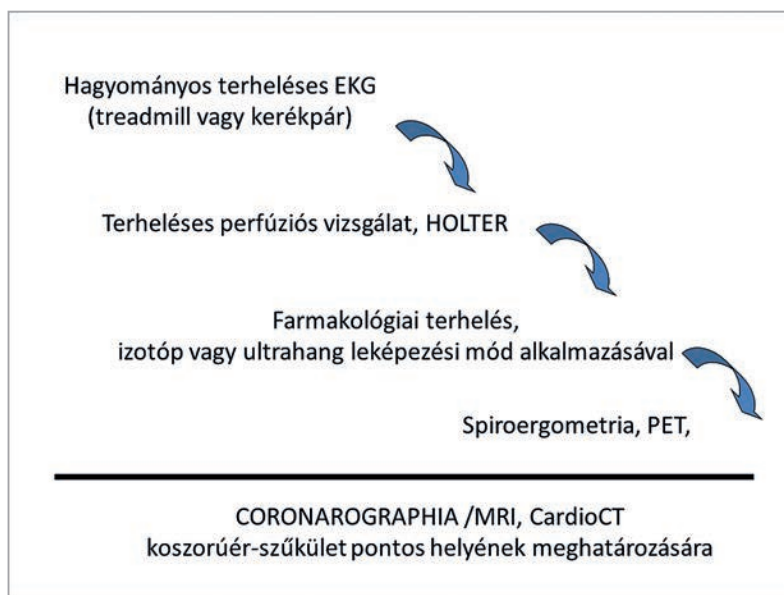
Orvostudományi kutatási metodikák

Valamennyi légierő nagy erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy már a kiválasztás során a repülésre legalkalmasabb, a legjobban teljesítő, a kombinált (fizikai, szellemi) stressz-szituációkat legjobban elviselő jelölteket válasszák ki, a kiképzés a lehető leggazdaságosabb legyen. A pilóta kiképzése rendkívül drága. A kiválasztás során az a cél, hogy a pilóta a befektetett összeget hosszú, tartalmas, előrehaladó, sikeres kiképzéssel és munkaalkalmassággal, hadrafoghatósággal hálálja meg.

Minden ország repülőorvosi szakintézetének és hatóságának szuverén joga, hogy saját kritériumrendszert állítson fel, természetesen a repülésbiztonság és a modern orvostudomány ismereteinek szem előtt tartásával. Vannak nemzetközi harmonizációs törekvések, az ICAO (az ENSZ Repülési Világszervezete) minimumkövetelményeket rögzít, a JAA (Joint Aviation Authorities) – Európai Közös Légügyi Hatóság –, majd 2011-től az EASA (Európai Repülésbiztonsági Ügynökség) szigorúbb egységes elveket

vall, de ezek csak a polgári pilótákra vonatkoznak.¹⁶ A NATO repülőorvosi egyezményei (elsősorban a STANAG 3114 Egységes Védelmi Előírás) főleg a pilóták repülőorvosi kiképzését, centrifuga- és barokamratréningek protokollját igyekszik egységesíteni, a nemzeti orvosi követelményrendszerbe nem szól bele.

Minden ország repülőorvosi minősítési alapelve, hogy a kiválogatás, a szelekció során a legszigorúbb az elbírálás, hiszen itt a jövőbeli állapotromlást is valószínűsíteniünk, prognosztizálnunk kell: ami a normális civil életben talán sohasem okozna problémát, a katonai repüléssel járó megterhelések kapcsán hamar munkaképesség-csökkenéshez vezetne. A prognosztikai igény tekintetében viszont jelentős nemzeti különbségek lehetnek a fizikális és műszeres vizsgálatok spektruma tekintetében. Általában az antropometriai és a pszichológiai, a Magyar Honvédségben ezenfelül pedig a radiológiai (gerincrontgen) követelmények jelentik az első nagy próbatételt. Svédországban 1200 jelentkezőből mintegy 40 fő alkalmas Gripen-jelöltnek, hazánkban még rosszabb a beválási arány. Szilárd anyagi háttérrel rendelkező légierők esetében (RAF, USAF) a gyakorlati repülőképzés során is jelentős a lemorzsolódás, illetve csak ismétlődő repülőbalesetek esetén vezetnek be új metodikát, például az EEG-vizsgálatot az Amerikai Légierőben az F-104 Starfighter-en a repülőbalesetek után. (Ma már az EEG-anomáliák, ritmus rendellenességek megítélése egységesen nagyon szigorú a jelöltekénél, még klinikai tünetek nélkül is.)



3. ábra: Kardiológiai diagnosztikai kaszkád

Forrás: a szerző saját szerkesztése

¹⁶ 1178/2011 Regulation (Európai Unió rendelete), Annex IV. PartMed.

A klasszikus klinikai útmutatók alapján szisztematikusan egymásra építhető, EBM¹⁷ ajánlási szintekkel bíró szív-érrendszeri vizsgáló eljárások a repülőorvosi minősítő eljárásokban szerepelnek, és kutatási célzattal is alkalmazhatjuk őket. Leggyakrabban a terheléses és képalkotó vizsgálatok egyfajta algoritmus szerinti összerendezése adja a legtöbb funkcionális és képi információt, például a szívről (3. ábra).

Ezek alkalmazása során a klinikai gyakorlatban alkalmazott szenzitivitási, specificitási, prediktív értékparamétereket használjuk, külön figyelemmel a Bayes-tételre, amely egy klinikai kórállapotra vonatkozóan fenntartást és óvatos értékelést javasol az adott populációban jellemző előfordulási arány (prevalencia) függvényében. Ennek megfelelően a terheléses EKG hagyományos mutatószámai (például az ST-szakasz eltérései) egy egyébként egészséges pilótapopulációban (különösen kísérleti hypoxia körülményei között) csak fenntartással értékelhetők szívizomkeringési zavar, csökkent terhelhetőség irányában. Ilyenkor a légzésfunkció kiegészítő paraméterei és a gyógyszeres (érzékenyített) vizsgálati metodikák lehetnek hasznosak a morfológiai leírás kiterjesztésével (ultrahang és/vagy izotópos *nuclear imaging*) képalkotó technikák alkalmazásával (4. ábra). Az arany standard még a koszorúér-feltöltéses érvizsgálat (koronarográfia), de az új generációs MRI (mágneses rezonancia) és CT (komputertomográfia) is dinamikus, funkcionális paraméterek egész sorát kínálja már.

Fizikai (isotoniás/dinamikus) terheléses vizsgálatok

Dinamikus terhelés: $\max \text{VO}_2$ ($\text{PTF} \times \text{AVDO}_2$)

Ergometriás vizsgálat:
pulzus, vérnyomás-reakció, EKG-eltérések

Spiroergometriás vizsgálat:
 VO_2max l/min, VE l/min,
 VCO_2 l/min, RQ, oxigénpulzus,
ventilációs határ VT

Farmakológias terheléses vizsgálatok
dipiridamol-teszt, adenosin-teszt, dobutamin-teszt:
myocardium perfúziós zavar (steal vagy direkt csökkenés)



4. ábra: Kardio-pulmonális rendszer jellemzése

Forrás: a szerző saját szerkesztése

¹⁷ EBM (evidence based medicine): gyakorlati tapasztalatokon, evidenciák különböző szintjein megfogalmazott ajánlások, útmutatók rendszere.

A fizikai teljesítőképességet közvetlenül jellemző eljárások nemzeti összevetése során a terheléses EKG minden protokollja alkalmazható a repülőorvosi minősítő és kutatási célú vizsgálatokban, beleértve a vitamax/submax, steady state, kétlépcsős (100 W és 150 W) ergometria profiljait, amelyeknél a szimulált terhelés időtartama, az elérendő pulzustartomány, ischaemiás terhelési index lehet meghatározó. Néhány repülőorvosi intézet (például a svéd) alkalmaz kiterjesztett vizsgálatot a légzésfunkció jellemzésére (fizikai terhelésre vagy metacholin-tesztre provokálható tüdőasztma kizárására) és az anaerob ultrarövid terhelési periódusra vonatkozó laktátküszöb és Astrand-, illetve Wingate-teszt kivitelezésével (5. ábra). Összességében azonban leszögezhető, hogy a standard klinikai kardiológiai, teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok csak egyfajta előszűrést jelentenek a speciális repülőorvosi diagnosztikai és terhelési vizsgálatok pozitív prediktív értéke szempontjából, a sikeres teljesítményhez a gyakorlás, tudatos felkészülés és lelki motiváció is szükséges. Mindig, minden katonaiállomány-kategóriában nehéz megítélni a beosztással járó fizikai követelményszinteket és a fizikai teljesítőképességgel kapcsolatos elvárásokat a tényleges munkavégzés és a harci (vagy legalábbis katonai célú, azaz harctámogató és biztosító szakágaknak és fegyvernemeknek megfelelő) alkalmazás során várható erő kifejtéssel, vagyis fizikai stresszel összhangba hozni.¹⁸ A Magyar Honvédség által bevezetett fizikai alkalmassági minősítési rendszer az amerikai szárazföldi hadsereg (US Army) minősítési rendszerén alapul, a fizikai felmérés formáit (futás, felülés, fekvőtámasz) és a szintidőket, pontozási sémát is figyelembe véve, a magyar populációra alkalmazva.¹⁹

A légierő követelményei ettől eltérhetnek; nem véletlen, hogy a USAF Amerikai Légierő 12 éven át szüneteltette az AFPT (Air Force Physical Test) fitnesztesztet mint edzettséget felmérő, minősítő rendszert, részben a felkészülés és a minősítő felmérés (a futás) alatt bekövetkező és a közvéleményben kedvezőtlen visszhangot kiváltó, váratlan halálesetek miatt, helyette kerékpár ergometriás vizsgálatot végzett.²⁰ Az iraki háború tapasztalatai nyomán – az aktív és tartalékos állomány csökkent fizikai teljesítő képességét látva – 2004-től visszaállították ugyan a felmérés rendszerét, de azóta is folyik a vita arról, vannak-e a légierőnek és azon belül a pilótaállománynak speciális szempontjai. A megszerezhető összpontszámból az Amerikai Légierő most csak 50%-ot ad az aerob kapacitásra (a futásra), 30%-ot a testalkatra (ez gyakorlatilag a háskörfogat mérését jelenti)²¹ és 20%-ot az izomerőre (felülésre és fekvőtámaszra).

A brit királyi légierő speciális PULHHEEMS minősítési rendszerében 8 szintű az osztályozás a katonai állományban, és még a pilóták között is különbséget tesznek: a minden

¹⁸ Eleki Zoltán: *A katonákkal szemben támasztott fizikai követelményrendszer hatásfokának vizsgálata*. PhD-értekezés, ZMNE, 2004.

¹⁹ FM 21-20 US Army. Az amerikai szárazföldi haderő testnevelési szakutatisása; Kovács Péter: *Terhelés- és teljesítmény-élettani mutatók vizsgálata a Magyar Honvédség és a civil szféra hadrafoghatóság szempontjából érintett területein*. PhD-értekezés, ZMNE, 2005. Tézisek.

²⁰ DOD Instruction with AFI 40-501.

²¹ Háskörfogat férfiaknál 102 cm fölött magas kockázatú, kóros, a BMI testtömegindex 25 kg/m²-ig optimális.

körülmény között bevethető pilóták kategóriájától a csak honi bázison alkalmas hajózóig (mert például gyógyszeresedés miatt rendszeres ellenőrzést igényel)²².

A Magyar Honvédségen belül a repülő-hajózó állománynak életkorcsoport szerinti magas pontszámban teljesítenie kell a 10/2015. HM rendeletben²³ előírt futást, ugyanakkor az éves alkalmassági vizsgálat során a klinikai szempontból informatív kerékpár ergometriát is teljesíteniük kell, ahol a minimum 2,2 W/kg terhelési teljesítményszint kívánatos. A gyorsulás-túlterhelés tűrőképesség szempontjából a túlzott aerob kapacitás nem biztos, hogy előnyös. Aki sokat fut, annál a szív-érrendszer gyakran egy gazdaságos „alapjáratot” alakít ki, alacsony pulzusszámmal, nagyobb szívösszehúzóerővel, azaz „lökettérfogattal”. Ez a változó gyorsulások-túlterhelések mellett kifejezetten hátrányos lehet: a pilóta képtelen lesz a szívfrekvenciát kellő gyorsasággal felpörgetni („gázt adni”), azaz a pillanatnyi keringési perctérfogat kevés lesz az aktuális (agy, szív és vázizomzat által) megkívánt vérátáramláshoz képest. Ezért több légierő ajánlásában limitálja a heti futási teljesítményt, 9 mérföldnél (azaz kb. 15 km-nél) többet egyáltalán nem javasol (az amerikai légierő futás felmérésében is csak másfél mérföld szerepel), nehogy a kedvezőtlen pulzuslassulás (és sportszív vastag izomzattal) rontsa a G-gyorsulástűrő képességet.²⁴

A futás mellett a teljesítmény jellemzésének, fejlesztésének másik lehetősége az izomerő-gyorsaságerő komponensek mérése, illetve tréning útján történő javítása. A USAF amerikai légierő kidolgozott egy súlyemelőprogramot, amely a vázizomzat tartós megfeszítésével és izometriás összehúzásával az anti-G feszítési manőver hatékonyságát volt hivatott növelni. Úgy találták, hogy 12 hetes speciális súlyemelőprogram révén az SACM (szimulált légiharc centrifuga programban) 53%-kal sikerült növelni a tűrőképesség idejét.²⁵ Később – az izületekre a túlterhelés során kifejtett káros hatása miatt – ezt a programot törölték, bár a nyaki izmok minden irányú erősítésére, a nyaki gerinc kopásos, elfajulásos betegségeinek megelőzésére speciális kondicionáló gépeket használnak. Hasonló edzőgépek a Gripen program keretében az F7 (Sålténäs) légi bázison kiképzésben részt vevő magyar pilótáknak is rendelkezésére álltak Svédországban. Különösen a háti-ágyéki szakaszon a porckorongok tehermentesítése és a szalagok-izomrendszer erősítése lenne alapvető. A repült típussal egyértelműen összefügg a mágneses rezonancia képeken látható ágyéki I–IV csigolya elfajulása a nagy manőverező képességű gépeken repülő pilótáknál.²⁶

Az ausztrál légierő (Royal Australian Air Force) F-18-as pilótái körében végzett felmérés azt támasztja alá, hogy a pilóták többsége kellő, de nem kivételesen jó aerob

²² Szabó Sándor András – a brit repülőorvosi diploma tanfolyam tapasztalata, a RAF Cranwell légi bázis (Légierő Egyetem) meglátogatása kapcsán (1999); www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/health-care/PULHHEEMS

²³ 10/2015. (VII. 30.) HM rendelet a katonai szolgálatra való egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságról, valamint a felülvizsgálati eljárásról.

²⁴ Robert E. van Patten: G-Lock and the Fighter Jock. *Air Force Magazine*, Oct. 1, 1991.

²⁵ W: L. Epperson – R. R. Burton The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 56. (1985), 6. 534–539.

²⁶ Dan-Avi Landau et al.: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 11. 1158–1161.

kapacitással már képes megfelelni a Hornet által támasztott $+G_z$ gyorsulástűrő képességi kihívásoknak: átlagos maximális oxigénfelvételük 50 ± 6 ml oxigén/kg/min volt, ami 14 MET-nek felel meg.²⁷

Ugyanakkor az izraeli légierőben a kiválogatás során szelekciós előnyt jelentett a nagyobb aerob kapacitás (Astrand-féle kerékpárteszt), sőt az anaerob teljesítményteszt eredménye is (magasugrás). Hosszabb távon természetesen a fizikai edzettség elválaszthatatlan az általános szív-érrendszeri rizikóprofil alacsony szintjétől, amelyre későbbi fejezetben térek vissza.²⁸ A jó fizikai állapot fenntarthatósága viszont a kezdetektől egészségtudatos magatartást és pozitív attitűdöt követel meg a pilótától, amit már a kiválogatás időszakában érdemes számításba venni: a sportos életmód, a dohányzás kerülése előnyt jelenthet a későbbiekben, hosszabb aktív katonai karriert és betegségmentes periódust ígér.

Felmerülhet az aerob kapacitás gyógyszeres fokozásának lehetősége is: a kanadai 3,2 km-es „harci futás” (*warrior test*) 11 kg-os menetfelszereléssel történő végrehajtása során az ephedrin és koffein javította a futási teljesítményt, de magasabb szívfrekvencia-tartomány mellett, tehát repülési környezetben alkalmazása ellentmondásos lenne.²⁹ Helyette szintén kanadai szerzők felvetik az izomerő-feszítés, különösen a légzőizmok erősítését, gyakoroltatását a G-tűrőképesség fokozására.³⁰

A gyorsulás okozta akut adaptációt a sportorvostanban a Wingate-tesztel lehet leginkább modellezni, amelynek során az anaerob kapacitást mérjük (a módszert az 1970-es években, Izraelben, a Wingate Intézetben fejlesztették ki). A felmérés során a vizsgált személy a lábával, maximális frekvenciával hajt egy kerékpárt, amelyen azonnal szubmaximális (a maximális teljesítőképesség 80–90%-át elérő) teljesítményszintet kell elérni, ellenállással szemben, 30 másodpercen keresztül. Itt az anaerob teljesítmény nem a centrális (szív, tüdő), hanem a perifériás, lokális jellemzők függvénye, ennek értelmében vizsgálja valamely izomcsoport szubmaximális munkavégző képességét (gyorsaság-erő komponens). Felméri, hogy az izomzat mekkora mechanikai teljesítményt tud nyújtani viszonylag rövid idő alatt. Az ilyen jellegű fizikai terhelésben a teljesítményt behatároló tényező a lokális anyagcsere, amelynek az anaerob forrásból rendelkezésre álló (tárolt) kémiai energiát kell mechanikai energiává átalakítani.

A 30 másodpercig tartó maximális erő kifejtésből meghatározható a maximális anaerob kapacitás, amelyet általában két értékkel jellemezhetünk: csúcsteljesítménnyel és az átlagos teljesítménnyel. A csúcsteljesítmény az öt másodperces intervallumokra bontott munkavégzés bármelyikében jelentkező, a többi szakaszt meghaladó teljesítményleadás. Ennek értéke valószínűsíti az alaktacid, foszfátokkal megszerezhető

²⁷ David Newman – S. W. White – R. Calister: Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for $+G_z$ tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 8. 739–744.

²⁸ J. R. Hoffman et al.: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.

²⁹ D. G. Bell – I. Jacobs: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 4. 325–329.

³⁰ Pearl Young et al.: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78. (2007), 11. 1035–1041.

energiakészletet. Az átlagos teljesítmény kiszámítható a 30 másodperc alatt folyamatosan mért fordulatszám alapján számított pillanatnyi teljesítmények átlagaként, amely a bruttó anaerob kapacitást jellemzi.

De ez a folyamat („hirtelen csúcsra járatás”) is csak akkor működik, ha az agy és szív szintjén a vérátáramlás teljes, vagyis az akut agyi keringésromlás nem gátolja a vérnyomásreflexek megfelelő aktivációját! „Agyatlanul”, agyi keringés biztosítása nélkül a keringés összeomlása ezt a teljesítményt is lerontja, ami hypoxiában másodpercek alatt bekövetkezhet. Bár például a Svéd Légierő repülőorvosi intézetében minden repülő kategóriánál alkalmazzák a tejsavkülöb-meghatározást³¹ és a Wingate-tesztet a szelekciós folyamatban, a G-tűrő képességet igazából a DFS³²-centrifuga-tesztek során kell felépíteni a jelölteknek, és minősítő csúcsterhelés során igazolni a Gripen átképzés során (itt a centrifugában a maszkon keresztül akár túlnyomásos oxigénlégzésre is van mód, a rövid ideig alkalmazott speciális légzéstechnika³³ kiküszöböli a hypoxiát, javítja az agyi keringést).

	Magyar honvédség	Svéd légierő	RAF brit királyi légierő	Német légierő
Labor	<i>teljes + drogtest is</i>	<i>teljes + drogtest is</i>	<i>szűkített, 5 évente</i>	<i>teljes</i>
Röntgen	<i>mellkas, teljes gerinc, ormelléküreg, fog</i>	<i>mellkas, fog</i>	<i>mellkas</i>	<i>mellkas</i>
Antropometria	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek + bőrredőmérés</i>	<i>más géptípusra</i>	<i>más géptípusra</i>
Légzésfunkció	<i>csak VICA-teszt</i>	<i>spirometria + metacholinteszt</i>	<i>metacholinteszt (csak gyanú esetén)</i>	
Terheléses EKG	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek + izomerőmérések + laktátküszöbmérés</i>	<i>klinikai indikációval</i>	<i>azonos paraméterek</i>
Szívultrahang, hasi ultrahang	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek</i>	<i>klinikai indikációval</i>	<i>azonos paraméterek</i>
EEG	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek</i>	<i>azonos paraméterek</i>

5. ábra: Nemzeti szelekciós sajátosságok a repülőalkalmasság elbírálásában

Forrás: a szerző szerkesztése

³¹ J. R. Hoffman et al.: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.

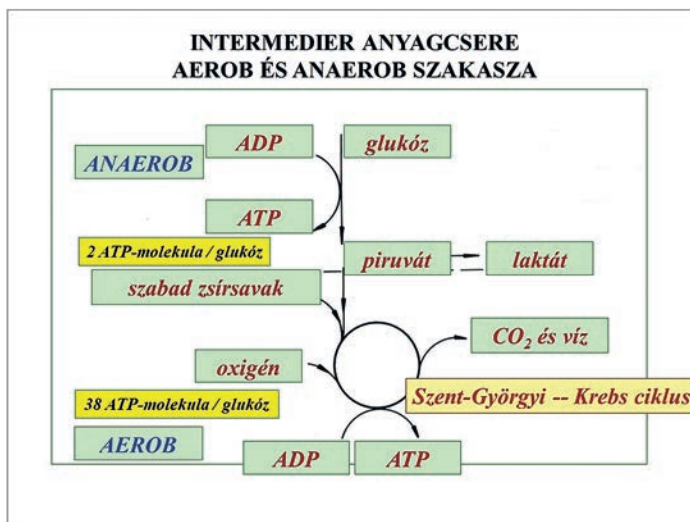
³² DFS (dynamic flight simulator): dinamikus repülési szimulátor (centrifuga) Linköpingben.

³³ PBG (pressure breathing for G): túlterhelés elleni túlnyomásos légzési profil.

A fizikai állóképesség repülélettani vonatkozásai

A pilóta fizikai állóképességének jelentőségét két fő szempontból értelmezhetjük:

1. a repülélettani paraméterek (gyorsulás, oxigénhiány) okozta pillanatnyi extrém fizikai teljesítményigény (például *dogfight* légiharc, műrepülés közben, illetve nagymagassági kihermetizációkor, vagyis a kabinnyomás hirtelen elvesztésekor kialakuló hirtelen hypoxiában vagy a túlnyomásos légzés okozta, fordított légzési ciklussal járó, erőltetett légzéssel járó erőfeszítés kapcsán).
2. A szív-érrendszeri kockázati tényezők okozta (alapvetően az érelmeszesedés progresszív folyamatához köthető) megbetegedés kockázatát alacsony szinten tartva, hosszú távra határozza meg a pilóta munkavégző képességét.



6. ábra: Intermediér anyagcsere és ATP-képzés

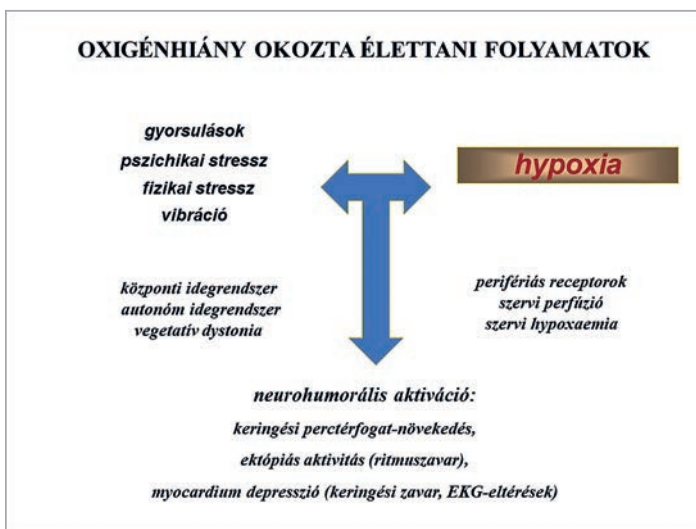
Forrás: Ernsting (2000) i. m. alapján a szerző szerkesztése

Hirtelen cselekvőképtelenséget leggyakrabban a fej-láb irányú gyorsulás/túlterhelés okozta akut agyi keringésromlás (G-LOC)³⁴ és a magassági oxigénhiány tud okozni, mindkettő, a túlterhelés/hypoxia függvényében, akár 15 másodperc alatt teljes eszméletvesztést provokálhat, ily módon a legnagyobb repülésbiztonsági élettani kockázat. A hypoxia „még mindig csendes gyilkos”: a biokémiai háttérrel (a tengerszinti normális oxigénrésznyomás mellett teljes oxigenizációt és a nagymagassági hypoxiát, csökkent külső oxigénkinálatot, szöveti alacsony oxigénszintet) összehasonlítva azt mondhatjuk, hogy *gyökeresen más a helyzet a tengerszinti aerob terheléshez képest*. Nincs lehetőség sem mikroszinten a kellő oxigénszint folyamatos biztosítására az izmok aerob munkavégzéséhez – töredékére esik vissza az ATP-képzés (6. ábra) –, sem a légzés-keringés szintjén nem következik be olyan adaptív válasz, amely sejtszinttől a keringési-légzési-izomerő

³⁴ G-LOC (G induced loss of consciousness): túlterhelés okozta eszméletvesztés.

centrálisan szabályozott paraméterein át a Wassermann-ciklusok³⁵ akadálytalan felpörgetését lehetővé tenné.

Hypoxiában az agy szintjén a vegetatív idegrendszer speciális tónusvesztése miatt minimális a terheléses válaszreakció (5500 m-en 2-4 MET-nek felel meg nyugalomban), a légzés szintjén pedig kiesik a kis vérköri tüdőkeringés fokozódása és a passzív szén-dioxid-kimosás miatt a légzési perctérfogat (légzési frekvencia és mélysége által meghatározott légzésintenzitás) sem lesz kellő mértékű. Az előbbi az Euler–Liljestrand-reflex miatt – a hypoxia szűkíti a tüdőkeringésben az ereket, miközben a nagy vérkörben értágító hatású –, az utóbbi pedig a tüdőben lecsökkenő szén-dioxid-résznyomás miatt: a jó diffúziós kapacitással rendelkező CO₂ szabadon eliminálódik, a vér akut pH-emelkedését (lúgosodását) és ezzel az agyi keringés romlását váltva ki. Utóbbi a NIRS³⁶-technikával közvetlenül mérhető, és bizonyítja a magassági hypoxia elhúzódó, agyi keringést rontó hatását. Vagyis mind az agyi légzés-keringés vezérlés, mind az oxigéntranszport-rendszer, mind a fizikai teljesítménnyel jellemzett vázizomzat fokozottan szenzitív az oxigénhiányra és szén-dioxid-kimosásra, komplex adaptációs zavar alakul ki. (7. ábra)



7. ábra: Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben³⁷

Forrás: a szerző saját szerkesztése

³⁵ Balogh Péter: *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Debrecen, Campus, 2015.

³⁶ NIRS (near infrared spectroscopy): infravörös tartományhoz közel 880 mikrométernél meghatározott agyi oxigénszint a homloklebeny fölé helyezett elektródákkal.

³⁷ Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózási állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben)*. PhD-dolgozat. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009. 84–85.

Ennek következménye, hogy a magasság függvényében az oxigénhiány és szén-dioxid-vesztés miatti agyi érzéskültség együtt érzeteti hatását, a mentális teljesítménycsökkenés sokkal kritikusabb, mintha csak az oxigénkínálat csökkenne le, de a szén-dioxid-szint változatlan marad.³⁸ A hypoxia hadműveleti körülmények között is érzeteti hatását: már tízezer láb alatt is hypoxia okozta kognitív zavarról számolnak be helikopterpilóták (számolási nehézség, dezorientáció, szédülés), 10 000–14 000 láb (3000–4200 m) közötti magasságon pedig Apache 64-D pilóták 70%-a egyértelműen teljesítménycsökkenést tapasztalt.³⁹

Az aerob terhelhetőségnek sajnos nincs egyértelmű, biztos prediktív értéke a jó hypoxiatűrő képességre. Barokamrában (földi körülmények között szimulált magasságban) az éves repülőalkalmassági minősítő vizsgálat során az 5500 m-es magasságon hypobarikus hypoxiában nyújtott teljesítmény nem korrelál egyértelműen a fizikai (szív-érrendszeri) teljesítőképesség klinikai megítélésére alkalmazott kerékpár ergometriás teljesítménnyel. A klinikailag kivizsgált, „egészséges” és a kerékpárterhelésen az elvárt minimum 2,2 W/kg teljesítményt nyújtó, tehát kielégítő vagy jó tűrőképességű pilótáknál, a repült típustól függetlenül, éves szinten 1,3–3,5%-ban tapasztaltunk beavatkozást igénylő állapotromlást a barokamrában: vérnyomáscsökkenést, pulzuslassulást és a szellemi teljesítmény jelentős csökkenését, az önmentésre való képtelenséget. Ezt az ájulás közeli vagy a keringés tényleges összeomlását jelentő ájulásos rosszullétet a megelőző klinikai vizsgálatok eredményei nem jelezték előre, amelynek oka a hypoxia és a hiperventiláció, azaz az oxigénhiány és szén-dioxid-kimosás szokatlan együttállása miatt kialakuló egyedi megterhelés, amely az agytörzsi légzés- és keringésszabályozó központok, továbbá a szív-érrendszeri reakciók gyors alkalmazkodását igénylik.

A hypoxia tehát már „nyugalmi helyzetben” is rontja a keringés-légzés stabilitását és a szellemi teljesítőképességet (már amennyiben egy hadműveleti repülés okozta stressz annak tekinthető). Ha a magassági hypoxiás epizódra ráakadódik bármilyen jelentősebb fizikai aktivitás is, akkor a helyzet gyors ütemben tovább romlik: a keringés gyorsulásával lecsökken a tüdőkeringésben a tranzitidő, vagyis az az időtartam, ami a hemoglobin vérfestékmolekula számára rendelkezésre áll, hogy az egyébként is csökkent parciális oxigénnyomás gradiense mellett az oxigénfelvétel (szaturáció) megtörténjen.

A magassági terhelés alacsonyabb maximális keringési és légzési perctérfogatot eredményez, csökkent szívizompumpa-funkcióval és elérhető maximális teljesítménnyel. Beteg ember esetén már 3000 m-es magasságban mintegy 10%-kal csökken a fizikai teljesítmény MET-egységekben kifejezve.⁴⁰ A mellkasi nyomás vagy fájdalom (angina), illetve az EKG-n az ST-szakasz depressziója kisebb munkaterhelés, illetve rövidebb idő után jelentkezik. Fentiek vonatkoztathatók a szélsőséges, magaslati körülmények között bevetésre kerülő egészséges katonákra is (például Afganisztánban). A magasság- és ter-

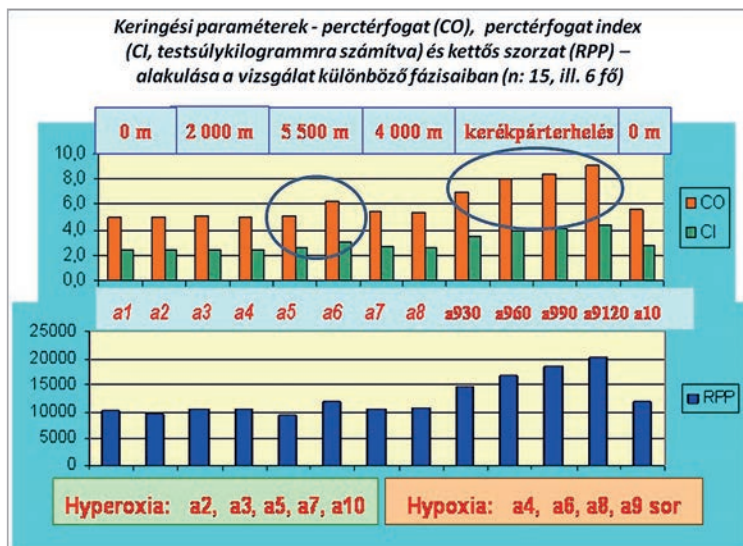
³⁸ Christopher Neuhaus – Jochen Hinkelbein: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training. *Psychology Research and Behavior Management*, 7. (2014), 297–302.

³⁹ Adrian Smith: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799.

⁴⁰ H. N. Hultgren: High altitude medical problems. In E. Rubenstein – D. D. Federman (eds.): *Scientific American Medicine*. New York, Scientific American Inc, 1990. 12.

helésfüggő akut hegyi betegség veszélyét a NATO publikációja is részletesen ismerteti. Felhívja a parancsnok figyelmét az akklimatizáció, a magassághoz és oxigénhiányhoz történő fokozatos hozzászokás – akklimatizáció – fontosságára, az akut hegyi betegség kialakulásának veszélyére.⁴¹

A terhelési kapacitás még sportolóknál, hegymászóknál is jelentősen beszűkül: a maximális oxigénfogyasztás ($VO_2\max$) és pulzusszám csökken (a tüdő korlátozott oxigénfelvétele és a tüdőerek szimultán szűkülete mellett). Tengerszinten a $VO_2\max$ 46 l/min, P: 180/min normális értéke 6310 m-en $VO_2\max$ 1 l/min értékre, a maximális pulzus 130/min szintre csökken. Mexikóvárosban (tengerszint fölötti magasság 2240 m) az 1968-as olimpián a futószámok eredménye 5–10%-kal rosszabb volt, mint a tengerszinten ugyanazon sportolók által elért eredmények! Normobáriás hypoxiában (tengerszinti össznyomáson, de az oxigén százalékos arányának csökkentésével) nemcsak barokamrában, de ROBD⁴²- készüléken is mérhető a hypoxiás terhelhetőség csökkenése: itt 1/3–1/3 arányban a belélegzett levegő oxigénszintjének csökkenése, a tüdőkeringés romlása és a perifériás (láb) keringés visszaesése okozza a $VO_2\max$ -vesztést.⁴³



8. ábra: Keringéstiteljesítmény-jellemzők alakulása a hypoxiás terhelés fázisaiban (n: 6 fő)

Forrás: a szerző szerkesztése saját mérései alapján

⁴¹ STANAG 2458 Egységes Védelmi Előírás (AMedP 14 Szövetségi Publikáció): „Prevention and treatment of climatic and environmental injuries”, azaz „Klimatikus és környezeti tényezők által okozott sérülések megelőzése és kezelése”, 1. fejezet (magashegyi betegség). Jelenleg átdolgozás alatt (új study) STANAG 2589 (Ed.1) Prevention and management of high altitude injuries. Online: <https://nso.nato.int/protected/nsdd/CommonList.html>

⁴² ROBD (Reduced Oxygen Breathing Device): csökkentett oxigéntartalmú (normobáriás) gázkeverék lélegeztető eszköz, 10,5% arányú oxigén kb. 5300 m-es magasságnak felel meg.

⁴³ J. A. Calbet et al.: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284. (2003), 2. R291–303.

Saját kísérleti elrendezésünkben impedancia-kardiográf segítségével vizsgáltuk barokamrában a nyugalmi és kerékpárterhelés maximális terhelési kapacitás alakulását. A 4000 m-es kerékpárterhelés alatt tapasztaltuk az élettani adaptáció jeleit, a perctérfogat és a frekvencia progresszív, fokozatos emelkedését a terhelési watt szám függvényében, de alacsonyabb terhelhetőséget mutató watt számig: 180–210 W helyett 90–120 W összteljesítményig. A terhelés nélküli nyugalmi hypoxia és a hypoxiás terhelés összevetése azt bizonyította, hogy az akut hypoxia még nagyobb magasságban is kisebb adaptációt igényel önmagában (pihenő ülőhelyzetben), mint alacsonyabb magasságban a terheléssel való kombinációja (8. ábra).

Emberi tényezők a légi járművek üzemeltetésében

A repülés közben fellépő túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség fontos helyet foglal el a repülőorvosi és űrorvosi kutatásokban. „A 4-5. generációs vadászpilóták korában a katonai repülésben magasan képzett, »tökéletesen egészséges«, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben (centrifuga, barokamra, forgó GYRO laboratóriumi létesítményben) felkészített pilótákra van szükség. Az ilyen pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.”⁴⁴

A pilóta nélküli repülőeszközök napjainkban már ígéretes komplett rendszert alkotnak, a jövőben „a hadsereg szemei” lehetnek. Ugyanakkor az operátor emberi esendősége, hibahajlama változatlan kockázati tényező, még a hagyományos pilóta vezette műveletekkel összehasonlítva is komoly költségkihatással jár katasztrófa esetén.

A hadműveleti tapasztalatokra alapozva ugyanakkor kimondható, hogy számottevően javítják a bevetések sikerességét, csökkentik a katonák közvetlen harci terhelését, és az ellenségnek történő közvetlen harci kitettségét, a sérülés veszélyét, fejlesztésük perspektivikus.⁴⁵

Az UAV (pilóta nélküli légi járművek) bármilyen célú katonai alkalmazása, a polgári hasznosítás diverzifikálása (és a katonai alkalmazásokkal történő harmonizációja) már a 20. század utolsó évtizedében felvetette az UAV-k működtetésével kapcsolatos technikák, harcászati eljárások és műveletek összegzését. Figyelembe véve a rendkívül sokcélú alkalmazási lehetőséget (felderítés, precíziós csapásmérés, ellenséges légvédelem lefogása stb.) és az időkeret drámai lecsökkenését a célpont azonosításától a harcrintkezésig, szükség van a humán munkavégző képesség kiterjesztésére, javítására: ez magában foglalja az UAV irányítópult tervezését, a légi járművek interoperabilitását, a sokszoros UAV-eszközkészlet felügyeletét, menedzselését. (A humán operátor és az UAV közötti kapcsolat lehet direkt irányítású, mint a Predatornál, és lehet programozott vezérlésű,

⁴⁴ Szabó Sándor András: UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek humán tényezőinek elemzése repülés-biztonsági szempontból. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 482.

⁴⁵ „Eyes of the army”. *US ARMY roadmap for unmanned aircraft systems 2010–2035*. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama. Online: <https://fas.org/irp/program/collect/uas-army.pdf>

mint a Global Hawk-nál. A NATO-n belül számos bizottság, munkacsoport kezdett foglalkozni a témával: AG 7 (Air Group 7), HFM (NATO Védelmi és Kutatási Ügynökségen belül a Humán Faktor, Orvosi csoport) és az UAV Panel.

Az USAF Amerikai Légierő a Global Hawkon nehéz szállító, üzemanyag-szállító, helikopter/felderítő pilótákat alkalmazott, ezt a bevetések összetettsége, a változó harci körülmények és a rövid reagálási idő indokolták. Az egészségügyi követelmények az USAF AFI 48-123 szerint: II. katonai hajózó egészségügyi osztály standardok és a III. osztály szerinti FAA (polgári) egészségügyi standardok teljesítése (kereskedelmi műszeres repülési szint a pilóták és navigátorok számára). A minősített UAV-operátorok 2 éves forgásban kerültek ebbe a beosztásba. A haditengerészetnél és a tengerészgyalogságnál a haditengerészeti repülők lehettek UAV „mission commander” bevetési parancsnokok, egyéb személyzet magánpilóta-engedéllyel csak operátor. Az US ARMY-nál nem kellett minősített repülő-hajózó állományi besorolás, csak földi kiképzés, minden szakaszban.

Németországban az akkori szabályozás szerint az UAV-operátor mint parancsnoki pilóta (*pilot in command*) dolgozik, de az egészségügyi követelmények még megegyeznek az AT12 (légi forgalmi irányító) standardjaival. A brit Királyi Haditengerészet már 50 éve automatizált légi célokat alkalmaz, jelenleg MASE (Medium Altitude, 5000–25 000 láb közötti magasságon repülő, Short Endurance <4 óra időtartamú) UAV-típussal repülnek, nagyrészt előre programozott üzemmódban, amely azonban szükség esetén a kezelő által felülvezérelhető. Jelenleg nincs előírt légi tapasztalat/hajózó minősítés, az éves légi forgalmi irányító standardot kell teljesíteni. (A közeljövőben hajófedélzeti UAV-t terveznek, amelyet a Sea King Mk7 fedélzetéről operátor irányít.) A brit hadsereg Predatorait a Királyi Tüzérség személyzete üzemelteti, noha a hadsereg légi hadtestje szabja meg az egészségügyi követelményeket. Az amerikai hadseregben a tüzérség is üzemeltet UAV-eket. Az USAF-nál pilóták működtetik a drónokat, de az UAV-k típusa és szerepe különböző, több tényleges pilóta- (légi vezetési) tapasztalatot kíván, mivel kevésbé automatizáltak az ARMY verziójához képest. FAA transzkontinentális járatokra dolgoz ki irányelveket az UAV-k működtetésére (például a FEDEX-nél)⁴⁶.

Az UAV-műveletek során a feladatok végrehajtásához szükséges elvárt mentális teljesítmény, érzékszervi teljesítőképesség szükségessé teszi az adott beosztásra jelentkező operátorok megfelelő egészségügyi alkalmassági vizsgálatát, szelekciós kritériumok meghatározását. Ezek a követelmények természetesen eltérnek a valós repülést (légi harcot) végrehajtó pilóta élettani teljesítménymutatóitól, mivel a repülésélettani stresszorok súlya, repülésbiztonsági kockázati szintje eltérő.⁴⁷

Napjainkra az RPA-k alkalmazásának elterjedése napról napra növekszik. Csak az Egyesült Államok hadseregében több mint 4000 különböző pilóta nélküli repülőeszközt alkalmaznak. Ezeket a légi járműveket ugyan nem „hajózó” pilóta irányítja, de olyan komplex repülési és harci rendszerek, ahol a működtetésért felelős földi operátor felelőssége alapvető. Kiképzésük, hosszú távú munkaképességük biztosítása nem jelent

⁴⁶ FEDEX (Federal Express): Szövetségi Gyorsposta Szolgálat.

⁴⁷ Szabó (2013) i. m. 482–497.

akkora terhet, mint a pilóták hasonló felkészítése, így konkrét lehetőség nyílik arra, hogy az egészségügyi alkalmassági vizsgálatok spektrumát szűkítsék.

Az a követelménytámasztás, amelyet a szakemberek a kezelők számára megállapítanak, legyen az akár egészségi állapotára, cselekvőképességre vonatkozó, az legalább olyan jelentőségű, mint az „igazi” pilóta bármely, a repüléshez köthető képessége. Az operátor munkavégző képességének elemzése, a humán faktor hibalehetőségeinek kizárása ezért alapvető.

Az együttműködő országok meghatározták azt, hogy referenciaként az RPA-k következő osztályozása alkalmazható:

1. *kategória:* kisméretű, rövid hatótávolságú UAV, amely nem igényel licenc (szakszolgálati) engedélyt vagy regisztrációt, korlátozott/zárt/műveleti katonai területen működik.
2. *kategória:* közepes UAV, amely licencet vagy regisztrációt igényel. A felszállás és leszállás katonai/korlátozott területen, a repülési útvonal korlátozott légtérben történik.
3. *kategória:* közepes vagy nagyméretű UAV, amely engedélyt vagy regisztrációt igényel, mind korlátozott, mind ICAO által ellenőrzött (polgári) területen és légtérben működik, IFR vagy VFR repülési szabályok szerint. A légtér használata megosztott más polgári, pilóta vezette repülőgépekkel.

A NATO-tagországok hadseregeiben katonai repülőorvosi standardokat dolgoztak ki.

Az Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) már külön UAV-szekciót szervezett, ahol az előadásokon nagy hangsúlyt kapott a kiválogatás szempontjainak elemzése, a szellemi teljesítmény magas szinten tartásának hatékony módszerei és a kifáradás megelőzésének lehetősége.⁴⁸

A hozzáférhető külföldi szakirodalom feldolgozását kiegészítik a hazai vizsgálati protokoll kialakítására irányuló, jelenleg is zajló, a humán tudományok széles körét felölelő kutatások is. Ezek egyrészt a jelöltek antropometriai vizsgálatát, motoros képességeik felmérését és földi körülmények között, szimulátorban nyújtott repülési teljesítményüket és mentális funkciók értékelését foglalják magukban. A kutatómódszertan alkalmazásával lehetőség nyílik a kognitív feladatot kísérő stresszreakció jellemzésére, ezáltal a tűrőképesség és beválási valószínűség megállapítására. A vizsgálati eredmények, amennyiben megfelelő validitási szint igazolja a kutatók hipotéziseit, úgy hosszú távon alátámaszthatják az alkalmassági kritériumok életszerűségét.

Az RPA-műveletekben az emberi hibaforrások skálája eltér az ember vezette légi járművön kiemelt szerepet játszó, a valós repülési környezetből és élettani stresszor tényezőkből eredő hibáktól. Míg a repülőgép fedélzetén a gyorsulás-túlterhelés, az oxigénhiány és a térbeli dezorientáció a leggyakoribb baleseti ok, addig az UAV-műveletek során az első két okcsoport egészében kiesik, a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének pedig új típusai kerülnek előtérbe, ahol nem a mozgási élmény, hanem annak hiánya csapja be az emberi érzékszerveket, és vezet hamis helyzetérzékeléshez.

⁴⁸ Szabó (2013) i. m. 482–497.

Alapvető, hogy míg egy (különösen vadász-) repülőgép-vezető munkájának minőségét alapvetően befolyásolja a túlterhelés, vagy az esetlegesen meghibásodott légkondicionáló rendszer miatt bekövetkező hipobarikus hipoxia, addig ez pilóta nélküli légi járművet irányító operátornál periférikus szempontként sem jelentkezik. Utóbbiak tevékenységét viszont vélelmezhetően sokkal inkább meghatározza a monotónia, a csak műszereken keresztül történő nem ritkán jóval nagyobb késleltetéssel történő információ-visszacsatolás.

Mindezekből következik, hogy az egyezők mellett érdemben különböző követelmények, prioritások is megjelennek a pilóta nélküli légi járművek irányítóival szemben, így ezeket célszerű definiálni és érvényesíteni kiválasztásukkor. (Azaz, például nem feltétlenül a volt repülőgép-vezetők a legalkalmasabbak UAV-operátornak!).

Általános szempontok az UAV-operátorjelöltek kiválogatásában

A modern légierő változó stratégiájában az azonnali reagálóképesség prioritást élvez. Ennek kvintesszenciája az új jelmondat: „Jelezd előre a jövő történéseit, győzd le a váratlant és formáld a jövőt.”⁴⁹

A hagyományos, pilóta vezette csapásmérő eszközökhöz képest az Amerikai Légierő drón (RPAS, azaz UAV) műveleteiben a szimultán tömeges csapásmérő képesség új helyzetet teremt: míg a hagyományos vadászrepülőgép pilótája egyszerre néhány cél leküzdésére alkalmas fegyverzet közül választhat, kognitív döntés eredményeként, egyetlen „kibernetikus operátor”, azaz például egy UAV-operátor mint autonóm bevetésirányító számtalan légi célt tud kezelni, részben automatizált döntéshozatali mechanizmusok révén. Az új háborús zóna a telekommunikációs képességeket biztosító (hátszági) földi irányítóállomás (Ground Control Station) lesz, ahonnan az operátorok a bevetéseket irányítják. (Az USAF 330 000-es állományából jelenleg is 106 000 ember [32%] vesz részt speciális műveletekben, míg a tényleges hajózó állomány létszáma csak 23 800 fő [7%]).

Természetesen ez azt is jelenti, hogy egyre nagyobb számú – magas színvonalú operátori munkára képes – szakállományt kell kiválogatni. A repülő-hajózó állomány kiválogatásának menete a legtöbb légierőben azonos: a jelöltnek először az általános, katonatiszti pályaalakmassági (beleértve az egészségügyi) vizsgálatokon kell megfelelnie, alapvető pszichomotoros (műszeres) és kognitív tesztekkel kell megoldania, speciális repülőorvosi vizsgálaton kell megfelelnie. Utána pedig a repülő alapkiképzés során rendszeres szűrésen és válogatási teszteken kell átmennie, a legrosszabb teljesítményűek kiiktatásával. Nyilvánvaló, hogy a specializált repülőorvosi intézetek képesek a többcélú, teljes szűrési igénynek megfelelni, akár több vonatkozó alkalmassági rendelet minősítését alkalmazva, ezzel térben és időben lerövidítve a szelekció folyamatát. Itt döntő szerepe van a pszichológiai műszeres vizsgálatok komputerizált, számítógépes teszt bázisának, amelyek folyamatosan újraprofiláltak, előjelzik a jelölt teljesítménye alapján a beválási esélyt.

⁴⁹ Anne Mulrine: Drone pilots: Why war is also hard for remote soldiers? *The Christian Science Monitor*, 2012. február 28.

Ugyanez az elv követhető az UAV-operátorjelöltek esetében, azzal a különbséggel, hogy tekintve a bevetések harcászati jellegét, a legtöbb légierő saját állományából válogat, és a korábbi repülőfedélzeti, pilótatapasztalat határozottan előnyt jelent. Felmerül a kérdés, hogy a nagyobb, általánosabb populációból válogatva kiszűrhető-e a jelentkezők azon csoportja, akik jobb eséllyel, nagyobb valószínűséggel lesznek jó UAV-operátorok. A válaszhoz a videojátékokban nyújtott teljesítményt vizsgálták a Német Repülőorvosi Intézetben, összevetve a pilóták minősítéséhez is használt tesztekben nyújtott teljesítménnyel.⁵⁰

Több szerző szerint a videojátékokat gyakran játszóknaál jobb a szem-kéz koordináció, jobb a vizuális rövid távú memória, és jobb a mentális térbeli forgatásos képesség. Gyorsabb lehet a reakcióidő, jobb a szelektív figyelmi képesség, tökéletesebb a párhuzamos feladatok megoldási képessége (multitasking). A konkrét összefüggést a videojátékban és a pszichomotoros alkalmassági teszteken nyújtott teljesítmény között kevesebben vizsgálták: Goeters és Lorenz 1985-ben úgy találta, hogy egy adott játék (PAC MAN) javította a térbeli tájékozódó képességet és koncentrációt, felfogási-érzékelési sebességet, reakcióidőt és koordinációt. Lang-Ree és Martinussen pedig 2008-ban írta le, hogy a számítógépes PC-szimulátorokon szerzett tapasztalatok javítják a pszichomotoros koordinációt és térérzékelést.

A pszichológiai profil szempontjából amerikai szerzők a két legszélesebb körben alkalmazott UAV-típus, az MQ-1 Predator és az MQ-9 Reaper operátorainak követelményrendszerét elemezték.⁵¹ Műveleti pilóták és parancsnokok véleményét összegezték, hogy szerintük ki a „jó anyag” operátori kiképzésre a személyiségi jegyek, a kognitív szellemi képességek és a motiváció szempontjából.

Az általános intelligencián túl a vizuális nyomkövetés, a feladatok tér- és időbeli rangsorolása (térbeli orientációs képesség), gyors reakcióidő, tartós és megosztott figyelmi képességek a fontos kognitív jellemzők. A személyiségi jellemzők vonatkozásában a döntési érettség és határozottság, a pozitív hozzáállás, csoportszellem, rugalmasság és kitartás optimális keveréke fontos szempont.

A motiváció tekintetében a munkaköri elégedettség, az UAV-platform mint munkahely elfogadása és egyúttal a sajátos „háborús” szereppel azonosulás (akár távolról ölni) elsőrendű. Ugyanakkor e követelmények aránya, fajsúlyossága nem tisztázott abban, hogy az UAV-operátor sikeresen „repüljön”, harcoljon és győzzön.

A pilóta nélküli repülőeszközök kezelőivel szembeni követelmények

A tudományos pályaalkalmasság-tan elméletének fő problémái:

- az alkalmasság mibenléte;
- megismerhetőség;

⁵⁰ C. Reeb – M. Eisl – A. Schwab: *PC-based flight simulator experience as a predictor for success in the German Armed Forces pilot aptitude test battery*. 2010. május 11, ASMA konferencia (Phoenix, Arizona) előadása.

⁵¹ Wayne Chappelle – Kent McDonald – Katharine McMillan: *Important and critical psychological attributes of USAF MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper pilots according to subject matter experts*. Ohio, Wright-Patterson AFB, 2011.

- a vizsgálatok indokoltsága;
- validitás;
- felhasználhatóság;

gyakorlata pedig a legcélravezetőbb alkalmassági vizsgálatok módszertanának kidolgozására irányul.

Az alkalmassági vizsgálat a kiválasztási folyamat része, szakaszai:

- a tevékenység jellemzőinek figyelembevétele;
- az alkalmassági követelmények elbírálása;
- a kiválasztás célszerű módszereinek alkalmazása;
- a kiválasztással kapcsolatos döntés-előkészítés és döntés;
- a beilleszkedés és a beválás elősegítése.

Adott tevékenység végzésére az alkalmas, aki ismeretei, képességei és az egész személyisége (érzelmi adottságai, alkalmazkodása, motivációi, tulajdonságai) alapján az adott területen tartósan legalább átlagos teljesítményt tud nyújtani, egészségének károsodása és személyiségének torzulása nélkül. A vizsgálatnak egyidejűleg kell a rátermettség megállapítására és az alkalmatlanság kiszűrésére irányulnia. Az alkalmasság csak potenciálisan állapítható meg, a tevékenységvégzés gyakorlatában dől el, hogy a valóságos megfelelés, beválás létrejön-e.

Az *ember-tevékenységi kör* rendszer többértékű megfelelést jelent (egészségügyi, jogi, szakmai, vezetői stb.). Ennek alapján beszélünk az alkalmasság belső személyi (pszichológiai) feltételeiről:

- ismeretek (tudás);
- képességek, készségek;
- személyiség tulajdonságok.⁵²

A fizikai alkalmassági vizsgálatok modellje

Nagyon fontos felismerni azt, hogy az alkalmasság kérdésének pszichológiai aspektusain kívül rendkívül nagy jelentősége van a fizikai teljesítőképességnek is. Ez a megállapítás fokozottan igaz a hadsereg tevékenységére vonatkoztatva, mivel e képesség csak ezeknek a fontos alkotórészeknek az ideális megléte esetén áll fenn, és biztosítja a katona számára a megfelelő harcképességi szintet. A fizikai alkalmasság minden katona hadrafoghatóságának fontos alkotó eleme.

Az amerikai szakirodalmi források szerint a katonai alkalmasság struktúrája a következő:
A katonai alkalmasság alapelemei:

- technikai;

⁵² Kevin W. Williams: *An assessment of pilot control interfaces for unmanned aircraft*. Federal Aviation Administration DOT/FAA/AM-07/8, Office of Aerospace Medicine Washington, DC 20591. Online: www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf

- értelmi;
- érzelmi (emocionális);
- fizikai alkalmasság.

A fizikai alkalmasság komponensei:

1. állóképesség;
2. erő;
3. erő-állóképesség;
4. ízületi mozgékonyosság;
5. testösszetétel.

A technikai alkalmasság nélkül a katonának nem lehetnek megfelelő szintű ismeretei (elméleti és gyakorlati), jártasságai és készségei, amelyek nélkül nem tud majd harcolni. Értelmi és érzelmi alkalmasság nélkül hiányzik a harchoz szükséges motiváció és akarat, fizikai alkalmasság hiányában nem lesz elegendő ereje a harchoz.

Fizikai alkalmasság alatt az amerikai szakértők azt az állapotot értik, amikor a katona teljesen egészséges, képes arra, hogy magas fokú mozgáskoordinációt igénylő feladatokat hajtson végre, és szervezete képes jelentős kifáradás után minimális időintervallum alatt regenerálódni, valamint a váratlan helyzetekben rövid határidő alatt képes maximális teljesítményt nyújtani.

A harci kiképzettség és a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség közötti összefüggések

Az elfogó vadász, vadászbombázó és sportrepülő pilóták számára a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség rendkívül nagy jelentőségű, mivel a korszerű repülőgépek manőverező képességének kihasználása nagymértékben függ e képesség fejlettségi szintjétől, ugyanakkor a pilóták kis hányada képes kihasználni repülőgépének manőverező képességét teljes mértékben. Az egyéni tűrőképesség nagysága jelentős mértékben befolyásolja a különböző harci feladatok végrehajtásának minőségét. Kísérletekkel bizonyították, hogy a légi harc során lezajló tűzharc pontosságát nagyban befolyásolja a pilóta túlterhelésekkel szembeni tűrőképessége. A túlterhelés után fellépő negatív hatás az, amely alacsony tűrőképességű pilótáknál a motoros és pszichikai funkciók zavaraiiban nyilvánul meg, és gátolja a légi tűzharc és az összetett műrepülő figurák végrehajtásának képességét.

A túlterhelés hatására a szervezetben többnyire kedvezőtlen élettani változások lépnek fel a keringési rendszerben, amelyek a vér tehetetlenségi áramlásával magyarázhatóak. Az áramlás iránya a gyorsulás irányával ellentétes. Például a fej-far irányú túlterheléskor (kiemelés zuhanórepülésből, hintagyakorlatok) a vér mint folyadék gyakorlatilag aka-

dálytalanul folyik. A fejtől elfolyik, és a test alsó területeiben gyűlik össze, és az agy részleges hipoxiáját okozza, csökkenti a szív és a tüdő vérellátását.⁵³

A túlterhelés alatt a szervezetre neuro-reflex tényezők is hatnak. A szövetek és a belső szervek deformációja, amely a tehetetlenségi erő hatására megy végbe, szokatlan afferens impulzusokat vált ki, főleg az érrendszer receptoraitól eredőket, amelyekben a túlterhelések hatására fellépő deformációk a legjelentősebbek. Nagyon komoly szövődmények léphetnek fel a szervezetben a szív elmozdulásának eredményeképpen. Így például 5 G túlterhelés hatására fellépő lefelé irányuló 5 cm elmozdulás az agyi erekben a vérnyomás körülbelül 20 Hgmm-nyi csökkenését eredményezi. A légzőszervek funkcionálásának a túlterhelés hatására csökkenő feltételei, az intenzív izomfeszítés miatt fellépő oxigénzsükséglet növekedésével egyidejűleg a növekvő szív működés eredményeképpen a szervezetben hypoxiás változások léphetnek fel. A vér lecsökkent oxigéntelítettsége fokozza a túlterhelésnek a pilóták szervezetére kifejtett káros hatását. A tűrőképesség növelésében fontos szerepe van a kardiovaszkuláris (szív-ér) és respiratórikus (légző-) rendszer magas szintű általános működőképességének, a vér oxigénfelvevő képességének a magasabb szintű oxigénfelhasználó képességnek, mivel ezek a tényezők kompenzálják a túlterhelés hatására fellépő keringési zavarokat.

Sporttudományi, sportélettani módszerek alkalmazási lehetőségei a repüléstudományi kutatásokban

A sporttudomány tárgya a sportteljesítmény elemzése, megértése, értelmezése és fokozása. Nem képez önálló, független tudományterületet. Szoros kapcsolatban áll más tudományterületekkel. Ahhoz, hogy saját kutatási kérdéseit meg tudja válaszolni, a fő tárgyát képező sportolást és fizikai aktivitást tanulmányozni, értelmezni és elemezni tudja, szüksége van más tudományterületek gyakorlati tapasztalásaira, módszertanára és eredményeire, ezért interdiszciplináris tudományterület.⁵⁴ A sportélettan az a tudományterület, amely a sport és a fizikai aktivitás hatására a szervezetben bekövetkezett strukturális és funkcionális változásokat tanulmányozza. Ebből kifolyólag a sportélettan olyan tudományterületek ismereteit is tartalmazza, mint például anatómia, biokémia, pulmonológia, kardiológia, molekuláris biológia stb.

Az első rendszeres sportélettani kutatások az 1800-as évekre tehetők, amikor Antoine-Laurent Lavoisier és Pierre-Simon Laplace kiemelték az oxigén jelentőségét az anyagcseré-folyamatokban. Hill és Meyerhof 1922-ben kapták meg a fiziológiai és az orvostudományi Nobel-díjat. Hill terhelés alatt tanulmányozta az oxigénfogyasztást; kutatásainak eredményeként bevezette az állóképesség és a kardiorespiratórikus rendszer mérésére a mai napig is használatos, „maximális oxigénfogyasztás” fogalmát. Meyerhof az oxigénfogyasztás és az izomban felhalmozott tejsav-koncentráció kapcsolatát tanulmányozta.

⁵³ Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légi járművek műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia*, 25. (2013), 2. 314.

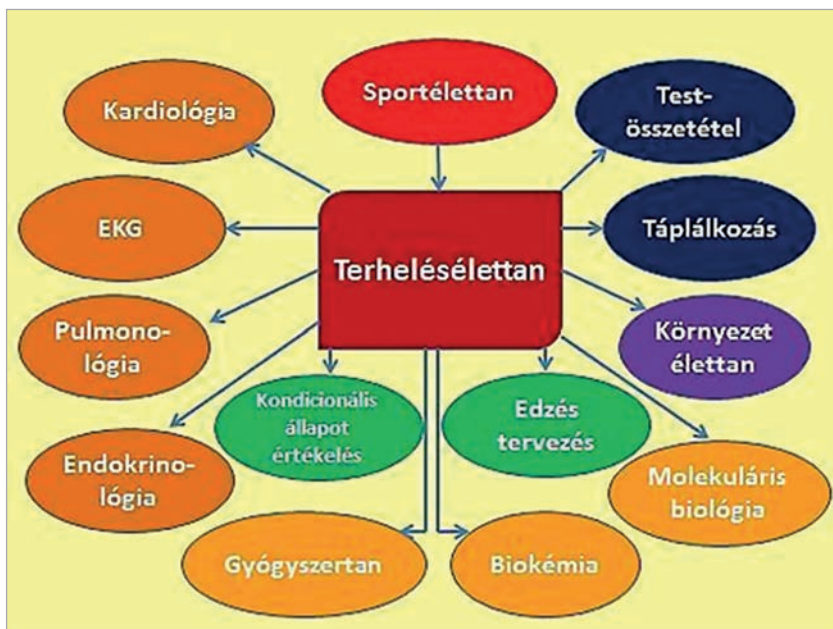
⁵⁴ Perényi Szilvia – Petridis Leonidas: *Bevezetés a sporttudományokba*. Debrecen, Campus, 2015.

Az Egyesült Államokban az első szervezett terhelésélettani laboratóriumot a Harvard Egyetemen létesítették 1927-ben. Tanulmányozták a változó környezeti körülmények között végzett munka, a magaslat, a száraz vagy nedves levegő szervezetre gyakorolt hatásait. Vizsgálták a terhelés alatti anyagcsere-folyamatok és a sav-bázis egyensúly változásait is.⁵⁵

Az 1960-as években a sportélettani kutatásokat elsősorban a versenysporttal összefüggő teljesítmény-élettani vizsgálatok jellemezték. Kiemelten vizsgálták a különböző edzésmódszerek hatását a fizikai teljesítményre, és ezzel összefüggésben tanulmányozták a szervezetben végbemenő akut és krónikus adaptációs (alkalmazkodási) folyamatokat is.

Az 1980-as évektől kezdve – miután felismerték a fizikai aktivitás pozitív hatását az egészségre – az addigi kutatási irány kiegészült a sportolás, a fizikai aktivitás hatásainak az általános egészségügyi állapot javításával és a betegségek megelőzésével (prevenció) kapcsolatos vizsgálatokkal.

A sportélettan a teljes test, a szervek, szervrendszerek működését és szabályozását tanulmányozza fizikai terhelés során (lásd 9. ábra). A terhelésélettan a sportélettan részét képezi, a fizikai terhelés hatására bekövetkezett akut és hosszú távú alkalmazkodási folyamatokat vizsgálja.



9. ábra: A terhelésélettan határterületei

Forrás: Robergs 2010 alapján⁵⁶

⁵⁵ Robert A. Robergs – Scott O. Robergs: *Exercise physiology. Exercise, performance, and clinical applications*. Mosby-Year Book, 1997.

⁵⁶ Robert A. Robergs: *What is exercise physiology?* Online: www.unm.edu/~rrobergs/426L1History.pdf

A versenysportban a teljesítmény-élettan kap nagyobb hangsúlyt: a teljesítmény és a teljesítőképesség mögötti élettani folyamatok tanulmányozása annak céljából, hogy a kutatók felismerjék azon mechanizmusokat, amelyek lehetővé teszik a teljesítmény növelését az élettani funkciók szempontjából. A szabadidősportban, amelynek jelentősége népegészségügyi szempontból folyamatosan növekszik, a sportélettan az egészség megőrzésében, az akut és krónikus betegségek megelőzésében kap fontos szerepet.⁵⁷

A teljesítmény sok tényező függvénye, biológiai és pszichikai folyamatok mellett szociális, gazdasági és egyéb környezeti tényezők is fontos szerepet vállalnak kialakításában. Bármelyik tényező teljes vagy részleges hiánya a teljesítmény csökkenéséhez vezethet. A teljesítmény komponensei folyamatos kölcsönhatásban vannak egymással, így kiegészítik egymást.

A teljesítménynek két nagy összetevője van. Az egyik összetevő a teljesítőképesség, amely a szervezet azon képességeit tartalmazza, amelyeket az elvégzett munkával, a felkészülés során fejlesztünk: a fizikai, szellemi és pszichikai tulajdonságok/képességek. A másik összetevő a teljesítőkészség, amely a személy adott, pillanatnyi érzelmi állapotát, magatartását foglalja magában.

A teljesítőkészség a téthelyzetekben realizálódó állapot. A teljesítőkészség, a motoros képességekhez hasonlóan, szerzett és öröklött tulajdonságok mentén alakul ki, összetett pszichofizikai folyamatok eredményeként. Nádori⁵⁸ szerint a teljesítőkészség függ a személyiségtől, személyiségvonástól, mentális és szellemi beállítódástól, valamint a motivációtól.

Az edzettség a szervezet alkalmazkodásának a következménye. A szervezet a terhelések kivédése érdekében morfológiai, szerkezeti és működési változásokat indukál, amelyek eredménye a szervezet magasabb funkcionális szintje, azaz magasabb edzettségi állapota. Bár tipikusan az edzettségről annak fizikai komponensei jutnak eszünkbe, az edzettség komplex állapot, a sportoló egész személyisége jelenik meg benne.⁵⁹

Az edzettséget feloszthatjuk általános és speciális edzettségre. Az általános edzettség a szervezet valamennyi tulajdonságában bekövetkezett általános változások összessége. A speciális edzettség pedig konkrét mozgásfeladatok és terhelési jellemzők hatására csak a fejleszteni szándékozott képességekben létrejött változások összessége. Nem kérdéses, hogy a magas teljesítmények eléréséhez speciális edzettségre van szükség, ugyanakkor a speciális edzettség nélkülözhetetlen előfeltétele a magas és jól megalapozott általános edzettség kialakítása.

Az edzettség nem megfelelő színvonala egyben korlátozó tényezője is a teljesítménynek. Alacsony edzettségi szint esetén nagyobb annak a valószínűsége, hogy a pillanatnyi aktuális állapot alacsonyabb teljesítményt eredményezzen, illetve kisebb a negatív hatások korrigálásának esélye.

⁵⁷ Robert A. Robergs – Steven J. Keteyian: *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health*. Boston, McGraw-Hill, 2003.

⁵⁸ Nádori László: *Az edzés elmélete és módszertana*. Budapest, Sport, 1981.

⁵⁹ Dubecz József: *Általános edzéselmélet és módszertan*. Budapest, Rectus Kft., 2009.

Teljesítménydiagnosztika

Ma a sporttudományi tevékenységek egyik fő iránya új teljesítménymérési lehetőségek kidolgozása és fejlesztése, a teljesítőkéesség minél pontosabb mérése és diagnosztizálása. A technológiai fejlesztéseknek és a mérési módszertan fejlődésének köszönhetően egyre több és egyre pontosabb, az edzettségben bekövetkezett változásokra fokozottan érzékeny vizsgálati protokoll és próba került kidolgozásra. Ezek a próbák nemcsak az aktuális állapotok rögzítésére irányulnak, hanem a várható teljesítmény becslésére, a potenciálisan kialakítható edzettségi szintnek előrejelzésére is törekednek.⁶⁰

Az adatok minősége szorosan összefügg az alkalmazott módszertan és az eszközök minőségével. Ahogy fejlődik a teljesítményméréshez kapcsolódó technológia, úgy egyre pontosabb és részletesebb teljesítménymérés valósítható meg, ugyanakkor az emberi teljesítményről szerzett ismereteink serkentően hatnak a technológiai fejlesztésekre.

A teljesítménymérésnek három fő szakasza van: a mérési eljárások és protokollok kiválasztása; a mérés végrehajtása; az eredmények értékelése. A mérési eljárások és protokollok kiválasztása nem könnyű feladat. A megfelelő próba kiválasztásához több szempontot is figyelembe kell venni. Laboratóriumi vizsgálatoknál rendszerint szakképzett személyzet bevonása szükséges, akik jól ismerik az alkalmazott eszközök működését és tulajdonságait.

Az értékelés során nem könnyű az adatok mögötti információkat felismerni és a megfelelő következtetéseket levonni. Az elemzés eredményei alapján hasznos információkat kaphatunk arról, hogy az alkalmazott módszereknek összességében milyen hatásuk van, milyen alkalmazkodásokat váltanak ki, és milyen képességeket tudnak fejleszteni. Fontos, hogy tisztában legyünk azokkal a tényezőkkel, amelyek az adott teljesítményt döntően meghatározzák.

A teljesítményt meghatározó tényezők⁶¹

Motoros képességek

„Motoros képességen valamely mozgásos tevékenység öröklött és szerzett koordinációs és kondicionális összetevőit értjük.” A motoros képességek fajtái a koordinációs képességek és a kondicionális.

„A koordinációs képességek azok a motoros tulajdonságok, melyek egymással és kondicionális képességekkel szoros összefüggésben, elsősorban a mozgások végrehajtásának célszerű szabályozását segítik elő.” A koordinációs képességekhez tartozik a gyorskoordinációs képesség, az egyensúly-érzékelés, a mozgásátállítódás, a térbeli tájékozódó képesség, kinesztétikus differenciáló képesség, reagálóképesség és a ritmusérzék.

⁶⁰ Perényi–Petridis (2015) i. m.

⁶¹ Petridis Leonidas: *A sportteljesítmény fizikai összetevőinek diagnosztikája*. Debrecen, Debreceni Egyetem, 2015.

„A kondicionális képességek azok a motoros tulajdonságok, amelyek egymással és a koordinációs képességekkel szoros összefüggésben a mozgásos cselekvés gyorsasági, erőbeli, állóképességi, hajlékonysági és izomlazasági feltételeit teremti meg.”⁶² A gyorsaság az erő és az állóképesség összekapcsolódásával további képességek jöttek létre: gyors erő, erő-állóképesség, gyors-erőállóképesség és a gyorsasági állóképesség.

Erő

„Izomerőn a külső erők és a mozgás közben fellépő erők, ellenállások legyőzésének a képességét értjük az izomzat aktív erő kifejtésének (rövidülés és feszültségnövekedés) segítségével.”⁶³

Az erő összefüggései különös figyelmet érdemelnek az állóképességgel és a gyorsasággal. Megkülönböztetünk: maximális erőt, gyors erőt és erő-állóképességet. Az erő kifejtés nagyságát két tényező határozza meg alapvetően:

- a gerincvelő mellső szarvaiból érkező idegingerület jellege;
- az izom tömege és válasza az idegingerületre.

A maximális izomerő „az az izomerő, amelyet az izomzat – az adott edzettségi fokon – maximális számú működési egység egyidejű aktiválódása révén képes kifejteni”. Megkülönböztetünk maximális statikus és dinamikus erőt. A maximális erőt statikus vagy dinamikus feltétele mellett mért erővel, illetve a megmozgatott teher nagyságával fejezzük ki. „Gyorsasági erőn értjük az ideg- izomrendszernek azt a képességét, amellyel viszonylag nagy ellenállásokat igen nagy gyorsaságú összehúzóerővel győz le. Mérhetően jelenti azt az időegységre jutó dinamikus erőt, amellyel valamely meghatározott mozgásban ellenállást győzünk le.”⁶⁴ Az erő-állóképesség viszonylag hosszan tartó, nagy erő kifejtéseknél fejződik ki. Ez a képesség olyan sportágaknál nagyon fontos, ahol a legfőbb szerepet a teljesítményerő és az állóképesség összetevője jelenti.

Gyorsaság

„A gyorsaság általános definíciójaként – valamennyi mozgásra – elfogadható a következő: képesség, a mozgások lehető nagy sebességű végrehajtására, adott feltételek mellett. Amikor (lokomotorikus mozgások esetében) nyugalomból vagy viszonylag lassú mozgásból, lassú iramból olyan hosszan tartó, magas iramba váltunk át, amely maximális sebességet eredményez, felgyorsulásról beszélünk. A jelenség hátterében a gyorsulási képesség áll.”⁶⁵

⁶² Harsányi László: *Edzéstudomány I.* Budapest–Pécs, Dialóg Campus, 2000. 186.

⁶³ Náadori (1981) i. m. 79.

⁶⁴ Náadori (1981) i. m. 80.

⁶⁵ Náadori (1981) i. m. 102.

Két fő csoportba soroljuk a gyorsaságtípusokat: az egyetlen mozgáselemre vonatkozó úgynevezett mozgásgyorsaság az egyik, a ciklikus mozgások esetében értelmezhető gyorsaság a másik. Ez utóbbin belül beszélünk kell a felgyorsulási képességről és a távközi haladás képességéről is. A ciklikus mozgások gyorsasága inkább a gyorsasági állóképességben, míg az aciklikus mozgások gyorsasága inkább a gyorsasági erőben juthat kifejezésre. Ezen összes gyorsaságfajták akkor kamatoztathatók igazán, ha magas szintű reagálás, illetve akciógyorsaság is párosul hozzájuk. Melyek a versenyzőt körülvevő környezetből érkezett ingerekre adott minél gyorsabb válaszreakciókban tükröződnek.

Állóképesség

„A szervezetfáradással szembeni ellenálló képességét hosszan tartó sportbeli erő kifejtéseknél állóképességnek nevezzük. Az állóképes egyén viszonylag magas intenzitással, hosszú ideig tud munkát végezni.”⁶⁶ Ez a képesség leginkább egész napon át tartó versenyeken, sorozatmérkőzéseken, hosszú távú ciklikus mozgásokban kerül érvényre. Elsősorban az állóképesség a szív- és keringési rendszer, a légzőrendszer, az anyagcsere, az idegrendszer működésétől függ. A szervek és szervrendszerek koordinált működése szükséges. Ez utóbbi teszi lehetővé a gazdaságos energiamozgósítást és felhasználást. A mozgáskoordinációnak pedig szintén jelentős szerepe van az állóképességben.

Ügyesség

Ügyességen egy olyan összetett koordinációs képességet értünk, amelynek segítségével a sportmozgásokat, feladatokat gyorsan, célszerűen tudjuk megoldani. Ebben a képességben különösen a mozgásszabályozó, alkalmazkodó és átállító, valamint a mozgástanulási képesség hangsúlyozott.

Ízületi mozgékonyaság

Az ízületi hajlékonyság valamely ízületben nagy mozgáskiterjedést tesz lehetővé. Megkülönböztetünk általános, speciális, aktív és passzív hajlékonyságot. Az ízületi mozgáskiterjedést több dolog is befolyásolja. Ezek lehetnek külső, illetve belső faktorok. Belső faktorok: ízületi felszínek, izmok rugalmassága, inter- és intramuszkuláris koordináció. Külső faktorok: életkor, nem, pszichikai állapot, környezeti hatások, bemelegítés, fáradtság. Az ízületek mozgáskiterjedése a sportteljesítményeket nagymértékben befolyásolja, hiszen a hajlékonyság mozgáskoordinációs probléma is. Ha a sportoló nem rendelkezik a sportágának megfelelő flexibilitással, akkor gazdaságtalanul fogja felhasználni

⁶⁶ Nádori (1981) i. m. 110.

a meglévő energiáit. Viszont ahhoz, hogy ezt a mozgásterjedelmet ki tudjuk használni más képességekre is szükség van. A megfelelő koordináció és technika elengedhetetlen.

A hajlékonyság fejlesztése kizárólag akkor hasznos, ha hozzá harmonikusan társul erő, gyorsaság, koordinációs képességek fejlesztése.

A flexibilitás nemcsak a mozgásterjedelem kiterjedésének növelése miatt fontos, hanem nagyon nagy szerepe van a sérülések megelőzésében is. Ezért használunk a bemelegítésben és a levezetésben is egyaránt stretching gyakorlatokat.

A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok alapjai

A teljesítménydiagnosztikai mérések értékelésénél ismerni kell azokat az anyagcseré-folyamatokat, amelyek a terhelés során egy adott intenzitáshoz tartoznak. A terhelési mód, a vizsgálati protokoll jelentősen befolyásolja a szervezet aktuális válaszreakcióit. Az adatok elemzésénél pedig tisztában kell lenni az egyes szervrendszerek adaptációs folyamataival és lehetőségeivel is.

A laboratóriumi vizsgálatok legfőbb előnye a vizsgálati protokollok pontossága, megbízhatósága és a vizsgálati környezet kontrollált állandósága. A mérések megbízhatósága révén a kapott adatok és eredmények elfogadhatók, a valós helyzethez közelítő következtetések vonhatók le belőlük. Másik előnyük, hogy a mérés szerkezetének megfelelően az adott teljesítményt elemeire tudjuk bontani, és az alkotórészeket külön is értékelhetjük. A laboratóriumi vizsgálatok hátránya, hogy időigényesek és költségesek.⁶⁷

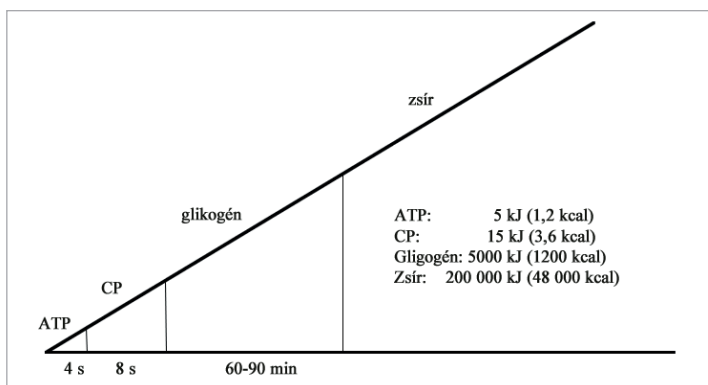
Energiaszolgáltató folyamatok

A nagy intenzitású terhelések csak néhány másodpercig végezhetők, míg az alacsony intenzitású terhelés akár órákig is fenntartható. Ebből következik, hogy a terhelés intenzitása befolyásolja a terhelési időtartamot. A fizikai aktivitáshoz szükséges energia mennyisége az elvégzendő munka típusától, idejétől, illetve a mozgás gazdaságosságától is függ. Az izom-összehúzódáshoz szükséges energiát ATP-ből (adenozin trifoszfát) biztosítja a szervezet, nemcsak terhelés alatt, hanem nyugalmi állapotban is. Az ATP folyamatosan felhasználódik, és folyamatosan újraépül (reszintetizálódik). A szervezetünkben mintegy 51 g ATP áll rendelkezésünkre, ami nyugalmi helyzetben körülbelül 30 másodpercre elég, ugyanakkor 24 óra alatt a szervezet mintegy 145 kg ATP-t használ fel és szintetizál újra.⁶⁸

Fizikai terhelés, edzés során a szervezetünkben az ATP reszintézise lényegében két úton, anaerob (O₂-hiány) és aerob (O₂ mellett) módon mehet végbe, amely folyamatokat a tápanyag-felhasználástól függően további folyamatokra oszthatunk.

⁶⁷ Jákó Péter – Martos Éva – Pucsok József: *A sportorvoslás alapjai*. Print City, 1998.

⁶⁸ Ádám Veronika: *Orvosi biokémia*. Budapest, Medicina, 2001.



10. ábra: Az energianyerő rendszerek energiatartalékai

Forrás: Chan et al. 2006 alapján⁶⁹

Az ATP-képződés sebességéből és az energiatartalékok maximálisan felhasználható idejéből látszik, hogy az anaerob folyamatok elsősorban a rövid ideig tartó, nagy erő kifejtést igénylő terhelésekben, míg az aerob folyamatok elsősorban a közepes vagy alacsony intenzitású, de tartós terhelésekben játszanak szerepet. (10. ábra)

Az egyes anyagcsere-folyamatok szigorúan nem határolhatók el egymástól, az adott terhelési szakaszban az egyik vagy másik anyagcsere út dominanciája figyelhető meg.⁷⁰

Anaerob folyamatok:

- Anaerob alaktacid folyamat: a kreatinfoszfát (CP) anaerob hasadása során, az energiadús foszfátkötés átkerül az ADP-re. ATP-képződés sebessége körülbelül 2,5 mol/min, időtartam 8-10 másodperc.
- Anaerob laktacid út: az izomglikogén tejsavvá való alakítása anaerob glikolízis segítségével. ATP-képződés sebessége körülbelül 2,0 mol/min, időtartam 40-60 másodperc.

Aerob folyamatok:

- Az izomglikogén piruváttá való alakítása aerob glikolízis, majd oxidatív foszforiláció. ATP-képződés sebessége körülbelül 1,0 mol/min, időtartam 60-90 perc.
- Zsírsavak béta oxidációja. ATP-képződés sebessége körülbelül 0,7 mol/min, időtartama szinte korlátlan.

Az egyes folyamatok különböző típusú edzésmódszerekkel fejleszthetők, és így a szervezet teljesítőképessége növelhető. (1. táblázat)

⁶⁹ KM Chan – Lyle Micheli – Angela Smith – Christer Rolf – Norbert Bachl – Walter Frontera – Talia Alenabi (eds.): *F.I.M.S. Team physician manual*. Karger, 2006.

⁷⁰ Györe István: A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok célja, eredmények felhasználása az edzői munkában. *Magyar Edző*, 11. (2008) 2. 47–49.

1. táblázat: *Energianyerő rendszereken alapuló klasszikus edzésmódszerek*

Energianyerő rendszerek	Edzésmódszer
Anaerob alaktacid rendszer	– gyorsasági erőedzés – gyorsasági edzés - reakció gyorsasági edzés - gyorsulási gyorsasági edzés - maximális gyorsasági edzés – intenzív intervalledzés - ismétlésees edzés – erőedzés - maximális erőedzés - explozív erőedzés - gyorsasági erőedzés
Anaerob laktacid rendszer	– intenzív intervalledzés - tömbös edzés - intervall–iram edzés - ismétlésees edzés – erőedzés - erő állóképesség edzése
Aerob és anaerob rendszer kombinációja	– állóképességi edzés – intenzív intervalledzés
Aerob rendszer	– állóképességi edzés - extenzív állóképességi edzés - fartlek edzés - intenzív állóképességi edzés – extenzív intervalledzés - intervall állóképességi edzés – erőedzés - erő állóképesség edzése

Forrás: Gemser – de Koning – van Ingen Schenau 1999 alapján⁷¹

*Terhelésélettani vizsgáló módszerek*⁷²

A vizsgálatok kiválasztásának szempontjai:

- a mérni kívánt képesség;
- a vizsgálat célja;
- a vizsgált személyek sportága, versenyszáma;
- a vizsgált személyek életkora, képzettsége és edzettségi állapota;
- a rendelkezésre álló időkeret és pénzügyi források;
- a vizsgált személyek korábbi ismeretei és tapasztalata;
- az időjárási és környezeti tényezők.

Az anaerob teljesítmény meghatározására elsősorban a Wingate-teszt, míg az aerob folyamatok jellemzésére különböző spiroergometriás vizsgálatok alkalmazhatók.

⁷¹ Henk Gemser – Jos de Koning – Gerrit Jan van Ingen Schenau: *Handbook of competitive speed skating*. Lausanne, Switzerland, International Skating Union, 1999.

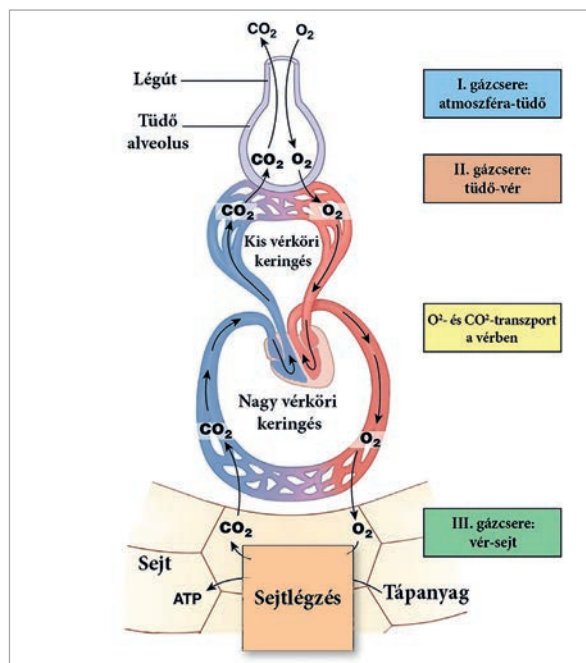
⁷² Petridis (2015) i. m.

Wingate-teszt

A supramaximális intenzitású vizsgálat kerékpár vagy kar ergom-en történik, és 30 másodpercig tart. A kerékpár ellenállása állandó, és általában a testtömeg 7,5%-ának felel meg. A 30 másodperces terhelésből meghatározható a legjobb öt másodperc teljesítménye, amely a maximális anaerob teljesítménynek felel meg (alaktacid terhelés), míg a 30 másodperc átlagteljesítménye, a teljes anaerob kapacitásnak felel meg (alaktacid és laktacid terhelés). A mérés során meghatározható a fáradási index is, vagyis a legjobb és a leggyengébb öt másodperc teljesítményének különbsége.⁷³

Spiroergometriai laborvizsgálatok⁷⁴

Az oxigén felvétele és a szén-dioxid leadása a tüdőben folyik. A gázcserét a légzőrendszer, a gázok szállítását pedig a vérkeringési rendszer biztosítja. Ez a két rendszer anatómiailag, működésében és szabályozásában szorosan kapcsolódik egymáshoz, ezért az élettan és a klinikai orvostudomány a kardiorespiratorikus rendszer elnevezést alkalmazza.



11. ábra: Az emberi szervezet gázcsere szinterei

Forrás: a szerző szerkesztése

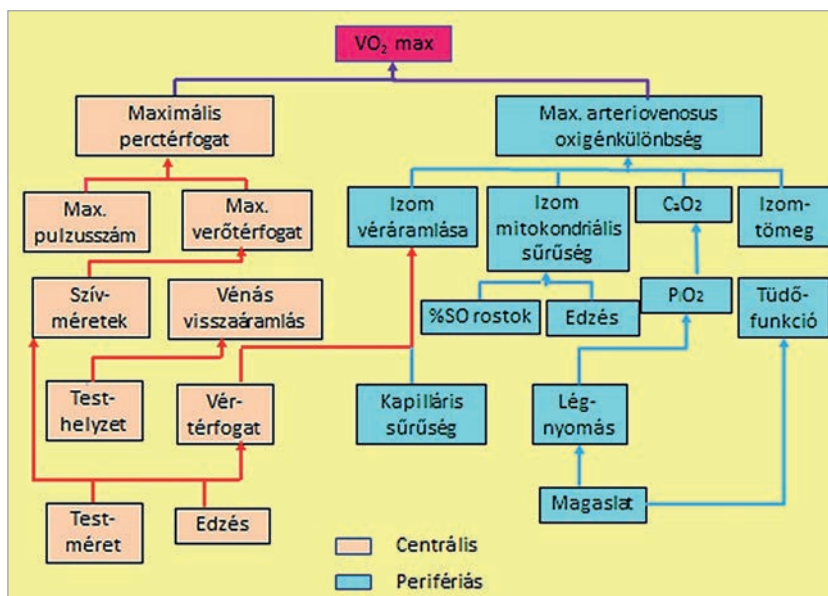
⁷³ Tarak Driss – Henry Vandewalle: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *BioMed Research International*, 2013.

⁷⁴ Jákó–Martos–Pucskok (1998) i. m.

A tüdőn belül a gázcsere színtere az alveoláris tér, ahol a keringő vér az alveoláris gázzal érintkezik. A vér oxigénellátását és a keletkezett szén-dioxid leadását az alveoláris tér és a vér között folyamatosan zajló külső gázcsere biztosítja. A belső gázcsere a kapillárisok vére és a sejtek közötti gázkicserélődés. (11. ábra)

Spiroergometria a szív, keringési és a légzőrendszer működésének vizsgálatára alkalmas eljárás, de közvetve alkalmas az egészség és a teljesítőképesség megítélésére is. A kardiorespiratorikus állóképességet a maximális O_2 -felvétellel jellemezhetjük, így ezen vizsgálatok elsődleges célja a maximális O_2 -felvétel meghatározása.⁷⁵

A Fick-törvény szerint az O_2 -felvétel egyenlő a szív perctérfogat és az artériás-vénás O_2 különbség szorzatával, így mind azon változások, amelyek a centrális vagy perifériás tényezőket érintik, hatással lesznek a maximális O_2 -felvételre. (12. ábra)



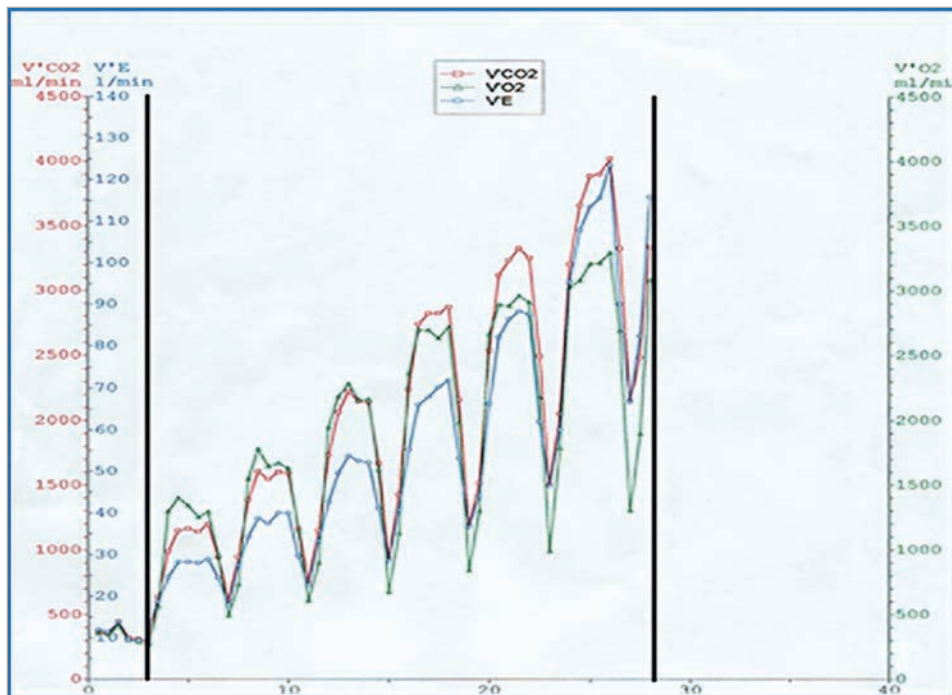
12. ábra: A maximális oxigénfelvételt meghatározó centrális és perifériás tényezők

Forrás: Robergs–Roberts (1997) i. m. alapján

A „vita maxima” (teljes kifáradásig tartó) tesztek időtartama 8–12 perc, pihenő nélkül. Történhet futószalagon vagy kerékpár-ergom-en. A terhelés intenzitása fokozatosan emelkedik, és a teljes kifáradásig tart. A terhelés a vizsgálat alatt folyamatos, nincs benne pihenődő. Célja a VO_2 max pontos meghatározása. A vizsgálat kiegészíthető nyugalomban és a terhelés végén tejsavméréssel, vagy a sav-bázis háztartás paramétereinek meghatározásával. Akkor megfelelő a vizsgálat, ha a VO_2 elér egy maximum értéket (nem emelkedik tovább), a respirációs kvóciens értéke 1,1 ($RQ = CO_2/O_2$), vagy annál nagyobb, a pulzusszám eléri az életkornak megfelelő maximális értéket (220 – életkor), és a vértéjsav-koncentráció meghaladja a 8 mmol/l feletti értéket.

⁷⁵ Jákó–Martos–Pucsok (1998) i. m.

A többlépcsős tesztek (13. ábra) lényege, hogy a terheléses lépcsők (1–5 perc) között pihenődő (0,5–2 perc) beiktatásával az intenzitás (sebesség, watt) növelésével jutunk el a maximális teljesítményig. A módszer hátránya, hogy a maximális O_2 felvételének mintegy 97–100%-át éri csak el a vizsgált személy. Előnye viszont, hogy lehetőségünk van a pihenődők alatt azon metabolikus (tejsav, sav-bázis) paraméterek meghatározására, amelyek felhasználásával pontosabb információt kapunk az optimális edzéstervezéshez.



13. ábra: Többlépcsős terheléses vizsgálat (3/1' pihenés)

Forrás: a szerző szerkesztése

Spiroergometriás vizsgálatok során mért paraméterek⁷⁶

VE (l/min) = légzési perccventiláció, a ventilált levegő mennyisége literben egy perc alatt. Nyugalomban ennek az értéke 8–16 l/min között mozog, míg terhelés során elérheti edzett sportolónál a 200 l/min feletti értéket is. Értéke függ az életkortól, a nemtől, a testméretektől és az edzettségi, illetve egészségi állapottól.

BF = légzésszám. Értéke nyugalomban 8–16 légzés/perc. Terhelésre felnőtteknél elérheti a 55–60 légzés/perc értéket is, fiataloknál még ennél is magasabb lehet. Értéke függ a kortól edzettségtől és a légzéstechnikától. Ha a légzésszám a 60/min értéket meghaladja, a légzés felületessé válik, nem jut elegendő idő a gázcserére.

⁷⁶ Szóts Gábor: *Biokémia*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 2005.

RQ = respirációs kvóciens. A kilélegzett szén-dioxid és a belélegzett oxigén hányadosa. Értékéből az aerob-anaerob folyamatok arányára lehet következtetni. Ha értéke 1,0 vagy magasabb, akkor a szervezet döntően anaerob úton biztosítja a terheléshez szükséges ATP-mennyiséget.

HR = szívfrekvencia (pulzusszám). Edzés-bradycardiáról beszélünk, ha nyugalomban a pulzusszám 60 ütés/perc alatt van. A maximális érték általában 220 – életkor, de az edzettség mértéke és a mozgásforma jelentősen befolyásolja az értékét.

VO_2 (l/min) = az oxigénfelvétel abszolút értékben. Értéke az életkorral csökken, függ a nemtől, testmérettől, az edzettségi állapottól. Az oxigénfelvétel értékét testtömegre vonatkoztatva alkalmazzuk (VO_2 /kg/min) a vizsgálatok során, így ezek az adatok már kevésbé függenek a testméretektől. Maximális értéke nőknél 60-65 ml/kg/min, férfiaknál 75 ml/kg/min felett is lehet.

VCO_2 (l/min) = a CO_2 -leadás abszolút értéke. A maximális értéke elsősorban a respiratórikus folyamatok szabályozásától függ.

Anaerob átmenet meghatározása

Könnyű terhelés alatt a rendelkezésre álló oxigén mennyisége elegendő ahhoz, hogy a működő izmok számára szükséges energiát a szervezet túlnyomórészt aerob anyagcsere útján állítsa elő. Ha növeljük a terhelést, a rendelkezésre álló oxigén mennyisége már nem elég a szervezet igényének kielégítésére, és megindul az anaerob glikolízis is, nő az izomban és a vérben a tejsav-koncentráció. Ha az intenzitást tovább növeljük, egyre inkább az anaerob energiaszolgáltatás veszi át a fő szerepet, az izomban a tejsavtermelés tovább fokozódik. Az a pont, ahol a tejsav szintje hirtelen emelkedni kezd, az az anaerob átmenet zónája. A szakirodalom ezt a küszöbértéket a 4 mmol/l vértejsav-koncentrációban határozta meg.⁷⁷ Ez az érték azonban egyénenként és sportáganként is változhat.

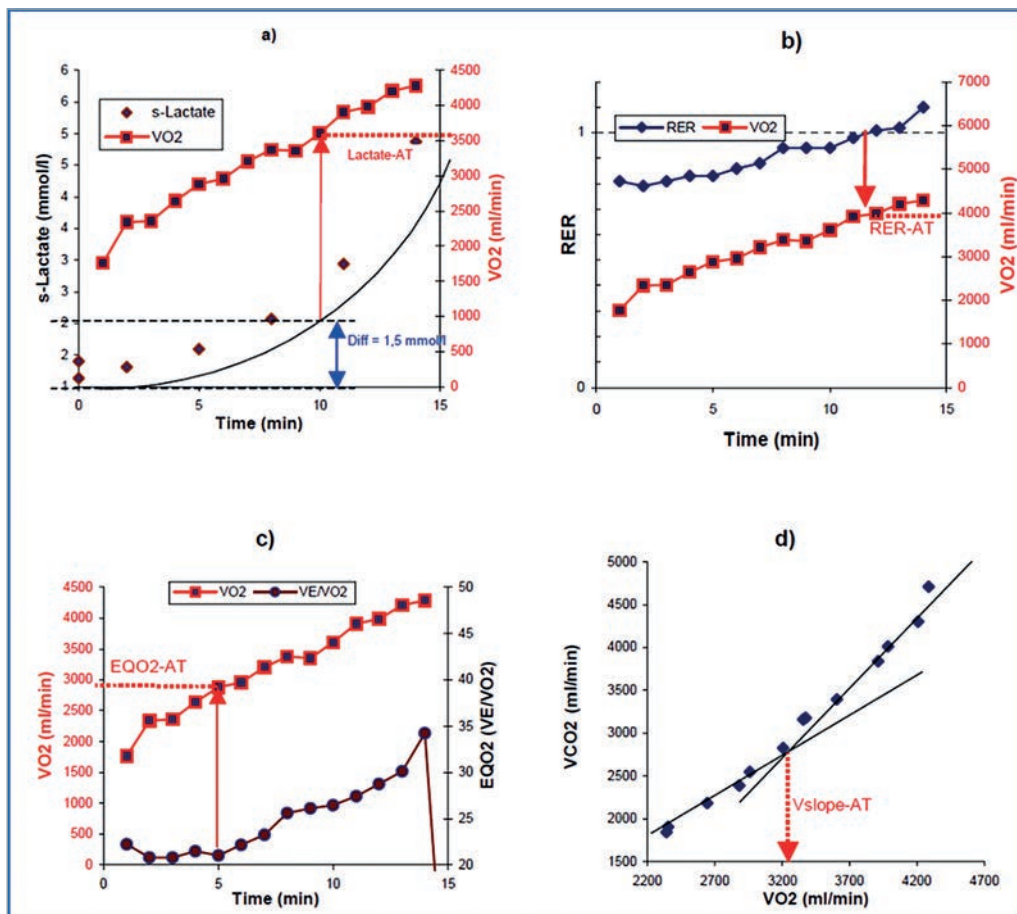
Az anaerob átmenetet noninvazív módon is meghatározhatjuk „vitamax” terhelések során spiroergometriás vizsgálattal. A fizikai aktivitás kezdetén egy ideig a légzés lineárisan nő a terhelésintenzitás emelkedésével, majd az intenzitás további növelésére a ventiláció emelkedése meredekké válik. Azt a határt, ahol légzési percventiláció hirtelen megemelkedik, ventilációs küszöbnek nevezzük.⁷⁸ A ventilációs küszöb meghatározásának további lehetőségei: az $RQ = 1$ értékből, a VO_2 - VCO_2 (Vslope-módszer) vagy a VCO_2 - VE összefüggésből számított átmenetek (14. ábra).

Ahol a légzés fokozódásának linearitása megszűnik, és a VE/VO_2 arány (egy milliliter O_2 -hez szükséges ventilált levegő mennyisége) megemelkedik, légzési küszöbnek nevezzük. Ilyenkor rövid késedelem után a VE/VCO_2 (CO_2 légzési ekvivalens) is nő. A ventilációs küszöb azzal magyarázható, hogy a vér laktátkoncentrációjának növekedése együtt jár a pH csökkenésével és a $paCO_2$ emelkedésével. Mindkét változás stimulálja

⁷⁷ H. Heck et al.: Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6. (1985), 3. 117–130.

⁷⁸ Alfred Aigner: *Sportmedizin in der Praxis*. Springer-Verlag, 1986.

a légzőközpontot. Így alakul ki egyszerre, azonos terhelési intenzitásnál a tejsav- és a ventilációs küszöb.⁷⁹



14. ábra: Ventilációs küszöb meghatározásának lehetőségei és összehasonlítása

Forrás: Solberg et al. 2005 alapján⁸⁰

Szervrendszerek adaptációja

A terheléses vizsgálatok során a szervezet adott intenzitású terhelésre bekövetkező életani válaszreakcióit elemezzük, illetve értékeljük. A szervezetet ért akut és krónikus hatások befolyásolják a vázizomzat, a szív- és érrendszer, a keringés, a tüdő, a légzés,

⁷⁹ Robert A. Robergs – Farzenah Ghiasvand – Daryl Parker: Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287. (2004), 3. R502–R516.

⁸⁰ Geir Solberg et al.: Respiratory gas exchange indices forestimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4. (2005), 1. 29–36.

a kiválasztó rendszer és az idegrendszer szabályozását, működését. Az ingerek gyakoriságától és intenzitásától függ (a genetikai adottságok mellett), hogy az egyes szervrendszerek hogyan alkalmazkodnak (adaptálódnak).

Vázizom⁸¹

A gyakorlatok minőségétől és mennyiségétől függően a rendszeres sportági edzések az izomtömeg gyarapodásához, izomhipertrófiához vezetnek (2. táblázat). Az izomrost-eloszlás nemcsak egy adott izmon belül, hanem az izmok között és az egyének között is rendkívül különböző, az edzés minőségét tekintve (állóképességi, erő- vagy gyorsasági edzés) kismértékben átalakulhatnak, de többnyire genetikailag meghatározottak.⁸² A gyorsasági edzés edzésmódszereit a táblázat mutatja. Állóképességi edzés hatására elsősorban a lassú izomrost mérete növekszik, nő az izmok kapillarizációja (elsősorban a lassú rostokban), nő a mitokondriumok száma és mérete.

2. táblázat: Erőedzés általános edzésmódszerei

Edzés formája	Intenzitás/mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Állandó intenzitás	4–6 sorozat, 4–6 ismétlésszám a max. terhelés 85%-án minden egyes gyakorlatnál Pihenőidő 2' Sorozatok közti pihenőidő 6' Végrehajtás gyorsasága függ a tömegtől	Maximális erő Izomhipertrófia Növeli a motoros egységek számát	48–72 óra
Állandó intenzitás	4–6 sorozat, 10 ismétlésszám a max. terhelés 70%-án Pihenőidő 2' Sorozatok közti pihenőidő 6' Gyors végrehajtás	Explozív erő és gyorsasági erő mérsékelt maximális erővel	48 óra
Gyorserő piramis	$12 \times (50\%) - 2 \times (60\%) - 12 \times (70\%) - 12 \times (60\%) - 12 \times (50\%)$, 4–6 sorozat gyakorlatonként Pihenőidő 2' Sorozatok közötti pihenőidő 6' Gyors végrehajtás	Gyorserő fejlesztés	48 óra
Ellentétes módszer	$8 \times (70\%) - 20 \times (40\%) - 8 \times (70\%) - 20 \times (40\%)$ vagy $8 \times (80\%) - 20 \times (50\%) - 8 \times (80\%) - 20 \times (50\%)$ 6–8 sorozat gyakorlatonként Pihenőidő 1'–2' Sorozatok között 6'	Az ingerek változatossága egyfajta adaptációt idéz elő a neuromuszkuláris rendszerben Maximális és explozív erő alkalmazkodása	48–72 óra

⁸¹ Frenkl Róbert: *Sportélettan*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 1995.

⁸² Jákó–Martos–Pucsok (1998) i. m.

Edzés formája	Intenzitás/mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Kis piramis	$10 \times (70\%) - 8 \times (85\%) - 3 \times (95\%) - 1 \times (100\%) - 3 \times (95\%) - 8 \times (85\%) - 10 \times (70\%)$ 1 piramis gyakorlatonként Pihenőidő 2'–4' Sorozatok közötti pihenőidő 6'	Komplex megközelítése a gyors az explozív és a maximális erőnek	48–72 óra
Széles piramis	$15 \times (60\%) - 12 \times (70\%) - 8 \times (80\%) - 5 \times (85\%) - 8 \times (80\%) - 12 \times (70\%) - 15 \times (60\%)$ 1 piramis gyakorlatonként Pihenőidő 1'–3' Sorozatok közötti pihenőidő 6'	Komplex megközelítése az állóképességnek a gyorsasági erőnek és maximális erőnek	48 óra
Köredzés	20–40 × (40–60%) 20–40 × (40–60%) 20–40x(40–60%) 3-6 sorozat, gyors iramban, pihenőidő 30''–1' Sorozatok közötti pihenőidő 6'	Fő izomcsoportok váltakozva terheltek Anyagcsere folyamatosan terhelt Cél: erő állóképesség fejlesztése	16–24 óra
Állandó intenzitás	3–6 sorozat, a maximális ismétlésszám 60%-ban, 25–40% maximális terheléssel Relatív gyors iram Pihenőidő 30''–1' Sorozatok közötti pihenőidő 6'	Cél: anaerob rendszer fejlesztése erő állóképességgel	16–24 óra
Frekvenciaedzés alacsony	Munkavégzés 1' 20–24 ismétlésszám sorozatonként (45 lökés/perc) Pihenőidő 1'–2' Sorozatok közötti pihenőidő 6'	Gyorsaság fejlesztése az erő állóképességben Hangsúly a maximális ellökésen Anaerob rendszer	16–24 óra
Frekvenciaedzés magas	ua., optimális iram (60–65 lökés/perc)	Hangsúly a mozgás ritmusán	16–24 óra

Forrás: Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

3. táblázat: Gyorsasági edzés edzésmódszerei

Edzés formája	Intenzitás	Mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Reakciószakasz, reakcióedzés	Maximális koncentráció és 100% erőkifejtés	Munka max. 6'' ismétlésszám 6–20 Megnyugvási idő 1'–6'	Kondicionálás és a reakcióidő lerövidítése	24–48 óra
Gyorsulási szakasz Erőedzés összes formája Startgyakorlatok		Munka max. 6'' Ismétlésszám Max. 6 max. 6'	Starthoz kapcsolódó maximális gyorsulás, technika+maximális gyorsulás képessége, neuromuscularis rendszer	ua.
Gyorsulások	Ellenállással vagy ellenállás nélkül 100% felett	Munka 1''–6'' Ismétlésszám 20 felett egy szériában Pihenőidő 1'30''–6', szériák közti pihenőidő 6'	Specifikus erőfeladatok, gyorsulás tökéletesítése, gyors rostok edzése, enzimrendszerek (MK-LDH)	ua.

Edzés formája	Intenzitás	Mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Általános feladatok: Emelkedőn futás Rövid ugrások Mélybeugrások Megállított ugrások	100%	ua.	ua.	ua.
Maximális sebességi szakasz ismétléses forma	100%	Munka 4''–8'' Ismétlésszám 8 felett Pihenőidő 4'–6'	Magas frekvencián végzett mozgás koordinációja, stimulálja a gyors izomrostokat, enzimszisztemek (MK-LDH), foszfát energia rendszer	12–48 óra
Általános feladatok: Gyorsasági munka Koordinációs futás Lejtő és emelkedő futás Szupramaximális futás	100%	Munka 20–60 m Ismétlésszám 10 felett Pihenőidő 4'–6'	Reakció szakasz reakció edzés	ua.
Gyorsasági állóképességi szakasz Rövid-gyors futások	100%	Munka 6''–10'' Ismétlésszám 18–20 egy szériában Pihenőidő 1'30'' a szériák közötti pihenő 6'	Növeli a foszforraktárakat, enzimszisztemek (MK), stimulálja a gyors izomrostokat	12–48 óra

Forrás: Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

Szív- és vérkeringési rendszer⁸³

A vérkeringés központja a szív. A szívizom ritmikus összehúzódása (systole) és elernyede (diastole) révén áramlik a vér az érrendszerben.

Akut terhelés hatására a perctérfogat emelkedik, a vérkeringés felgyorsul, a szív frekvenciája (pulzus száma) és az ütőtérfogat (pulzustérfogat) is jelentősen emelkedik. A terhelés során a szisztolés vérnyomás növekszik, míg a diasztolés vérnyomás nem változik, vagy csökken. A vénás rendszerben raktározódó vér bekerül a vérkeringésbe, ezzel növelve a keringő vér mennyiségét. Létrejön a keringés redisztribúciója is, amely során a gyomor-bél rendszert és a vesét ellátó arteriolák összehúzódnak, míg a vázizom erei kitágulnak. Így a perctérfogat akár 90%-a is átáramolhat a vázizomzaton, fokozva ezzel az oxigénellátottságát. A nyugalmi értékhez képest nő az artériás-vénás oxigén-differencia is.

A különböző típusú terhelések hatására a szív- és vérkeringési rendszerben is eltérő adaptációs folyamatok figyelhetők meg. A bal kamrai átalakulás sportáganként változik az edzés során a szívet érő eltérő intenzitású és tartamú haemodinamikai terhelés hatá-

⁸³ Frenkl (1995) i. m.

sára. Állóképességi sportolókban (kerékpár, sífutás, evezés, kajak-kenu) a szívperctérfogat nagymértékben megnő edzés alatt, a terhelés csúcsán akár 30 l/min is lehet, és ezen a szinten marad az edzés végéig. Ezt a verőtérfogat nagyfokú növekedése teszi lehetővé, ami a csökkent utóterhelés és fokozott előterhelés eredménye. A szisztolés vérnyomás akár 200 Hgmm-ig történő növekedését is észlelték evezősökben egy-egy kimerítő edzés során.⁸⁴ A bal kamrai remodelling állóképességi atlétákban nagymértékű üregnövekedéssel és mérsékelt falvastagodással jellemezhető. Az üregméret abszolút értékei a normál tartomány felső határán kívül eshetnek, nemritkán abba az intervallumba, amely már primer patológiás állapotokkal, mint például a dilatatív cardiomyopathiával is átfedést mutat.⁸⁵ A falvastagság abszolút értékei is általában nagyobbak, mint a nem-sportoló kontrollokban, de csak ritkán haladják meg a normál határokat, és esnek a hipertrófiás cardiomyopathia tartományába.

Erőatlétáknál (súlyemelés, erőemelés, dobó sportok) a vázizomfeszülés jelentősen nő edzés alatt, és ha meghaladja a maximális akaratos kontrakció 70%-át, a perifériás véráramlás szignifikáns csökkenését okozza.⁸⁶ Következésképp a fokozott szimpatikus neurális aktivitás a szisztolés artériás vérnyomás növekedését eredményezi, hogy a véráramlást helyreállítsa.⁸⁷ A vérnyomás-emelkedés mértéke az edzés intenzitásától, a kontraháló izommennyiségtől, valamint a megnövekedett intrathoracalis és intraabdominalis nyomástól függ. Erőatlétáknál a bal kamrai remodelling enyhe falvastagodással (az abszolút értékek nem haladják meg a fiziológias felső határt) és nem számottevő üregméret-változással jár.⁸⁸

A kevert (aerob és anaerob) sportágakban (labdarúgás, jégkorong) az edzés során a rövid, intenzív izomtevékenység (mérsékelt térfogat- és nyomásterheléssel) és a nyugalmi periódus váltakozik egymással. Ezen sportolókban a morfológiai adaptáció az abszolút bal kamra méretének mérsékelt növekedését és enyhe falvastagodását jelenti, amely nem haladja meg a normálértékeket.

A technikai sportágakban (vitorlázás, asztalitenisz, lovassportok) a verseny kritikus szakaszaiban a szívfrekvencia és a szisztolés vérnyomás jelentős emelkedése következik be a szimpatikus aktivitás eredményeként. A vitorlázóknál a versenyeken vagy a lovaglóknál tereplovaglás során a szívfrekvencia akár 200/min is lehet.⁸⁹ Még sincs azonban tartós nyomás- és térfogatterhelés, és nincs jelentős változás a bal kamrai morfológiában sem.

⁸⁴ P. S. Clifford – B. Hanel – N. H. Secher: Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26. (1994), 6. 715–719.

⁸⁵ Pelliccia A. et al.: Upper limits of physiologically induced left ventricular cavity enlargement due to athletic training. *Circulation*, 90. (1994), 1165.

⁸⁶ P. W. Humphreys – A. R. Lind: The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions. *Journal of Physiology*, 166. (1963), 1. 120–135.

⁸⁷ J. H. Mitchell: J. B. Wolfe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22. (1990), 2. 141–154.

⁸⁸ Antonio Pelliccia et al.: Absence of left ventricular wall thickening in athletes engaged in intense power training. *American Journal of Cardiology*, 72. (1993), 14. 1048–1054.

⁸⁹ M. Bernardi et al.: Cardiovascular load in off-shore sailing competition. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*, 30. (1990), 2. 127–131.

Légzőrendszer

A légzőrendszer legfontosabb feladata, hogy biztosítsa a gázcserét (CO_2 , O_2) a külvilág és a szervezetünk között. A gázcsere a lég hólyagocskák és a hajszálerek membránján keresztül diffúzióval történik.

A fizikai terhelés kezdetén a légzés azonnal fokozódik. Ennek szabályozásában számos tényező vesz részt. A szabályozó központ az agytörzsben található, ide fut be az információ a kemo- és mechanoreceptorokból, az izmokból és az agy felsőbb szintjeiből. Innen továbbítódik az információ a légzőizmok és segédizmok felé.⁹⁰ A fizikai terhelés kezdetén az idegi mechanizmusoknak van a legnagyobb jelentősége, ezt követően kapcsolódnak be a humorális tényezők. Ha a terhelés a laktátküszöb alatt zajlik, mivel itt még nem csökken a pH, a légzési stimulust a kemoreceptorokat ingerlő megemelkedett CO_2 -koncentráció jelenti. A laktátküszöb felett zajló terhelésnél a szén-dioxid szintjének emelkedésén kívül a vér pH értékének csökkenése is elősegíti a ventiláció növekedését, bár extrém alacsony pH bénítja a légzőközpontot. Egyes szerzők szerint nem a vér pH-értéke a meghatározó, hanem az intracelluláris pH függ össze a ventiláció fokozódásával.⁹¹

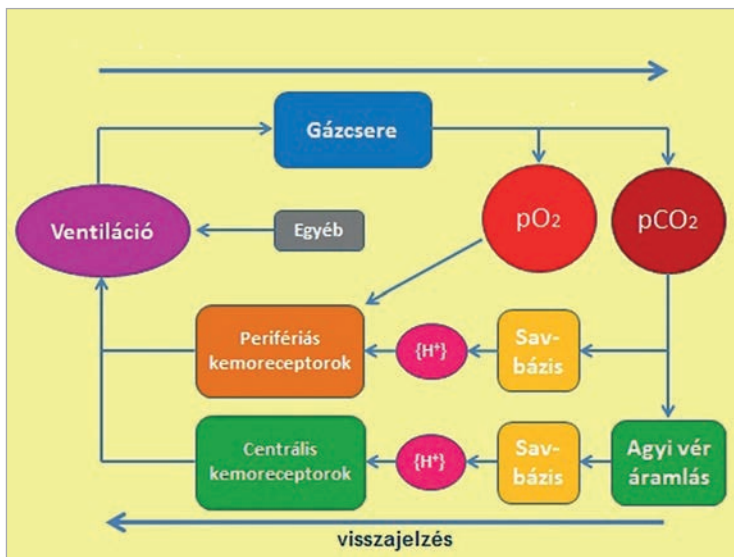
Kemoreceptorok találhatók perifériásan (aortaív, carotis), amelyek a vér CO_2 -, H^+ és pH-értékeire érzékenyek, és centrálisan (medulla oblongata, agytörzs), amelyek a CO_2 -koncentráció változásait érzékelik. Ha a vérben terhelés hatására emelkedik a CO_2 szintje, több CO_2 jut át a vér-agy gáton, és a liquorban H^+ -ná és HCO_3^- -tá alakulva serkenti a légzőközpontot. Ennek hatására fokozódik a ventiláció, amely növeli a CO_2 -eliminációt a tüdőn keresztül.⁹²

Akut terhelés során a ventiláció azonnali emelkedése jön létre, nő a légzési frekvencia és a légzési volumen. A fizikai terhelés kezdetén a légzés azonnal fokozódik. A szabályozás központjai az agytörzsben, a híd és a nyúltvelő felső szélénél találhatóak, ide futnak be az információk a kemoreceptoroktól. A terhelés alatt bekövetkező ventilációváltozás elsősorban a vér pO_2 és pCO_2 változásának az eredője. A vér pO_2 -változása közvetlenül a perifériás kemoreceptorokra hat, míg a vér pCO_2 változása mindkét szabályozó rendszert érinti, de csak közvetve, az agyi véráramláson, illetve a sav-bázis rendszeren keresztül (15. ábra).

⁹⁰ Fonyó Attila: *Az orvosi élettan tankönyve*. Budapest, Medicina, 2011.

⁹¹ N. L. Jones: Hydrogen ion balance during exercise. *Clinical Science*, 59. (1980), 2. 85–91.

⁹² P. N. Ainslie – J. Duffin: Integration of cerebrovascular CO_2 reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296. (2009), R1473–R1495.



15. ábra: A ventiláció kemoreflexes szabályozása

Forrás: Ainslie–Duffin (2009) i. m. alapján

A tüdő alkalmazkodási reakciói kevésbé feltűnőek, mint a szív- és keringési rendszerben végbemenő változások. Rendszeres edzés hatására a légzés gazdaságossága és a légzési küszöb is javul, de ezért inkább az anyagcsere-folyamatok adaptációja és a kardiovaszkuláris funkció javulása a felelős. Maximális terhelésnél a nagyobb ventilációt a légzésmélység növekedése okozza, mivel a légzési frekvencia csak kismértékben változik.

Az állóképesség, vagyis a kardiopulmonális rendszer fejlesztésére alkalmazható módszereket a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: Edzés módszerek az állóképességi edzéshez

Edzés formája	Intenzitás	Mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Állóképességi edzés Extenzív	Általában: HR 180–életkor Elit sportolók: HR anaerob küszöb–20	Min. 45’ Min. 3×/hét	O ₂ -kihasználás, keringés, szívizom, kapillarizáció, vér- nyomás-szabályozás glykogénfeltöltés, enzimrendszerek, aerob teljesítmény	6 óra
Fartlek	Általában: HR steady state állapot körül Elit sportolóknál: rövid távon az anaerob küszöb felett (10”–20”), hosszabb távon az ana- erob küszöb alatt	ua.	ua.	ua.

Edzés formája	Intenzitás	Mennyiség	Hatás	Regenerációs idő
Intenzív állóképesség	Általában: max. HR-nyugalmi HR Elit sportolóknál: anaerob küszöb körül	6x4'-3x20'	aerob teljesítmény	12-48 óra
Extenzív intervall Klasszikus forma	Általában: HR munka után 180, megnyugvás után 120 Elit sportolóknál: HR az anaerob küszöb fölött (4 mmol/l)	Munka 20"-60" egy szériában 40 ismétléssel Pihenő 1'-1'30", a szériák közötti pihenő 5'-6'	ua., de fő hatása a kardiovaszkuláris rendszere van	24-36 óra
Modern forma	Általában: HR munka után 180, megnyugvás után 125-140 Elit sportolóknál: munka végén az anaerob küszöb felett	Munka 3' felett, 20 ismétlésszámmal egy szériában Pihenő 1'-2', szériák közti pihenő 6'	kardiovaszkuláris rendszer	24-36 óra
Intenzív intervall Tömbös edzés	HRmax 90-100% (220-életkor)	Munka 15"-45" 18-20 ismétlésszámmal egy szériában Pihenő 30"-90", szé- riák között 6'-8' pihenő	max. O ₂ felvétel, tejsavpuffer-kapacitás, enzimrendszer (LDH), hormonrendszer, anaerob tejsavas energi- arendszer	48-72 óra, ami függ az izom- sejt-károsodástól
Interval iram	Maximálisan 80-90%	Munka 1'-3' ismét- lésszám 8-12 Meg- nyugvás 3'-6'	ua.	ua.

Forrás: Gemser – de Koning – van Ingen Schenau (1999) i. m. alapján

A túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség és a fizikai felkészültség

Több kísérlettel bizonyított a fizikai felkészültség különböző összetevőinek és az emberi szervezet munkavégző képességének jelentősége a túlterhelések elviselésében. Többek között egzaktan bizonyított szignifikáns a kapcsolat a túlterhelések elviselése és a hasprés izomereje között. Ennek a ténynek a magyarázata az, hogy a jól fejlett izomzattal rendelkező emberek hatékonyabban tudnak ellenállni a belső szervek elmozdulásának a hasprés és a lábizmaik megfeszítésével.⁹³

A túlterhelés elviselése szempontjából nagy jelentőséggel bírnak bizonyos presszor-depresszor mechanizmusok, amelyek a túlterhelés természetes hatására a repülés és a speciális felkészülés során alakulnak ki. Élettani és pedagógiai kísérletekkel bizonyították, hogy a speciális felkészítés eszközeivel jelentősen növelhető a szervezet kompenzációs képessége a pozitív túlterhelésekkel szemben.

Az eddigiekből következik, hogy a tűrőképesség mértéke egyenes arányban áll a fizikai felkészültség összetevőivel. Ezért megfelelő irányú fizikai felkészítéssel jelentősen fejleszthető e képesség.

⁹³ Вейднер-Дубровин Л. А. et al.: *Вопросы научного обоснования физической подготовки в Вооруженных Силах СССР*. ВДКИФКиС, Москва, 1964.

Mivel a korszerű harci gépeken történő repülés alatt a túlterhelések hatása jelentős mértékben megnőtt, fokozott figyelmet kell szentelni olyan gyakorlatok rendszeres végrehajtására, amelyek a has-, törzs- és lábizomzatot erősítik, és növelik ezeknek az izomcsoportoknak a statikus terhelhetőségét.⁹⁴ A fizikai kiképzés eszközeinek gyakorlati hatékonyságát sok tudományos kísérlet bizonyította. A speciális felkészítés eredményességét vadászrepülőgépeken végzett repülési kísérletekkel vizsgálták, amelyek során a gépekbe automatikus túlterhelés-regisztráló, valamint a kardiorespiratórikus és kardiovaszkuláris rendszerek működését regisztráló műszereket építettek be. A kísérletekkel kapott adatok hatáselemzése alapján állapították meg a speciális felkészítés azon eszközeit, amelyek a túlterhelésekkel szembeni tűrőképességet növelték. (5. táblázat)⁹⁵

5. táblázat: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése fizikai felkészítéssel

		Edzésszerek										
Az edzéshatás összetevői		Centrifuga	Tornakerek	Ugróasztal	Szökdeléspárolábon	Görgőgyakorlatok	Szertorna (különböző szerek)	Hasizomerősítő gyakorlatok	200 m síkfutás	50 m úszás	25 m búvárúszás	Műugrás
A terhelés nagysága	Ismétlésszám vagy a gyakorlatok végrehajtási ideje foglalkozásonként	4-6 gyak. hely (30 s)	30 fordulat	30-50 elem	75-100	30-40	10-15 gyakorlat	15-30	2-4	4-6	3-5	10-15
A gyakorlatok edzéshatásának jellemzői	A túlterhelés nagysága és összehatásideje	5-6 g 3-4 s	4-5 g 10 s	1,5-3 g 5-8 s	3-4 g 7-10 s	±1 g 1-2 min	±1 g 0,5-1 min	–	2-3 g 20–40 s	–	–	2-4 g 3 s
	Kardiovaszkuláris terhelés a pulzusszám alapján	140-200	120-170	130-180	140-190	100-130	90-120	90-120	160-220	150-200	120-170	100-120
	A terhelés hatása a láb- és hasizmokra	++*	+	++	++	+	+	++	++	++	++	–
	A terhelés hatása a légzőrendszerre	++	+	+	+	+	+	+	++	++	++	–
	Mellkasi légzés szükségessége	++	–	–	–	–	+	++	–	++	++	–
Edzéshatékonyság	A túlterheléssel szembeni tűrőképesség növekedése	6-7 g-ig**	6-7 g-ig	+	+	+	+	++	++	+	+	+
	Gyorsasági állóképesség fejlődése	++	–	+	++	–	–	–	++	++	+	–
	A hasprés izomerejének növekedése	+	+	+	++	–	+	++	++	+	+	–
	Akarati tulajdonságok fejlesztésének lehetősége	++	++	++	–	–	+	–	+	+	++	++

* – a hatékonysági fok: ++: nagy; +: kicsi; –: jelentéktelen. ** – a túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség jelentős növekedése azoknál volt regisztrálható, akiknek nem volt repült órájuk nagy túlterheléssel.

Forrás: a szerző szerkesztése

⁹⁴ Szportyivnaja Medicina. 1987. Fizkultura I Szport. Moszkva.

⁹⁵ Dunai Pál: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése a fizikai felkészítés eszközeivel. *Repüléstudományi Közlemények*, 10. (1998), 25. 17–23.

A tűrőképesség mértéke a maximális és szubmaximális erőteljességi övezetek munkavégző képességének nagyságával egyenesen arányos, ezért elengedhetetlen a pilóták és a hallgatók speciális felkészítése során a rövid- és a hosszútávutások alkalmazása. A futóedzések a gyorsasági állóképesség növekedéséhez vezetnek, amelynek fejlettségi szintje a lehető legteljesebben jellemzi a kardiovaszkuláris rendszer működését.⁹⁶ Az elvégzett kísérletek adatai szerint a 200 m-es síkfutás eredménye és a maximális légzésvisszatartási képesség nagymértékben jellemzik a túlterhelésekkel szembeni tűrőképességet.

Fontos kiemelt figyelmet szentelni a terhelésre adott védelmi reakciók és kompenzáló mechanizmusok fejlesztésére is. Ez speciális eszközökön végzett edzésekkel és olyan gyakorlatok végrehajtásával érhető el, amelyek a test három dimenzióban történő mozgásával járnak (akrobatikus gyakorlatok). Pozitív hatás érhető el a mellkasi légzés képességének kialakításával, és ha ezt összekapcsoljuk a láb- és hasizmok statikus terhelésével.

Túledzettség

Túledzettségről akkor beszélünk, amikor váratlan teljesítménycsökkenés következik be állandó vagy fokozott terhelés hatására. Ez az állapot a terhelés és a regenerációs idő közötti hosszú távú kiegyensúlyozatlanságnak köszönhető. A kezeletlen túledzettség a túledzettségi szindrómához vezethet, olyan állapothoz, amelyet a folyamatos fáradtság és a kimerültség tünetegyüttese jellemez. A túledzettség és a túledzettségi szindróma neuroendokrinológiai, immunológiai és pszichológiai elváltozások sokaságát indukálja. Az eltérő klinikai tünetek miatt, nagyon sok egymással részben ellentmondó hipotézis keletkezett már a túledzettség eredetével kapcsolatban.⁹⁷ A legfontosabbak a következők: Pszichés teória, Monotónia hipotézis, Glikogén depleciós hipotézis, Neuro-endokrin disbalance elmélet, Citokin elmélet.

A klinikai tünetek alapján kétféle túledzettséget különböztetünk meg: a szimpatikust és a paraszimpatikust.

- A szimpatikus túledzettség tünetei:
 - terhelés utáni mérsékelt pulzusmegnyugvás;
 - magas nyugalmi pulzus;
 - korai elfáradás;
 - étvágycsökkenés, tömegvesztés;
 - gyenge sportteljesítmény;
 - izomfájdalom;
 - nyugtalan alvás;
 - idegesség, ingerlékenység;
 - fokozott izzadás, veritékezés.

⁹⁶ Frenkl (1995) i. m.

⁹⁷ Roger Vogel: „Übertraining”: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 49. (2001), 4. 154–162.

- A paraszimpatikus túledzettség tünetei:
 - terhelés utáni normál vagy gyors pulzusmegnyugvás;
 - alacsony nyugalmi pulzus;
 - normál étvágy, állandó testtömeg;
 - gyenge sportteljesítmény;
 - depresszió, letargia;
 - fáradtság;
 - aluszékonyság;
 - alacsony vérnyomás;
 - alacsony vércukorszint;
 - terhelést követő alacsony tejsav-koncentráció.

Állandó fáradtsággal és csökkent teljesítménnyel járó kórképek		
Leginkább előforduló	Kevésbé gyakori	Ritkán előforduló
• allergia • terhelés indukált asztma • alvászavar • vashiányos anaemia • teljesítménykényszer • fertőzések akut mononucleosis légúti, húgyúti fertőzés • túledzettség • hangulat ingadozás	• dehidráció • diabetes • táplálkozási zavar • hepatitis • hydrothyroidism • krónikus fertőzések • gyógyszer mellékhatás • táplálkozás ↓ CH / fehérje	• endokrin betegség • mellékvesevelő ↓ ↑ • szívbetegség • HIV • malabszorpció • tüdőbetegség • tumorok • vesebetegség • neuromuskális betegségek

16. ábra: Állandó fáradtsággal, csökkent teljesítménnyel járó kórképek

Forrás: Noel McCaffrey: *Overtraining* (PowerPoint-bemutató) alapján a szerző szerkesztése

A paraszimpatikus tünetegyüttes nagyon hasonlít a szervezet terhelésre bekövetkezett adaptációjára, így nagyon nehéz a differenciál diagnózisa. Az eltérő tünetek ellenére közös bennük a teljesítménycsökkenés. Ergom-es vizsgálatok során a túlterhelés hatására a kerékpárosoknál a maximális pulzusszám, akár 5 ütés/perccel csökkent, míg a maximális teljesítmény is 3%-kal csökkent. Női állóképességi sportolóknál a futószalagos teszten a maximális sebesség csökkenése és a $VO_2\max$ 4%-os csökkenése mellett egyéb, nem

specifikus tüneteket (például alvásproblémákat) figyeltek meg.⁹⁸ A túledzetségnél két állapotot különböztetünk meg, a túlterhelést és a túledzetségi szindrómát. A túlterhelés során a pihenés hatására a szervezet rövid idő alatt teljesen regenerálódik (max. 1-2 hét), míg a túledzetségi szindróma esetén a pihenés ellenére sincs megfelelő regeneráció, a teljes javulás akár több hónapot is igénybe vehet.⁹⁹

A túlterhelés, túledzetség nem mérhető egyetlen paraméterrel, több különböző vizsgálat szükséges a diagnózis felállításához. A túledzetség diagnosztizálása előtt ki kell zárni a hasonló tüneteket okozó, szervi eredetű megbetegedéseket. (16. ábra) A túledzetség megelőzésében gondosan előre meghatározott napi-, hetirendre van szükség optimális terhelés-időtartammal és megfelelő pihenőidőkkel.

A kifáradás elemi és járulékos tényezői a repülésben

Külön kell elemezni a tartós munkavégzésből fakadó szellemi teljesítménydeficitet. A valós repülést végrehajtó harci pilótánál (például bombázóbevetésen) jól ismert probléma a hosszú távú repülés közben fellépő idegi fáradtság és testi vegetatív tünetek jelentkezése. Németországban az EuroHawk operátorai 3×8 órás missziós időbeosztással hajtották végre feladataikat, a Predator harci/bombázó pilóták 12 órás misszió esetén 2 fős személyzetként, 2 óránként váltották egymást.

Az UAV-operátorok munkája során szintén jelentkezhetnek a folyamatos munkavégzés okozta problémák: felborul a 24 órás napi munkarend és a munkahét ciklusa, miközben a folyamatos váltáshoz szükséges állomány általában nem áll rendelkezésre. Ennek következtében a kognitív éberség, mentális reakcióképesség adott napszakhoz köthető szintje felborul az alvás és munkafázis rendszertelen változásával. A hosszantartó UAV-műveletek és az aktív munkaidőszak napszaki vándorlása aktív Predator-pilótánál is okozott már hirtelen teljesítménycsökkenést, a műveleti helyzet átláthatóságának elvesztését és „bealvást”. A kognitív éberség időbeli alakulását függvényként felfogva számos algoritmust dolgoztak ki különböző változókkal, ahol a legfontosabbak: a pilanatnyi teljesítménypotenciál, a teljesítményhanyatlás időgörbéje, az alvás alatti regeneráció időgörbéje és a napszaki együtharó értéke. Ezeket együttesen a napi ébrenlét és alvás mennyiségi viszonya határozza meg, amelyek alapján komplex kockázatelemzés végezhető az elemi és járulékos domének tényezőinek súlyozott analizisével. (17. ábra)

⁹⁸ U. Hartmann – J. Mester: Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32. (2000), 1. 209–215; valamint Axel Urhausen – Wilfried Kindermann: Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Medicine*, 32. (2002), 2. 95–102.

⁹⁹ W. P. Morgan et al.: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21. (1987), 3. 107–114.



17. ábra: A kifáradás elemei és járulékos tényezői

Forrás: Szabó kutatói jelentése alapján¹⁰⁰

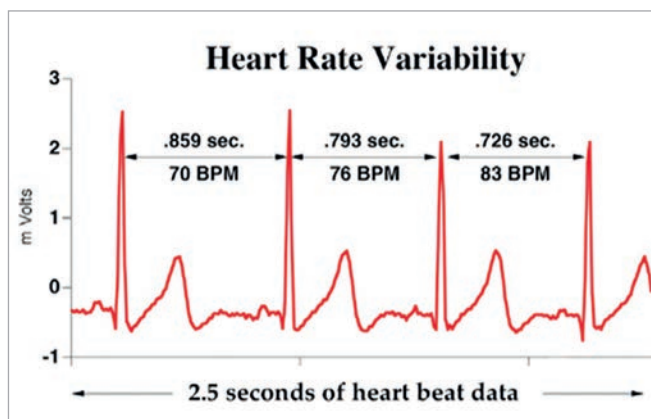
A nappali és éjszakai műszakperiódust összehasonlítva megállapítható, hogy az éjszakai műszak (22 óra 30 perc és 07 óra között) első nyolc napjában a munkahatékonyság a kritikus 75% alá csökkenhet. A felmérés nem veszi figyelembe az egyéni különbségeket és a gyógyszeres, pszichostimulánsok okozta teljesítménynövekedést, és adatait természetesen valódi műveleti körülmények között elvárt és mért teljesítményadatokhoz kell hasonlítani.

A szívfrekvencia-variabilitás (HRV)

A túlterhelés diagnosztikájában az individuális értékeléshez a rendszeres orvosi ellenőrzés mellett a szívfrekvencia-variabilitás (HRV) vizsgálata is nagy segítséget adhat. A HRV összetett élettani mutató, amelyet a szív spontán elektromos ingerképzésében meghatározó szinuszcsomó pacemakersejtjeinek ingerleadási frekvenciája határoz meg.¹⁰¹ Az egyes szívösszehúzódások (az EKG-n az R hullám) nem pontosan azonos időben követik egymást. (18. ábra)

100 Szabó Sándor András: *UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek virtuális környezetben*. Kutatói jelentés III. Nemzeti Közzolgálati Egyetem, TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata.

¹⁰¹ Kovács Levente: *Akut és krónikus stressz vizsgálata tejelő teheneken a szívritmus változékonyság meghatározásával*. PhD-értekezés, Gödöllő, 2014.



18. ábra: R–R-távolságok változása nyugalomban

Forrás: a szerző szerkesztése

A légzésciklus, a légzési aritmia, a testhelyzetváltozás, bármely külső inger kiváltotta stressz, a mozgás, a genetikai adottságok is befolyásolják az egymást követő R–R-távolságok különbözőségét. Az ezt leíró módszer a szívfrekvencia-változékonyság elemzése (HRV- [Heart Rate Variability] analysis).

A HRV módszerét az orvostudományban csak az 1980-as évek végétől kezdték kutatni. Többen is igazolták, hogy a HRV egyéb élettani változóktól függetlenül értékelhető előrejelzője az akut szívizominfarktus után bekövetkező hirtelen szívhalálnak.¹⁰²

A szervezet vegetatív válaszát a szimpatikus és paraszimpatikus aktivitás mindenkori egyensúlya határozza meg, így önmagában a pulzusszám mérése nem minden esetben tájékoztat pontosan a viselkedés hátterében zajló idegrendszeri folyamatokról. A pulzusszám növekedését, bár többnyire a szimpatikus tónus erősödése okozza, eredményezheti a vagus tónus csökkenése és a két idegrendszeri ág együttes változása is.¹⁰³

Lineáris elemző rendszer

A HRV *lineáris dinamikájának vizsgálatára* számos módszert fejlesztettek ki. A legtöbb szerző az *időtartományban* számolt paramétereket tartja a legegyszerűbb kifejezési módnak.¹⁰⁴ A szívverések közötti időtartamok változékonyságát a HRV jelzőszámaival határozhatjuk meg, amelyek közül egyesek a vagus, míg mások a szimpatikus idegi

¹⁰² R. E. Kleiger et al.: Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59. (1987), 4. 256–262.; P. K. Stein et al.: Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 16. (2005), 1. 13–20.

¹⁰³ Robert M. Carney – Kenneth E. Freedland: Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76. (2009), 2. 13–17.

¹⁰⁴ Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 1043–1065.

aktivitást jelzik. Ezek a mutatók az R–R-adatsorok különbözőféleképpen számított statisztikai változékonyságát fejezik ki, ezért az időtartományban végzett elemzést a HRV statisztikai értékelésének is nevezik. Leginformatívabb jelzőszáma az RMSSD, amely a szív működés rövid távú változékonyságát tükrözi, és a vagus tónus jelzője.¹⁰⁵ Az SDNN és a vele szoros korrelációban lévő SDANN a szív működés hosszú távú változékonyságát tükrözik, és értéküket a szimpatikus és a paraszimpatikus idegrendszeri hatások egyaránt befolyásolják.

6. táblázat: Időtartományban számolt paraméterek

Jelzőszám	Meghatározás
SDNN (ms)	Az R–R-távolságok teljes jelszakaszra számított szórása
SDANN (ms)	Az 5 perc alatt érzékelt R–R-távolságok átlagértékeinek szórása
SDNN _{index}	A teljes jelszakasz 5 perces szakaszai alatt érzékelt R–R-távolságok szórásainak átlagértéke
HR (min ⁻¹)	A HR-értékek egy adott jelszakaszra számított átlaga
STD (min ⁻¹)	A HR-értékek szórása
RMSSD (ms)	A szomszédos R–R-távolságok különbségének négyzetgyöke
NN50 count	Az egymástól 50 ms-nál nagyobb mértékben eltérő R–R-távolságok száma

E mutatók könnyen számíthatóak, azonban kevésbé informatív paraméterek a stressz vizsgálata szempontjából.¹⁰⁶ Az NN50 count értékei szoros összefüggésben állnak az RMSSD-jelzőszámmal, és humán vizsgálatokban jól mutatják a paraszimpatikus tónus változásait.

Az R–R-távolság különbségek teljesítményeloszlása a frekvencia függvényében a power-spektrum domain (PSD-) módszer; ez az eljárás először elvégzi az adatsorok lineáris interpolációját, majd ezeket az újrászámolt adatokat gyors Fourier-transzformáció (Fast Fourier Transformation, FFT) segítségével harmonikus összetevőire bontja, és frekvenciatartományban ábrázolja. Az R–R-távolságok négyzetében fejezi ki a teljesítményt, és a frekvenciatartományok teljes teljesítményhez való hozzájárulását százalékokban fejezi ki.¹⁰⁷

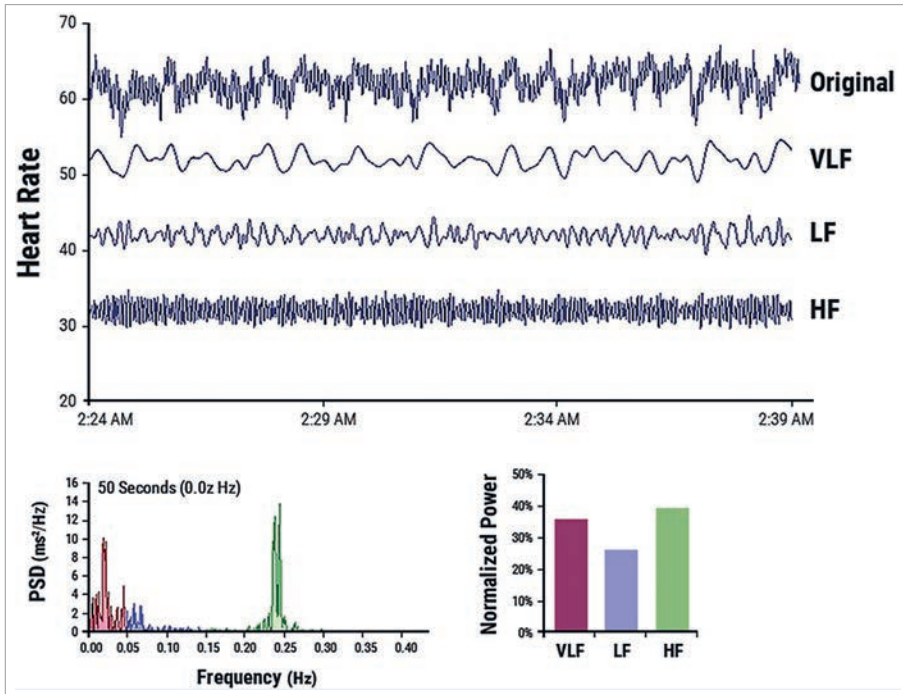
Az R–R-sorozat rövid távú ingadozásai a HRV-spektrum három tartományában pontosulnak. (19. ábra) A frekvenciaanalízis egy speciális formája a teljesítményanalí-

¹⁰⁵ J. L. Kanters et al.: Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. *Cardiovascular Research*, 31. (1996), 400–409.

¹⁰⁶ E. von Borell et al.: Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals: a review. *Physiology and Behavior*, 92. (2007), 293–316.

¹⁰⁷ Varga-Pintér Barbara et al.: Chen-stílusú Taiji gyakorlók nyugalmi szívfrekvencia-variabilitása és edzés közben mért pulzusszám változása. *Sportorvosi Szemle*, 51. (2010), 4. 117–156. 123.

zis. Praktikussága miatt a rövid idejű felvételeket gyakrabban alkalmazzák, alaposabb vizsgálatra azonban a 24 órás felvétel alkalmasabb.



19. ábra: Teljesítményanalízis

Forrás: a szerző szerkesztése

A High Frequency (HF, nagy frekvenciájú) $\geq 0,15$ változások, a légzésváltozásnak (légzési aritmia) köszönhetőek, és kizárólag a Vagus-tónus (X. agyideg) változásaiból adódnak, mivel a paraszimpatikus blokádnak (atropin) megszünteti a HF-csúcsot, míg alfa- vagy béta-blokkolók vagy a renin-angiotenzin blokádnak nem befolyásolják a HF-komponens értékét. A légzésszám változásával a szinusz aritmia megfelelően a spektrális értékek is változnak, azaz a HF kisebb légzésszámnál kisebb, nagyobb légzésszámnál nagyobb értéket vesz fel. Ezért az értékelésnél figyelembe kell venni a percnkénti légzésszámot is.

A Low Frequency (LF, alacsony frekvenciájú) sáv 0,004–0,15 Hz, ami az artériás nyomás változása miatt alakul ki; kimutatták azt is, hogy az LF-mutató a vérnyomás periodikusan jelentkező úgynevezett Mayer-hullámain tükrözi az R–R-sorozatban¹⁰⁸ a vérnyomás szabályozásában szerepet játszó baroreflex révén.¹⁰⁹ Az LF változásait a szimpatikus és paraszimpatikus hatások együtt alakítják.

¹⁰⁸ K. F. Morris et al.: Respiratory and Mayer wave-related discharge patterns of raphé and pontine neurons change with vagotomy. *Journal of Applied Physiology*, 109. (2010), 189–202.

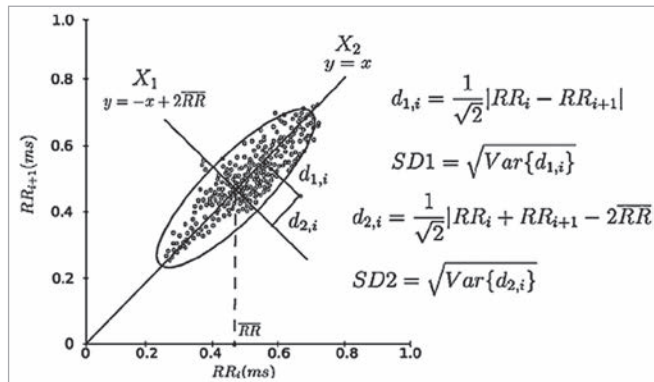
¹⁰⁹ R. I. Kitney et al.: Transient interactions between blood pressure, respiration and heart rate in man. *Journal of Biomedical Engineering*, 7. (1985), 217–224.

A Very Low Frequency (VLF, nagyon alacsony frekvenciájú) sáv $\leq 0,04$ Hz, a perifériás vazomotoros aktivitásnak köszönhető, változásait szintén a szimpatikus és paraszimpatikus hatások együtt alakítják.

Az LF-HF arány a két rendszer aktuális viszonyát mutatja, így a vegetatív egyensúlyra utal.

Geometriai elemző módszer

A HRV Poincaré-grafikonnal való elemzése az úgynevezett geometriai elemző módszerek egyike. Eredményességét és pontosságát nem befolyásolja a rögzített adatok minősége, ezért jó alternatívája az olykor nehezebben értelmezhető, idő- vagy frekvenciatartományban számított paramétereknek.¹¹⁰ A grafikon minden R–R-távolsághoz az azt követő R–R-távolságot rendeli hozzá. Elemzésének egyik leggyakrabban alkalmazott módja az ellipszisteknika, amely során az ellipszist az úgynevezett azonosság-egyenesre (az X és az Y tengely metszéspontjából kiinduló, azokkal 45° -os szöget bezáró egyenes) fektetjük (20. ábra). A pontok azonosságegyenesre merőleges szórásával (standard deviation 1, SD1) az R–R-távolságok rövid távú változékonysága írható le, amelyet a légzési aritmia okoz, és a paraszimpatikus tónus mutatója. Az azonosságegyenessel párhuzamos szórás (standard deviation 2, SD2) a szív működés hosszú távú változékonyságát írja le, és a szimpatikus aktivitás jelzőszáma. Az SD2/SD1-mutató matematikailag egyenértékű az LF/HF-paraméterrel, és azzal szoros korrelációban van.¹¹¹



20. ábra: HRV elemzése geometriai módszerrel

Forrás: Dos Santos et al. 2013 alapján¹¹²

¹¹⁰ Michael Brennan – Marimuthu Palaniswami – Peter Kamen: Poincare plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *American Journal of Physiology*, 283. (2002), 1873–1886.

¹¹¹ Przemysław Guzik et al.: Correlations between the Poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *Journal of Physiological Sciences*, 57. (2007), 1. 63–71.

¹¹² Laurita dos Santos et al.: Application of an automatic adaptive filter for heart rate variability analysis. *Medical Engineering Physics*, 35. (2013), 12.

Nonlineáris elemző rendszer

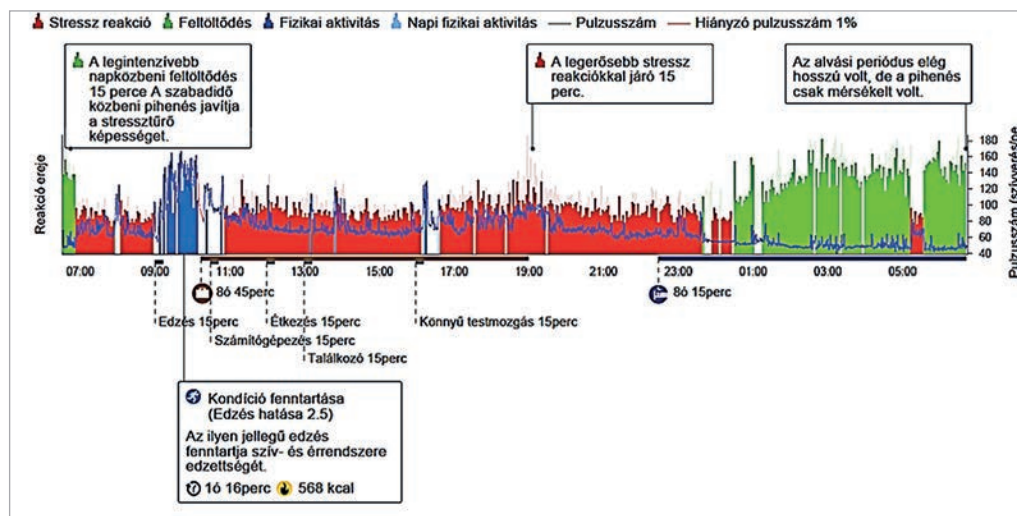
Mára már elfogadottá vált az a korábbi feltevés, hogy a HRV létrejöttében olyan nem-lineáris jelenségek is szerepet játszanak, amelyek kialakulásáért az összetett haemodinamikai, elektrofiziológiai és hormonális kölcsönhatásokban mutatózó változékonyság éppúgy felelős, mint a vegetatív és központi idegrendszeri irányítás.¹¹³ Ezen alkotóelemek elemző módszereit azonban még nem alkalmazzák általánosan, és a kapott eredmények értelmezése is vitatott.

HRV mérésére alkalmas eszközök

Kifejezetten nyugalmi mérésekre alkalmasak az orvosi gyakorlatban használatos készülékek (Vicardio, Cardio Scan, Viport), amelyek szabványos EKG-felvétel mellett analizálják a szívfrekvencia-variabilitást (HRV). Az EKG mint időfüggvény, valamint a pulzusfrekvencia spektruma tájékoztat a szív pszichikai és fiziológiai terhelésének mértékéről, így detektálható az egyéni szív stressz faktor, amely megemelkedett stresszérték esetén felhívhatja a figyelmet a megelőzés fontosságára, életmód-tanácsadásra vagy orvosi konzultáció szükségességére. Szabadidő- és versenysportban nemcsak nyugalomban, hanem terhelések során is jól alkalmazhatók az egyes cégek (Polar, Garmin) által, a pulzusmérő órákhoz kifejlesztett HRV-analizáló szoftverek, amelyek különböző algoritmusok alapján offline módban számolják, értékelik és ábrázolják a kapott adatokat. Az adókészülék egy mellkasi hevederbe, míg a vevő rendszer egy karórába van beépítve, amelyet a mérések végén számítógéphez kell csatlakoztatni az eredmények megjelenítése és kiértékelése céljából.

Új generációs fejlesztés a finn Firstbeat Technology Ltd. „Bodyguard2” készülék. Akár 6 napig képes rögzíteni a szervezet fiziológiás jellemzőit. A mozgásszenzoros mérés eredményeként kétféle adatcsoport (állandó és változó) képződik. Az állandó (skaláris) adatok számított, elméletileg lehetséges értékek, és a szervezet fizikai képességeit, állapotát írják le, a változó adatok, a műszer által regisztrált, az aktuális testállapotot jellemző értékek másodpercenkénti bontásban. A nyers HRV-adatokat további feldolgozás céljából közvetlenül kiexportálhatók csv- vagy sdf-formátumokban. A hatalmas tömegű adatból különböző szintű aggregálással nyerhetők ki a leíró jellegű eredmények. Az elemzések során konzisztenciavizsgálatokat lehet végezni, azaz a mért adatokat összevethetjük és elemezhetjük a tevékenységnaplóban szereplő bejegyzésekkel. (21. ábra)

¹¹³ Thomas, G. Farrell et al.: Risk stratification for arrhythmic events in post infarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and signal averaged ECG. *Journal of American College of Cardiology*, 18. (1991), 3. 687–697.



21. ábra: Bodyguard2 elemző felülete

Forrás: a szerző szerkesztése

A „Bodyguard2” alkalmas több személy egyidejű monitorozására, real time analízis végzésére, speciális terhelési igények kiszolgálására.

HRV edzettségi mutatói

Egy kísérleti edzőtáborban a reggelente megismételt HRV-analízis alapján szabták meg az aznapi edzésterhelést, törekedve az értékek visszaállására a kiindulási szintre. Az ilyen módon edzett sportolók aerob kapacitása és teljesítőképessége nagyobb mértékben fejlődött, mint az előre elkészített edzéstervet teljesítőké.¹¹⁴

A különböző szupramaximális (anaerob) edzésfajták eltérő HRV-képet mutatnak.¹¹⁵ Az egyenletes és az intervall terhelések az intenzitástól is függően akár fél óráig elhúzódó és némileg különböző változásokat váltottak ki a futókon, az azonos intenzitású folyamatos terhelést nagyobb mérvű eltolódás jellemezte, mint a szakaszos futást.¹¹⁶

A „klasszikus” küszöbök megállapítása a HRV révén még igazolásra szorul, noha élettani megfontolások és tapasztalások mutatják, hogy a vagus aktivitás megszűnik egy bizonyos terhelésintenzitás felett, de ezt helyesebb vagustónusküszöbnek nevezni.¹¹⁷

¹¹⁴ Anti M. Kiviniemi et al.: Endurance training guide individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal Applied Physiology*, 101. (2007), 6. 743–751.

¹¹⁵ M. Buchheit et al.: Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40. (2008), 2. 362–371.

¹¹⁶ P. Kaikkonen – J. Rusko – K. Martinmaki: Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine in Science and Sports*, 18. (2008), 4. 511–519.

¹¹⁷ Apor Péter – Petrekanich Máté – Számadó Júlianna: HRV-analízisről a sportban és a klinikumban. *Orvosi Hetilap*, 150. (2009), 18. 847–853.

A túledzés diagnózisa, jellemzése élettani mutatókkal ma sem megoldott feladat. *Borresen és Lambert* a HRV-mutatók terhelés utáni megnyugvásának sebességét tartják ígéretes információnak az edzésvezetésben.¹¹⁸

Összefoglalás

A fizikai képességek nagy hármasában (erő-gyorsaság-állóképesség) gyakran túlhangsúlyozzuk a repülés extrém munkakörülményei között az állóképesség jelentőségét, pedig a pillanatnyi, reflexszinten megvalósuló, szív-érrendszeri reakciók, koordinált izommozgások (Valsalva- és anti-G feszítési manőver) a gyorsaság és erőkomponensek adaptív fejlesztését is megkövetelik. Fentiek edzése-javítása a teljesítménydiagnosztika komplex eszközrendszerének alkalmazását indokolja, a szimulált repülésélettani stresszszortényezők (hypoxia, túlterhelés) expozíciója mellett. A pillanatnyi fizikai teljesítő-képesség jelentősége a repülésbiztonság szempontjából vitathatatlan, személyi hibára predisponáló tényezők egész csoportjánál a hirtelen cselekvőképtelenség oki tényezője. A repülés mint magasan fejlett, technicizált, három dimenziós mozgási képesség és lehetőség megköveteli a magas szintű aerob teljesítményt is (mint biztos biológiai-élettani háttérrel), de egyelőre úgy tűnik – a levegőnél nehezebb repülőeszközök fejlődésének evolúciós távlatban röpké 120 éve alatt –, hogy a magasságélettani kockázatok (oxigénhiány, gyorsulás, vibráció) megfelelő kezeléséhez populáció szintű adaptív evolúciós válasz és szelekciós előny nem várható el. Az individuális válaszreakció összetett lehet, amelyhez referenciaként a teljesítmény- (sport-) diagnosztikai eljárások, a noninvazíve monitorizálható keringési paraméterek adatbázisával fontos alapot jelent. Oxigénhiány (és/vagy túlterhelés) okozta agyi keringészavar és romló perifériás oxigénhasznosulás, romló szív-pumpafunkció mellett azonban a „földi” állóképesség fokozottan sérülékeny, instabil. Az aerob kapacitás, illetve a futási teljesítmény túlzásba vitele kedvezőtlen hatású is lehet, a pillanatnyi keringési perctérfogat és agyi vérátáramlás biztosítása szempontjából.

Fentiek alapján hangsúlyozom az egyéni repülőorvosi kiképzés fontosságát: stabil, magas szintű fizikai edzettség talaján kell a megfelelő földi alapú szimulációs környezetben (barokamrában és centrifugában a hypoxia, illetve gyorsulás ellen, Gyro forgókabinban a dezorientáció ellen) kialakítani, a repülésélettani stresszszortényezőkkel szemben a speciális stressztűrő képességet fejleszteni, mind jobban közelítve a valós bevetés/végrehajtás körülményeihez. (Train as fight, fight as train – azaz: Képezd ki, ahogy harcol, harcolj úgy, ahogy (és amire) ki vagy képezve).

Az orvostudomány fejlődése számos új módszer megszületését, technikai lehetőségeink bővülését eredményezi, amelyeket nemcsak a beteg gyógyításban, de a diagnosztikában és a szűrővizsgálatokban is tudunk alkalmazni, csak meg kell találni a megfelelő javallatot, klinikai indikációs kört.

¹¹⁸ Jill Borresen – Michael I. Lambert: Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38. (2008), 8, 633–646.

Felhasznált irodalom

- 10/2015. (VII. 30.) HM rendelet a katonai szolgálatra való egészségi, pszichikai és fizikai alkalmasságról, valamint a felülvizsgálati eljárásról
- 1178/2011 Regulation (Európai Unió Rendelete), Annex IV. PartMed.
- Ács Tibor: Jubilál a Magyar Tudományos Akadémia Hadtudományi Bizottsága. *Hadtudomány*, (2004), 3–4.
- Ádám Veronika: *Orvosi biokémia*. Budapest, Medicina, 2001.
- Aigner, Alfred: *Sportmedizin in der Praxis*. Springer-Verlag, 1986. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09978-0>
- Ainslie, P. N. – J. Duffin: Integration of cerebrovascular CO₂ reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296. (2009), R1473–R1495. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.91008.2008>
- Apor Péter – Petrekanih Máté – Számadó Júlianna: HRV-analízisről a sportban és a klinikumban. *Orvosi Hetilap*, 150. (2009), 18. 847–853. Online: <https://doi.org/10.1556/OH.2009.28605>
- Balogh Péter: *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Debrecen, Campus, 2015. Online: sportestudo-many.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetés-a-sportdiagnosztikába.pdf
- Bell, D. G. – I. Jacobs: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 4. 325–329.
- Bernardi, M. – F. Felici – M. Marchetti – P. Marchettoni: Cardiovascular load in off-shore sailing competition. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30. (1990), 2. 127–31.
- Borell von, E. – J. Langbein – G. Després – S. Hansen – C. Leterrier – J. Marchant-Forde – R. Marchant-Forde – M. Mindero – E. Mohr – A. Prunier – D. Valence – I. Veissier: Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals: a review. *Physiology and Behavior*, (2007), 92. 293–316. Online: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.01.007>
- Borresen, Jill – Michael I. Lambert: Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38. (2008), 8. 633–646. Online: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00002>
- Brennan, Michael – Marimuthu Palaniswami – Peter Kamen: Poincare plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *American Journal of Physiology*, 283. (2002), 1873–1886. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00405.2000>
- Buchheit, M. – G. P. Millet – A. Parisy – S. Pourchez – P. B. Laursen – S. Ahmaidi: Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40. (2008), 2. 362–371. Online: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aa2ee>
- Calbet, J. A. – R. Boushel – G. Radegran – H. SØndergaard – P. D. Wagner – B. Saltin: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284. (2003), 2. R291–303. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00155.2002>
- Carney, Robert M. – Kenneth E. Freedland: Depression and heart rate variability in patients with coronary heart disease. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76. (2009), 2. 13–17. Online: <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.03>

- Chan, KM – Lyle Micheli – Angela Smith – Christer Rolf – Norbert Bachl – Walter Frontera – Talia Alenabi (eds.): *F.I.M.S. Team physician manual*. 2nd edition. Karger, 2006.
- Chappelle, Wayne – Kent McDonald – Raymond E. King: *Psychological attributes critical to the performance of MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper US Air Force sensor operators*. (No. AFRL-SA-BR-TR-2010-0007). Air Force Research Lab Brooks City-Base TX Human Performance Wing (711TH). 2010.
- Chappelle, Wayne – Kent McDonald – Katharine McMillan: *Important and critical psychological attributes of USAF MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper pilots according to subject matter experts*. Ohio, Wright-Patterson AFB, 2011. Online: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a545552.pdf>
- Clifford, P. S. – B. Hanel – N. H. Secher: Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26. (1994), 6. 715–719. Online: <https://doi.org/10.1249/00005768-199406000-00010>
- Davis, Jeffrey R. – Robert Johnson – Jan Stepanek – Jennifer A. Fogarty: *Fundamentals of aerospace medicine*. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- Dos Santos, Laurita – Joaquim J. Barroso – Elbert E. N. Macau – Moacir Fernandes Godoy: Application of an automatic adaptive filter for heart rate variability analysis. *Medical Engineering Physics*, 35. (2013), 12. Online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.07.009>
- Driss, Tarak – Henry Vandewalle: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *BioMed Research International*, 2013. Online: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/589361>
- Dubecz József: *Általános edzésmélelt és módszertan*. Budapest, Rectus Kft., 2009.
- Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légijárművek műveleteiben. *Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia*, 25. (2013), 2. 314.
- Dunai Pál: Túlterhelésekkel szembeni tűrőképesség növelése a fizikai felkészítés eszközeivel. *Repüléstudományi Közlemények*, 10. (1998), 25. 17–23.
- Eleki Zoltán: *A katonákkal szemben támasztott fizikai követelményrendszer határfokának vizsgálata*. PhD-értekezés. ZMNE, 2004.
- Epperson, W. L. – R. R. Burton: The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 56. (1985), 6. 534–539.
- Ernsting, John (ed.): *Aviation medicine*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000.
- „Eyes of the Army”. *US ARMY roadmap for unmanned aircraft systems 2010–2035*. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama. Online: <https://fas.org/irp/program/collect/uas-army.pdf/>
- Farrell, Thomas G. – Yaver Bashir – Tim Cripps – Marek Malik – Jan Poloniecki – E. David Bennett – David E. Ward – A. John Camm: Risk stratification for arrhythmic events in post infarction patients based on heart rate variability, ambulatory electrocardiographic variables and signal averaged ECG. *Journal of American College of Cardiology*, 18. (1991), 3. 687–697. Online: [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90791-7](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90791-7)
- FM 21-20 US Army. Az amerikai szárazföldi haderő testnevelési szakutasítása.
- Fonyó Attila: *Az orvosi élettan tankönyve*. Budapest, Medicina, 2011.
- Frenkl Róbert: *Sportélettan*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 1995.
- Gemser, Henk – Jos de Koning – Gerrit Jan van Ingen Schenau: *Handbook of competitive speed skating*. Lausanne, Switzerland, International Skating Union, 1999.

- Guzik, Przemysław – Jarosław Piskorski – Tomasz Krauze – Raphael Schneider – Karel H. Wesseling – Andrzej Wykretowicz – Henryk Wysocki: Correlations between the Poincaré plot and conventional heart rate variability parameters assessed during paced breathing. *Journal of Physiological Sciences*, 57. (2007), 1. 63–71. Online: <https://doi.org/10.2170/physiolsci.RP005506>
- Györe István: A teljesítménydiagnosztikai vizsgálatok célja, eredmények felhasználása az edzői munkában. *Magyar Edző*, 11. (2008), 2. 47–49.
- Harsányi László: *Edzéstudomány I.* Budapest–Pécs, Dialóg Campus, 2000.
- Hartmann, U. – J. Mester: Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32. (2000), 1. 209–215. Online: <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00031>
- Heck, H. – A. Mader – G. Hess – S. Mücke – R. Müller – W. Hollmann: Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6. (1985), 3. 117–130. Online: <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025824>
- Hildebrand, Jesse Richardson: Man's amazing progress in conquering the air. *National Geographic Magazine*, 46. (1924), 112.
- Hoffman, J. R. – A. Kahana – L. Chapnik – A. Shamiss – B. Davidson: The relationship of physical fitness on pilot candidate selection in the Israel Air Force. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 2. 131–134.
- Hultgren, H. N.: High altitude medical problems. In E. Rubenstein – D. D. Federman (eds.): *Scientific American Medicine*. New York, Scientific American Inc, 1990. 1–13.
- Humphreys, P. W. – A. R. Lind: The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions. *Journal of Physiology*, 166. (1963), 1. 120–135. Online: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007094>
- Huss, Rick: *Fatigue risk management*. 2010. május 11. ASMA konferencia.
- Jákó Péter – Martos Éva – Pucsek József: *A sportorvoslás alapjai*. Print City, 1998.
- Jones, N. L.: Hydrogen ion balance during exercise. *Clinical Science*, 59. (1980), 2. 85–91. Online: <https://doi.org/10.1042/cs0590085>
- Kaikkonen, P. – J. Rusko – K. Martinmaki: Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine in Science and Sports*, 18. (2008), 4. 511–519. Online: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00728.x>
- Kanters, J. L. – M. V. Hojgaard – E. Agner – N. H. Holstein-Rathlou: Short- and long-term variations in non-linear dynamics of heart rate variability. *Cardiovascular Research*, 31. (1996), 400–409. Online: [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(95\)00085-2](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(95)00085-2)
- Kitney, R. I. – T. Fulton – A. H. McDonald – D. A. Linkens: Transient interactions between blood pressure, respiration and heart rate in man. *Journal of Biomedical Engineering*, 7. (1985), 217–224. Online: [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(85\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0141-5425(85)90022-6)
- Kiviniemi, Antti M. – Arto J. Hautala – Hannu Kinnunen – Mikko P. Tulppo: Endurance training guide individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101. (2007), 6. 743–751. Online: <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Kleiger, R. E. – J. P. Miller – J. T. Bigger Jr. – A. J. Moss: Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *American Journal of Cardiology*, 59. (1987), 4. 256–262. Online: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(87\)90795-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(87)90795-8)
- Kovács Levente: *Akut és krónikus stressz vizsgálata tejelő teheneken a szívritmus változékonyság meghatározásával*. PhD-értekezés, Gödöllő, 2014.

- Kovács Péter: *Terhelés- és teljesítmény-élettani mutatók vizsgálata a Magyar Honvédség és a civil szféra hadrafoghatóság szempontjából érintett területein*. PhD-értekezés, ZMNE, 2005. Tézisek.
- Landau, Dan-Avi – Leah Chapnick – Nechemia Yoffe – Bella Azaria – Liav Goldstein – Eli Atar: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77. (2006), 11. 1158–1161.
- Lee, L. – N. Wesensten: Fatigue risk mitigation in UAS operations. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 81. (2010), 3.
- Lopez, Todd: Air Force Print News, 8/18/2003 – Washington. www.af.mil
- McCaffrey, Noel: *Overtraining* (PowerPoint-bemutató). Online: <https://slideplayer.com/slide/6532166/>
- Medical Fitness for Expeditionary Missions: *A NATO Guide for assessing deployability for military personnel with medical conditions*. Task Group 174, Human Factors and Medicine Panel. Online: www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA587362
- Mitchell, J. H.: J. B. Wolffe memorial lecture. Neural control of the circulation during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22. (1990), 2. 141–54.
- Morgan, W. P. – D. R. Brown – J. S. Raglin – P. J. O'Connor – K. A. Ellickson: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21. (1987) 3. 107–114. Online: <https://doi.org/10.1136/bjism.21.3.107>
- Morris, K. F. – S. C. Nuding – L. S. Segers – D. M. Baekey – R. Shannon – B. G. Lindsey – T. E. Dick: Respiratory and Mayer wave-related discharge patterns of raphé and pontine neurons change with vagotomy. *Journal of Applied Physiology*, 109. (2010), 189–202. Online: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01324.2009>
- Mulrine, Anne: Drone pilots: Why war is also hard for remote soldiers? *The Christian Science Monitor*, 2012. február 28. Online: www.csmonitor.com/USA/Military/2012/0228/Drone-pilots-Why-war-is-also-hard-for-remote-soldiers
- Nádori László: *Az edzés elmélete és módszertana*. Budapest, Sport, 1981.
- Neuhaus, Christopher – Jochen Hinkelbein: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training. *Psychology Research and Behavior Management*, 7. (2014), 297–302. Online: <https://doi.org/10.2147/PRBM.S51844>
- Newman, David – S. W. White – R. Calister: Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for +Gz tolerance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70. (1999), 8. 739–744.
- Pelliccia, A. – B. J. Maron – F. Culasso – A. Spataro – G. Caselli: Upper limits of physiologically induced left ventricular cavity enlargement due to athletic training. *Circulation*, 90. (1994), 1165. Online: <https://doi.org/10.1249/00005768-199505001-01078>
- Pelliccia, Antonio – Antonio Spataro – Giovanni Caselli – Barry J. Maron: Absence of left ventricular wall thickening in athletes engaged in intense power training. *American Journal of Cardiology*, 72. (1993), 14. 1048–1054. Online: [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(93\)90861-6](https://doi.org/10.1016/0002-9149(93)90861-6)
- Perényi Szilvia – Petridis Leonidas: *Bevezetés a sporttudományokba*. Debrecen, Campus, 2015.
- Petridis Leonidas: *A sportteljesítmény fizikai összetevőinek diagnosztikája*. Debrecen, Debreceni Egyetem, 2015.
- Randy Russell – Alastair Reid – Guy Borgers – Henry Wassink – Andreas Grove – David W. Niebuhr: Medical fitness for expeditionary missions: A NATO Guide for assessing deployability for military personnel with medical conditions. *Military Medicine*, 179. (2014), 12. 1404–1411. Online: <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00113>

- Reeb, C. – M. Eisl – A. Schwab: *PC-based flight simulator experience as a predictor for success in the German Armed Forces pilot aptitude test battery*. 2010. május 11, ASMA konferencia (Phoenix, Arizona) előadása.
- Robergs, Robert A. – Farzenah Ghiasvand – Daryl Parker: Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287. (2004), 3. R502–R516. Online: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
- Robergs, Robert A. – Steven J. Keteyian: *Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health*. Boston, McGraw-Hill, 2003.
- Robergs, Robert A. – Scott O. Roberts: *Exercise physiology. Exercise, performance, and clinical applications*. Mosby-Year Book, 1997.
- Robert E. van Patten: G-Lock and the Fighter Jock. *Air Force Magazine*, Oct. 1, 1991. Online: www.airforcemag.com/article/1091glock/
- Smith, Adrian: Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76. (2005), 8. 794–799.
- Solberg, Geir – Bjørn Robstad – Ole Henning Skjønberg – Fredrik Borchsenius: Respiratory gas exchange indices forestimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4. (2005), 1. 29–36.
- STANAG 2458 Egységes Védelmi Előírás (AMedP 14 Szövetségi Publikáció), „Prevention and treatment of climatic and environmental injuries”, azaz „Klimatikus és környezeti tényezők által okozott sérülések megelőzése és kezelése” 1. fejezet (magashegyi betegség) jelenleg átdolgozás alatt (új study) STANAG 2589 (Ed.1) Prevention and management of high altitude injuries. Online: https://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html
- Stein, P. K. – P. P. Domitrovich – H. V. Huikuri – R. E. Kleiger: Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 16. (2005) 1. 13–20. Online: <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2005.04358.x>
- Szabó Sándor András: UAV (pilóta nélküli légi jármű) műveletek virtuális környezetben, Kutatói jelentés III., Nemzeti Közszolgálati Egyetem, TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata.
- Szabó Sándor András: *A katonai repülő-hajózó állomány repülőorvosi minősítése és kiképzése a NATO standardizációs egyezmények szellemében (Különös tekintettel a szív-érrendszeri adaptáció és readaptáció vizsgálatára komplex és szimulált repülési stressz környezetben)*. PhD-értekezés, ZMNE, 2009.
- Szabó Sándor András: Brit repülőorvosi diploma tanfolyam tapasztalata, RAF Cranwell légi-bázis meglátogatása kapcsán, 1999. Online: www.army.mod.uk/servingsoldier/condofserv/healthcare/PULHHEEMS
- Szabó Sándor András: UAV (pilótánélküli légi jármű) műveletek humán tényezőinek elemzése repülés-biztonsági szempontból. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. klsz.
- Szőts Gábor: *Biokémia*. Budapest, Magyar Testnevelési Egyetem, 2005.
- Szportyivnaja Medicina*. Fizkultura I Szport, Moszkva, 1987.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 5. 1043–1065. Online: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Urhausen, Axel – Wilfried Kindermann: Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports Medicine*, 32. (2002), 2. 95–102. Online: <https://doi.org/10.2165/00007256-200232020-00002>

- Varga-Pintér Barbara – Petrekanits Máté – Kneffel Zsuzsanna – Tóth Miklós – Pavlik Gábor: Chen-stílusú Taiji gyakorlók nyugalmi szívfrekvencia-variabilitása és edzés közben mért pulzusszám változása. *Sportorvosi Szemle*, 51. (2010), 4. 117–156.
- Vogel, Roger: «Übertraining»: Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 49. (2001), 4. 154–162.
- Вейднер-Дубровин Л. А. et al.: *Вопросы научного обоснования физической подготовки в Вооруженных Силах СССР*. ВДКИФКиС, Moszkva, 1964.
- Williams, Kevin W.: *An Assessment of pilot control interfaces for unmanned aircraft*. Federal Aviation Administration DOT/FAA/AM-07/8, Office of Aerospace Medicine Washington, DC 20591. Online: www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200708.pdf
- Young, Pearl – Bruce C. Frier – Leonard Goodman – James Duffin: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78. (2007), 11. 1035–1041. Online: <https://doi.org/10.3357/ASEM.2048.2007>

Vákát

Óvári Gyula, Kavas László, Szaniszló Zsolt

Véget ért egy fejezet... vagy mégsem? Lesz-e személyzeti mentőejtőernyő a Magyar Honvédség új helikoptertípusainak fedélzetén?

Absztrakt

A kormányzati döntésnek megfelelően a Magyar Honvédség helikopteres képessége két modern, a 21. század lehetséges kihívásai alapján tervezett típussal bővül. Nem lehet kérdéses, hogy az új légi járművek rendszerbe állítása a számba vehető elvárásoknak történő jövőbeni megfelelés alapján jelentős minőségi ugrást jelent az állami (honvédelmi) céllal végrehajtott forgószárnyas repülésben. Kérdéses lehet viszont az új helikoptertípusok személyzete részére a teljes körű védelem komplex biztosítása a repülés teljes időtartamára, mivel azok fedélzetén számukra a gyártó eredetileg nem tervezte mentőejtőernyő alkalmazását. A tanulmány nemcsak a Magyar Honvédség, valamint a hajdani Magyar Néphadsereg helikopterein korábban alkalmazott személyzeti mentőejtőernyőket vizsgálja meg, hanem napjaink katonai helikopterein alkalmazottakra is kitekintést nyújt.

Bevezetés

A „Zrínyi 2026” honvédelmi és haderőfejlesztési program keretében a Magyar Honvédség az új helikopterek¹ beszerzésével számottevő, az eddigieket meghaladó lehetőségek birtokába jut, ami egyben speciális kihívásokat is jelent mind a légi üzemeltető, mind a földi kiszolgáló, üzemben tartó szervezetek részére. E korszerűbb, nyugati repülőeszközök a „klasszikus” ember-gép-környezet hármasában a velük dolgozó szakemberek gondolkodásmódjára is hatással lesznek, mivel több olyan újdonságot is magukban hordoznak, amely az eddigi forgószárnyasok üzemeltetési kultúrájának nem volt része. Ez utóbbi, a „keleti” (szovjet) repülőtechnikához kapcsolódva, az ahhoz tartozó, ott alkalmazott kiképzési módszerekre támaszkodva, valós háborús tapasztalatokon alapuló üzemeltetési rendszerként fejlődött ki és vált „nagykorúvá”, annak minden előnyével és hátrányával együtt. Ebbe beleértendő a légi jármű személyi ejtőernyős mentőeszközökkel való ellátottsága, valamint a repülő-hajózó állomány azokhoz való viszonya is.

Az új, nyugati helikoptereknél ugyanis pontosan a pilóta-mentőejtőernyője lesz az egyik sarkalatos pont, amely különlegessé válhat: a gyártó alapkonfigurációja és a megrendelési szerződésben foglaltak szerint a haderőnknek átadott helikopterek-

¹ Ez alatt 20 darab Airbus H145M könnyű, többcélú szállító helikoptert és 16 darab Airbus H225M többcélú közepes szállító helikoptert értünk. Lásd Budavári Krisztina: A Zrínyi 2026 program. Korlátozott lehetőségek a magyar védelmi ipar fejlesztésére. *Hadtudomány*, 29. (2019), 3. 142–159.

nek a – „keleti” technikákon általánosan rendszeresített – személyi mentőeszköz már nem lesz a tartozéka.

A személyzeti mentőejtőernyő tudatos elhagyásának morális hatását részben a pszichológusok hivatottak megválaszolni. Bizonyára lesznek olyan helikoptervezetők, akiknek akár még „szimpatikus” is, hogy az új típusokon – az évtizedeken keresztül jól megszokott szovjet (orosz) módszerrel ellentétben – „*Már nem kell a személyi mentőejtőernyő felvételével bajlódni!*” Repülésbiztonsági szempontból vizsgálva azonban csak akkor lehet „igazolható a hiánya”, amennyiben az teljeskörűen kiváltható más személyi vagy kollektív biztonsági berendezéssel, esetleg a modern helikopterépítési technológia erre szolgáló legújabb egyéb megoldásaival. Noha az új, nyugati beszerzésű forgósárnyas repülőeszközünk már ténylegesen ennek jegyében születtek, megmarad a bizonytalanság arra vonatkozóan, hogy mindez valóban elégséges-e a személyzet teljes körű védelmére?

Természetesen nem kell ahhoz helikoptervezetőnek lenni, hogy belássuk, amennyiben a forgósárnyas légi jármű valamilyen okból repülési feladata folytatására alkalmatlanná válik, akkor azt azonnal befejezve² törekedni kell a helikopterrel együtt történő sérülésmentes földet érésre. Amennyiben az nem lehetséges, de azonnal szükségessé válik a fedélzet elhagyása, a „keleti” gondolkodás szerint ilyenkor az ejtőernyő marad az egyetlen eszköz, amely lehetővé teszi a személyzet – akkor már egyéni – túlélését, ennek eredményes végrehajtását azonban csak a repülő-hajózó állomány kötelező ejtőernyős kiképzése alapozhatja meg.

A „nyugati” filozófia ettől jelentősen eltér: a személyzeti mentőejtőernyő hiányát – összekapcsolva a légijármű-vezetők kötelező kiképzési ejtőernyős ugrásai végrehajtása során esetlegesen bekövetkező sérülések elkerüléséből adódó „nyereség”-gel – a helikopterek sárkányszerkezetének optimális kialakításával ellensúlyozzák, alkalmassá téve azokat a benne ülők számára – adott, függőleges talajhoz ütdési sebességig – biztonságos földet érésre. Ezt például a helikoptertörzs irányítottan gyűrődő szerkezetével, az abban elhelyezett speciális, energiaelnyelő zónákkal, továbbá nem behúzható, hosszú löket-hosszú karos főfutóművel, illetve ütközéselnyelő, rugalmas felfüggesztésű ülésekkel stb. biztosítják.

E tanulmánynak nem célja a „keleti” és a „nyugati” helikopterépítési filozófia biztonsági megfontolásainak összevetése; a helikopterszemélyzetek túlélését biztosító korszerű technikai megoldásokat a szerző-hármas egyik tagja egy korábbi munkájában³ már áttekintette. Ehelyett azt kívánjuk igazolni, hogy a mentőejtőernyők rendszeresítésének, alkalmazásának a legmodernebb katonai helikopterek fedélzetén, még napjainkban is van létjogosultsága.

² Az ilyen eseteket az adott helikoptertípus légi üzemeltetési szakutasítása részletesen kell, hogy tartalmazza. De vajon a gyártó minden különleges esetet figyelembe vett-e az adott típusra vonatkozóan? Ne felejtsük el: egy katonai helikopterre a legnagyobb fenyegetést – természetesen műveleti körülmények között – az ellenséges légvédelmi ellentevékenység jelent(het)i, amely olyan sérülést okoz vagy a sárkányszerkezet vagy a személyzet vonatkozásában, amely nemcsak a repülési (és harc)feladat folytatását, hanem magának a repülőeszköznek a levegőben maradását teszi lehetetlenné.

³ Óvári Gyula: Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? *Haditechnika*, (1992), 4. 2–9.

Ezt bizonyítandó fontosnak tartjuk röviden áttekinteni a pilóta-mentőejtőernyők megjelenésével kapcsolatos adott történelmi tényeket, a korábbi „keleti” és a „nyugati” katonai helikoptereken rendszeresített típusokat, valamint ismertetni – a hazánk légterében bekövetkezett egyes helikopteres repülőesemények célirányos vizsgálatán keresztül – azok kényszerhelyzetben történő alkalmazásainak eredményességét. Továbbá – ehhez szorosan kapcsolódva – bemutatjuk napjaink egyes korszerű katonai helikoptereinek fedélzetén még rendszerben lévő személyzeti mentőejtőernyőket olyan módon, hogy egyben jelezzük a „keleti” és „nyugati” szemléletben e kérdéskörben bekövetkezett változásokat is.

Történeti visszatekintés

A pilóta-mentőejtőernyők megjelenése

A levegőnél nehezebb repülőeszközök megjelenését követően gyorsan növekedett – az akkor még kizárólag – a polgári repülésben életüket vesztekettek száma. (1. táblázat)

1. táblázat: Repülési tevékenység során életüket vesztekettek száma 1908–1912 között

Évek	1908	1909	1910	1911	1912
Repülőbalesetben elhunytak száma (fő)	1	3	32	82	128
Növekedés az előző évhez képest	0%	200%	966,7%	156%	56,1%

Forrás: А. Г. Агроник, Л. И. Эгенбург: Развитие авиационных средств спасения. Москва, Машиностроение, 1990. 100.

Noha léghajókból korábban már számtalan mutatóványos célú ejtőernyős ugrást végrehajtottak, ugyanerre motoros repülőgépből – annak megjelenése után – csak kilenc évvel később került sor. Majd újabb hat év és kifejezetten háborús alkalmazás kellett ahhoz, hogy a mentőernyők az akkor még kizárólag merevszárnyú repülőeszközök pilótái részére is kezdjenek elterjedni.

Érdekes módon a mentőejtőernyők légi járművek fedélzetén történő általános rendszeresítésével kapcsolatosan még a háború végén sem volt egységes álláspont: ehhez hozzájárulhatott a kevés alkalmazás (ejtőernyős vészelhagyás) száma, azon belül pedig a sikeres mentések rendkívül alacsony hányada,⁴ elsősorban a nyíló ejtőernyő-kupola és a zuhanó repülőgép összeakadása miatt. Ezzel kapcsolatosan váltak különösen fontossá a módszertani (bemutató) ejtőernyős ugrások: amelyek nemcsak azt demonstrálták a repülő-hajózó állomány számára, hogy az ejtőernyő képes életet menteni, hanem azt is, hogy a pilóta, ennek során a repülőgépétől való eltávolodást is képes biztonságosan végrehajtani, amely az ejtőernyő működtetésének elsődleges alapfeltétele.

⁴ Egyes források szerint ekkor még az ejtőernyővel kiugró pilótáknak csak kb. a 25%-a maradt életben. Lásd Szódi Sándor: *Az ejtőernyőzés áttekintése, története – A selyemszárnyak története*. Budapest, Műszaki, 1993. 256.

A pilóta-mentőejtőernyőkkel kapcsolatos szemlélet kialakulása

Önmagában nem lehet elégséges az ejtőernyő-technika rendelkezésre állása a fedélzeten, valamint az annak működésébe vetett bizalom megléte: a megmentendő személynek tudnia is kell, hogy az adott berendezést hogyan kell rendeltetésszerűen használnia, amennyiben az szükségessé válik. Ehhez elengedhetetlen a pilóták megfelelő szintű kiképzettsége, mert ennek hiányában a legjobb mentőberendezés is feleslegessé (alkalmazhatatlanná) válik. Továbbá a megfelelő felkészítettség annak tudatát is erősíti a pilótában, hogy az ejtőernyős mentőeszköznek igenis megvan a létjogosultsága a repülőeszköz fedélzetén. (Bár erről tagadhatatlanul másként gondolkodnak napjainkban is „kelet”-en és „nyugat”-on.)

A „keleti” szemlélet

Kezdetben „keleten” is „csak” a berepülő pilóták számára⁵ rendelték el a mentőejtőernyő viselését, majd a kedvező tapasztalatok nyomán ennek gyakorlata az 1930-as években a katonai és a polgári (sport-) repülésre is kiterjedt. Ezzel párhuzamosan tették kötelezővé a kiképzési célú ejtőernyős ugrások végrehajtását is a katonai pilóták számára, amely – sokáig „gyerekcipőben járt”⁶ ugyan, de – a későbbiekben igazolta hasznosságát.

A „nyugati” szemlélet

Érdekes módon „nyugaton” az 1920-as években megnőtt polgári és katonai repülőkatasztrófák száma sem indokolta (?) a pilóta-mentőejtőernyők kötelező rendszeresítését a repülőeszközök fedélzetén. A kezdetben csak hadtestszintű, a későbbiekben haderőnemmé fejlődő USAS⁷ parancsnoka 1923 januárjában a következőképpen engedélyezte az – akkori szóhasználattal – „ugrózsáknak” nevezett mentőejtőernyők jelenlétét a fedélzeten: „amennyiben (a) rendelkezésre állnak, és (b) beférnek a repülőgépbe”.⁸

⁵ Az 1927-es évben a távolsági repülőként (is) hírnevet szerzett Mihail M. Gromov (később repülő vezérrezredesként a távolsági repülőcsapatok parancsnoka) egy berepülési feladatnál az első esetben magával vitt Irvin rendszerű mentőejtőernyőnek köszönhetette életét, miután nem tudta kivenni a repülőgépét egy lapos dugóhúzózból. Lásd Г. И. Резниченко: *Вся жизнь-небу*. Москва, Политической Литературы, 1990. 46–48. Rövid időn belül két másik szovjet berepülő pilóta is hasonló körülmények között maradt életben.

⁶ Kezdetben még csak egyetlen egy kézi nyitási rendszerű ejtőernyős ugrást kellett a pilótajelölteknek végrehajtaniuk repülőképzésüket megelőzően: akkoriban csak arra volt lehetőség a Szovjetunióban, mivel a már bekötött nyitási rendszerű ugrásra is alkalmas PD-41-1 típusú légideszant ejtőernyő csak 1941-re készült el.

⁷ USAS (United States Army Air Service): az Amerikai Egyesült Államok Légi Szolgálat, az USAF (United States Air Force): az Amerikai Légierő jogelődje 1918. május 24. és 1926. július 2. között.

⁸ Barrett Tillman: *Az Egyesült Államok Légierőjéről*. Debrecen, Gold Book Kft., [é. n.]. 57–58.

Ezzel a kissé szabadosnak is felfogható döntéssel az ejtőernyő viselésének és használatának felelősségét voltaképpen átruházták a repülő-hajózó állományra. Ezt abban az időben részben érthetővé tette, hogy az akkor még csak kevés példányszámban rendelkezésre álló mentőejtőernyő kizárólagosan kézi nyitási rendszerű volt, működtetése használójának aktív közreműködését igényelte. Ez viszont szükségessé tette a repülő-hajózó állomány ejtőernyős kiképzésének megindítását, ami azonban nem haladt párhuzamosan a pilóta-mentőejtőernyők rendszeresítésével (amely időben már így is tíz évvel „maradt el” az ugyanerre vonatkozó szovjet döntéstől). Ám hiába lett a személyi ejtőernyős mentőberendezés az amerikai légi haderőnem repülőgépeinek kötelező tartozéka, az annak használatára történő felkészítés csak 1941-ben vette kezdetét. Maga a kiképzés akkor is inkább elméleti ismeretekkel, mint gyakorlati tapasztalatokkal gazdagította a pilótákat, a fő hangsúlyt az ejtőernyővel történő földet érés, valamint az ezt követő tevékenység megtanítására fordították. (1. ábra)



1. ábra: Ritka pillanat: szemléletes gyakorlati oktatás az ejtőernyő-kupola földet érést követő, talajszerű hatására bekövetkező belobbanásának megszüntetésére az alsó tartózsínórok behúzásával. Figyelmet érdemel, hogy ez egy hasi kialakítású, Irvin-féle nyitási rendszerű pilóta-mentőejtőernyő [Meacham repülőtér, Fort Worth, Texas, USA, 1942.]

Forrás: Instructor explaining the operation of a parachute to student pilots, Meacham field, Fort Worth, TX. Arthur Rothstein, 1942. Online: www.pinterest.es/pin/57702438947620998/

A személyzeti mentőejtőernyők kialakítása

A mentőejtőernyők kialakításuk, viselési módjuk alapján lehetnek: hát-, ülő- és hasernyők. Valamennyinek van(nak) előnye(i) és hátránya(i), amelye(ke)t minden esetben az adott repülőeszközön szolgálatot teljesítő(k) „munkahelyé”-nek körülményei, fizikai adottságai határoznak meg.

A személyzeti mentőejtőernyőkkel kapcsolatos alapkritériumok napjainkig változatlanok maradtak: legyen viselése kényelmes,⁹ magát a repülési tevékenységet, illetve a vészhelyzeti gépelhagyás folyamatát se akadályozza, továbbá biztonságosan működjön a levegőben.

A külföldi katonai helikoptereken korábban alkalmazott személyzeti mentőejtőernyők

A helikopterek megjelenését követően a katonai megrendelések mind a helikopter-, mind a mentőejtőernyő-gyártók részére egyértelműen meghatározták a kutatás-fejlesztés fő irányvonalait, amelyek helyességét a későbbi háborús konfliktusok igazolhatták.

A „keleti” gyakorlat

A „keleti” helikopterek esetében az ülő kialakítású mentőejtőernyő (2. ábra) lett a leggyakrabban alkalmazott változat, a pilótafülke nagy méretű ülésrésze nemcsak annak biztosított megfelelő helyet, hanem az annak tokjába rejtett úgynevezett „NAZ¹⁰-készlet”-nek is.



2. ábra: Afganisztán, szovjet helikoptervezető lövésálló mellényben a Mi-8 típusú helikopter gépparancsnoki ülésében – a már leoldózárral ellátott – Sz¹¹-4U¹² típusú mentőernyőt viselve

Forrás: Eastern bloc militaries. Online: <https://partisan1943.tumblr.com/page/53>

⁹ Tény, hogy a repülő-hajózó állomány pilóta-mentőejtőernyőkkel szemben kezdetben ellenállást tanúsító tagjait annak fedélzeten történő viselésére éppen a kényelmi szempontok segítségével volt könnyebb „rábírní”. Erre hazai példát is tudunk találni Hefty Frigyes személyében, aki 1918. augusztus 22-én – a magyar katonai repülés történetében először – hagyta el ejtőernyővel a légi harc során kigyulladt repülőgépét.

¹⁰ NAZ (НАЗ – Носимый/Неприкосновенный Аварийный Запас): Hordozható/tartalék mentőkészlet, amely a repülő-hajózó személy egyéni túlélését biztosítja a (harci) kutató-mentő légi jármű megérkezéséig.

¹¹ Sz (С – Спасательный): Mentő.

¹² U (У – Управляемый): Irányítható.

Mivel azonban nem minden helikopterszemélyzet-tag rendelkezett üléscesészét is tartalmazó üléssel, szükségessé vált, hogy – bizonyos minősített körülmények között – néha még a szovjetek is eltérjenek a jól bevált gyakorlat(uk)tól... Tényként kell azonban kezelni, hogy amennyiben erre szükség volt, azt minden esetben mind a rugalmasság, mind a repülésbiztonság szempontjából a maximumra törekedve hajtották végre. (3. ábra)



3. ábra: Afganisztán, szovjet fedélzeti technikus fedélzeti lövész szerepkörben, háti, vélelmezhetően PLP-60¹³ típusú mentőejtőernyővel felszerelve

Forrás: Армия Советская. Москва, Планета, 1987. 154.

A fentieknek megfelelően „kelet”-en kifejezetten a fedélzeti technikusok részére tették lehetővé a háti (ld. 3. ábra), illetve a hasi¹⁴ pilóta-mentőejtőernyő alkalmazását mind a szállító (4. ábra), mind a harci helikoptereken. (5. ábra)

Ennek – érdekes módon – még az sem mondhat ellent, hogy írott dokumentumot arra vonatkozóan sajnos nem sikerült előtalálni, hogy a szovjetek az ültőernyőn kívül más kialakítású életmentő eszközt is bevezettek volna (katonai) helikoptereik légi üzemeltetési

¹³ PLP (ПЛП – Парашют Лётчика Планериста): Vitorlázó pilóta-mentőejtőernyője. Ez kifejezetten jó példa egy szükséghelyzetben történő improvizációra: a pilótamentőejtőernyő-típus a polgári (sport-) repülésből, pontosabban a DOSzAAF-ból (ДОСААФ – Добровольное Общество Содействия Армии, Авиации и Флоту), a Szovjetunió Honvédelmi Szövetségéből került be a hadseregbe.

¹⁴ A szovjet helikopterek fedélzeti technikusai részére a PN-58 típusú hasi mentőejtőernyőt rendszeresítették, amelynek elődjét a hasi kialakítású PN-50 típusú (PN [ПН – Парашют Наблюдательный]: megfigyelő ejtőernyő) mentőejtőernyő jelentette, amelyet a Nagy Honvédó Háború alatt több bombázó és csatarepülőgépen alkalmaztak – Vándor Károly repüléstörténész közlése alapján. Ez a könnyítés egyértelműen abból a felismerésből indult ki, hogy a személyzet ezen tagja az, akinek gyakran el kell hagynia a pozícióját a repülési feladat végrehajtása során. (A PN-58 ejtőernyő tokjában lévő kupola egyébként tökéletesen megegyezett az üléscesészébe helyezett Sz-4 típusú ejtőernyő kupolájával.)

utasításaiba,¹⁵ ez ugyanis nem cáfolja a valóságot, vagyis az ülő kialakításától eltérőek alkalmazásának tényét (amelyeket a 3, 4, és 5. ábra is bizonyít).



4. ábra: A Német Demokratikus Köztársaság Nemzeti Néphadseregének repülő-hajózái egy Mi-8 típusú közepes helikopter fülkéjében. A fedélzeti technikus (jobbra) a PN-58 típusú mentőejtőernyő hevederzetét viseli.

Forrás: W. Koppenhagen: *Heft Kampfhubschrauber. Militär Technische Hefte*. Berlin, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB), 1983.



5. ábra: Szovjet Mi-24 típusú helikopter deszant terében – a pilóta üléséhez vezető „folyosótól” balra – alkalmazásra előkészített állapotban látható a fedélzeti technikus PN-58 típusú mentőejtőernyője.

Forrás: На Ми-24 пилоты не могут выпрыгивать с парашютом. Online: http://feedback.rhsmos.org/bug_revision_view_page.php?rev_id=3730

¹⁵ A Magyar Néphadseregben 1969-től üzemeltetett Mi-8 típusú szállító helikopter eredeti, orosz nyelvről lefordított és 1982-ben kibocsátott kiadványa a személyzet mentőejtőernyőjeként az Sz-4 típust nevezi meg. Lásd *Re/976 A Mi-8 típusú helikopter üzemeltetési és műszaki kiszolgálási utasítása. I. könyv. A helikopter jellemzése, légi üzemeltetése és a súlypont beállítása*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1982. 158.

A repülő-hajózó szakember az ejtőernyő hevederzetét a repülés teljes időtartama alatt magán kellett, hogy viselje (lásd 4. ábra), erre az ejtőernyő tokját – amelyet alkalmazásra előkészítve, a tehertérben helyeztek el (lásd 5. ábra) – csak közvetlenül a vészugrást megelőzően csatolta fel. Ezeket az előírásokat érdemes volt komolyan betartani, mert ez a gyakorlatban bizonyítottan életet is mentett (lásd „6.2. A szovjet katonai helikoptereken rendszeresített mentőejtőernyők alkalmazásai és annak tapasztalatai” alfejezet).

A „nyugati” gyakorlat

A „nyugati” helikopterek ülés kialakítása elsősorban a vékony, háti mentőejtőernyőknek kedvezett (6. ábra), amennyiben rendszeresítésükre – a későbbiekben is – lett volna igény.



6. ábra: Charles Kettles őrnagy, a vietnámi háború későbbi hőse még hadnagyként, L-19 típusú repülőgéppilótaként 1954-ben. A képen látható NB¹⁶-rendszerű személyi mentőejtőernyő az UH-1-es helikopter fedélzetén már „nem kapott helyet”.

Forrás: Christopher, Klein: *Vietnam War Helicopter Pilot to Receive Medal of Honor*. Online: www.history.com/news/vietnam-war-helicopter-pilot-to-receive-medal-of-honor

A „keleti” szemlélettel ellentétben „nyugaton” csak a forgószárnyas repülés kezdetén, és akkor is csak bizonyos repülési feladatok végrehajtásakor¹⁷ alkalmazta (viselte) a személyzet a mentőejtőernyőt, amely hamarosan a fedélzetről is „eltűnt”. Ennek magyarázatát jól szemlélteti a következő idézet, amely Tom Farrier, az USAF nyugállományú kutató-mentő pilótájának az „El lehet hagyni ejtőernyővel egy zuhanó helikoptert?” kérdésre adott válaszából származik:

¹⁶ NB (Navy Back): haditengerészeti hát(i) (ejtőernyő), utalva az alkalmazó haderőnemre, továbbá az ejtőernyő kialakítására.

¹⁷ Ilyen repülési feladatok napjainkban is előfordulhatnak, lásd a „7.2. A pilóta-mentőejtőernyőkkel kapcsolatos szemlélet és gyakorlat változásai” című alfejezetet.

- „1. A helikopter személyzet tagjai szinte még gondolkodni sem fognak soha azon, hogy megpróbálkozzanak-e meghibásodott repülőeszközük kényszerelhagyásával, ugyanis amennyiben az még vezethető (pl. hajtómű meghibásodás esetén), sokkal biztonságosabb benne maradni és autorotációval végrehajtani a leszállást. Amennyiben viszont nem vezethető, a fő rotor nagy valószínűség szerint lehetetlenné fogja tenni »az egy darabban történő kijutás«-t. Vagy már kigyulladt a helikopter, vagy a közlőmű áll annak a határán, hogy szétrázza a légi jármű teljes szerkezetét. Nos, ezért szeretnek a helikopter pilóták a lehető legalacsonyabban repülni.
2. Amikor a vietnámi háborút követően megtanultam nehéz helikopterrel repülni, a légi utántöltési műveleteknél kötelező volt ejtőernyőt viselni. A döntést azzal indokolták, hogy ennél a repülési feladatnál az a különleges eset következhet be leggyakrabban, hogy az érkező tölcseért (amelybe a töltőcsövet bele kell helyezni) vagy a forgósárny lapátjai vágják le, vagy maga a pilóta (utóbbi esetben ugyancsak a rotorlapátok segítségével úgy, hogy túlkorrigálja a helikoptert). (Ehhez érdemes tudni, hogy a töltőcső a forgósárny forgássíkjához közel, az alól nyúlik ki). Ilyen esetekben a helikopter nagy valószínűséggel azonnal kormányozhatatlanná válik, és ha ez bekövetkezik, mindenkinek készen kell állnia az azonnali vészelhagyásra.

Néhány évvel később, amikor visszamentem az iskolába, hogy kutató-mentő feladatra is kvalifikáljam magam, a légi utántöltéssel kapcsolatos repülések már egy egész blokkot tartalmaztak. Ekkor azonban már nem kellett ejtőernyőt viselnünk, és megkérdeztem ennek okát. Azt a választ kaptam, hogy a döntés azon alapult: a helikopter irányíthatatlanná válása olyan ritka – és egyben olyan katasztrofális – esemény, illetve a mentő-ejtőernyők ellenőrzése és üzemképes állapotban tartása annyira költséges dolog, hogy ezzel a továbbiakban soha többet nem kell törődnünk.

(A döntésbe valószínűleg »besegíthetett«, hogy a közbeeső években a légi utántöltés miatt mindig ideges személyzeteknek kialakult az a szokása, hogy az ilyen feladatot ejtőernyőt viselve ugyan, de mindig nyitott ajtókkal hajtották végre...)»¹⁸

A „keleti” és a „nyugati” forgósárnyas technikai és a személyi veszteségek

A szakirodalmak nem egységesek sem a technikai, sem a személyi veszteségek tekintetében, de az adatok összevetése alapján az alábbi értékek tekinthetők valósaknak (2. táblázat):

A táblázat nem tartalmazza ugyan a repülő-hajózó állomány személyi veszteségeit, de tény, hogy az afganisztáni háborús évtized során bevetésben megsemmisült szovjet helikopterek repülő-hajózó állományának jelentős része köszönhette az életét mentőejtőernyőjének, valamint a harci kutató-mentő helikoptereken gyorsan megérkező bajtársainak.

¹⁸ *Is it possible to use a parachute from a falling helicopter?* Online: www.quora.com/Is-it-possible-to-use-a-parachute-from-a-falling-helicopter

2. táblázat: Helikopterveszteségek megoszlása a vietnámi és az afganisztáni háborúban

Veszteségek	Vietnám (1963–1973)	Afganisztán (1979–1989)
harci (db)	kb. 1900	kb. 218-221
nem harci (db)	kb. 2300	kb. 117-119
összesen (db)	kb. 4200	kb. 335-340
megjegyzések	590 harci bevetésre jutott egy lövedéktalálat a helikopterbe, 6600 bevetésre pedig egy teljesen megsemmisült amerikai helikopter	2273 harci bevetésre jutott egy teljesen megsemmisült szovjet helikopter (1988)

Forrás: Kormos László: A helikopterek katonai alkalmazásának tapasztalatai. *Hadtudomány*, 8. (1998), 3.; Edward B. Westermann: *The limits of the Soviet Airpower: the bear versus the mujahideen in Afghanistan, 1979–1989*. Online: www.allworldwars.com/The-Bear-vs-Mujahideen-in-Afghanistan-by-Edward-Westermann.html; *Air force in local wars*. Online: www.skywar.ru/afghanistanen.html

A magyar katonai helikoptereken napjainkig alkalmazott személyzeti mentőejtőernyők

A Magyar Honvédség és elődje, a Magyar Néphadsereg forgószárnyas repülőképeségét a szovjet/országi eredetű helikopterdominancia évtizedekre meghatározta, amelybe nemcsak a rendszeresített légi járművek valamennyi modifikációjával (3. táblázat), hanem az azok fedélzetén elhelyezett személyi ejtőernyős mentőeszközökkel (4. táblázat) kapcsolatos, kötelezően végrehajtandó üzemeltetői és üzemeltetői tevékenység együttese (kötelező ellenőrzés, karbantartás, javítás, illetve berepülés és beugrás) is beletartozott.

A táblázatok a 2019-es év végéig tartó több évtizedes időszakot foglalják össze.

A magyar katonai helikopterek

3. táblázat: A rendszeresített helikoptertípusok és maximális repülési sebesség értékeik

Helikopter-típusok	Modifikáció	A típus besorolási kategóriája	Szolgálati idő	Max. repülési sebesség (km/h)
Mil Mi-4	A	egymotoros, egyforgószárnyas, faroklégcsavaros, többfeladatú közepes helikopter	1955–1963	214
Mil Mi-1	M MU	egymotoros, egyforgószárnyas, faroklégcsavaros, többfeladatú könnyű helikopter	1961–1982	170
			1961–1982	170
Mil Mi-8	T	kéthajtóműves, egyforgószárnyas, faroklégcsavaros, többfeladatú közepes helikopter	1969–napjainkig	250
	P		1969–napjainkig	250
	PSz		1982–?	250
Kamov Ka-26	-	többfeladatú könnyű helikopter	1971–1990	170
Mil Mi-24	D	harci(szállító) / csatahelikopter	1978–2013	320
	V		1985–napjainkig	330
	P		2004–napjainkig	330

Helikopter-típusok	Modifikáció	A típus besorolási kategóriája	Szolgálati idő	Max. repülési sebesség (km/h)
Mil Mi-2	-	könnyű szállító-, kiképző-, futár-helikopter	1982–2000	190
Mil Mi-9	I	Mi-8 alaptípusból kiépített mozgó, vagy kitelepített harcálláspont	1984–1999	250
Mil Mi-17	-	közepes szállító helikopter	1987–napjainkig	250
	P	elektronikai zavaró helikopter	1990–napjainkig	250
Airbus AS-350	B	közepes többcélú helikopter	2016–napjainkig	272

Forrás: Brandt Gyula: *A 87. Bakony Harcihelikopter Ezred története 1958–2004*. Szentkirályszabadja, a Bakony Harcihelikopter Ezred Szociális Alapítványa, 2004. 683–721; Kovács Vilmos – Illésfalvi Péter – Nagy András: *Capronitól a Gripenig*. Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2008. 98–111; Kenyeres Dénes: *Könnyűhelikopterek (Mi-1M, Ka-26) története a magyar haderőben 1961–1990*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2005. 5–12; Kenyeres Dénes: *Mi-8 típusú közepes szállítóhelikopterek a magyar haderőben 1969–2009*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2010. 5–6; Kenyeres Dénes: *Mi-2 típusú helikopterek alkalmazása a magyar hadseregben*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2008. 6–7; Szentesi György: *Katonai repülőgépek és helikopterek. Típuskönyv*. Budapest, Zrínyi, 1987. 318–327; *EASA Type Certification Data Sheet / EASA TC No.: R.008/ AS 350 B, AS 350 D, AS 350 B1, AS 350 B2, AS 350 BA, AS 350 BB, AS 350 B3, EC 130 B4, EC 130. T2*, TCDS.R.008, Issue 06 – 25.05.2012. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-R.008_Eurocopter_AS350-EC130-06-25052012.pdf

A magyar haderők helikoptereinek pilóta-mentőejtőernyői

4. táblázat: *A magyar katonai helikoptereken rendszeresített pilótamentőejtőernyő-típusok*

Harcászati-műszaki jellemzők	Pilótamentőejtőernyő-típusok				
	Sz-3, Sz-3-3	Sz-4, Sz-4U	Sz-3-3 D	ATL-88/98-S-1	ATL-88/90-1
Az ejtőernyő kialakítása	ülő	ülő	ülő	ülő	háti
Kupolafelület (m ²)	56,5	53, 54	58	36	36
Kupola alak	négyszögletes, levágott sarkokkal	(kiterített sík) körkupolás	négyszögletes, levágott sarkokkal	aerokónikus	aerokónikus
Írányíthatóság	nem	nem, igen	nem	igen	igen
Süllyedési sebesség (m/s)	6	6	6	5–7,3	5–7,3
Névleges terhelés (kg)	100	100	100	115	115
Min. ugrási magasság (m) ¹⁹	100 (180 km/h)	60 (150 km/h ²⁰) 70 (120 km/h)	150 (150 km/h)	100 (110 km/h)	100 (110 km/h)

¹⁹ A minimális ugrási magasság a repülőeszköz vészelhagyásának úgynevezett AGL (*above ground level* – földfelszín feletti magasság) szerinti értékét, míg a zárójelbe tett minimális vízszintes repülési sebesség azt a paramétert jelenti, amely az adott magasságban történő vészelhagyás esetén még biztosítja az ejtőernyő működését.

²⁰ Repülőgépről végrehajtott vészelhagyás esetén a repülési sebesség minimális értéke 100 km/h.

Harcászati-műszaki jellemzők	Pilotamentőejtőernyő-típusok				
	Sz-3, Sz-3-3	Sz-4, Sz-4U	Sz-3-3 D	ATL-88/98-S-1	ATL-88/90-1
Max. nyitási magasság (m)	9000	6000, 4000	nincs megadva	nincs megadva	nincs megadva
Max. nyitási sebesség (km/h)	600	400	600	277,8	277,8
Élettartam (év / ugrásszám)	12 év / sebességtől függő ²¹	12 év / sebességtől függő ²²	12 év / gyakorlatilag korlátlan	15+5 év / gyakorlatilag korlátlan	15+5 év / gyakorlatilag korlátlan
Helikopter-típusok	Mi-1, Mi-2, Mi-8, Mi-24, Ka-26	Mi-2, Mi-8, Mi-9, Mi-17, Ka-26	Mi-24	Mi-8, Mi-17, Mi-24	Mi-8, Mi-17
Alkalmazva a típusokon (...-... között)	1964–1976, 1976–1988	1964–1984, 1984–1999	1999–2013	2014-től napjainkig	2019-től napjainkig
Gyártó ország	Szovjetunió		Németország	Csehország	

Forrás: Re-552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1964. 21–33; Техническое описание С-3-3. 3–6; В. А. Смирнов: Справочник инструктора-парашютиста. Москва, ДОСААФ СССР, 1989. 5–8; Re-552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1964. 33–35; Инструкция по укладке и эксплуатации парашюта С-4. 1969. 3–4.; Спасательный управляемый парашют С-4У. Техническое описание инструкция по укладке и эксплуатации. 3–5; В. А. Смирнов: Справочник инструктора-парашютиста. 14–25; Sz-4U típusú irányítható mentőejtőernyő 6772-67 számú műszaki leírása és 6773-67 számú hajtogatási és üzemeltetési kézikönyve. Budapest, Magyar Repülő Szövetség Ejtőernyős Szakbizottság, 1993. 7–11; Az S-3-3 D típusú mentő ejtőernyő kézikönyve. Magyar Honvédség Repülőműszaki Szolgálatfőnökség, 2002. 4; Fallschirmhandbuch für den Rettungsfallschirm S-3-3 D. Spekon GmbH., 1999. október 4; Az MPAAD Pilot automata biztonsági készülékkel felszerelt ATL-88/98-S-1 mentőernyő P-001–10 sz. használati, kiszolgálási, hajtogatási, kezelési, tárolási, karbantartási és javítási kézikönyve. 2. kiadás, ConsulTrade 2002 Kft., 2010.08.31.; Az MPAAD Pilot automata nyitókészülékkel ellátott ATL-88/90-1 típusú mentőejtőernyő P-001-09 számú kiszolgálási, üzemeltetési, hajtogatási, kezelési, tárolási, karbantartási és javítási kézikönyve. 6. sz. kiadás, ConsulTrade 2002 Kft., 2015.

A pilóta-mentőejtőernyőkkel kapcsolatosan – a fenti táblázatok ismételt áttekintését követően – érdemes néhány érdekességre felhívunk a figyelmet:

1. A szovjet Sz-3, Sz-3-3, illetve a német Sz-3-3 D típusú mentőejtőernyők eredetileg nagy sebességű repülőgépek személyzeti részére készültek, de műszaki-technikai paramétereik lehetővé tették az ezeknél jóval kisebb repülési sebességű helikopterek fedélzetéről történő biztonságos alkalmazhatóságukat is. (Ehhez érdemes összehasonlítani egymással az adott helikopter maximális repülési, valamint az annak fedélzetén rendszeresített mentőejtőernyő-típus ugyancsak maximális nyitási sebességértékeit!)

²¹ Megengedett ugrások száma 600 km/h-s repülési sebesség esetén: 1 ugrás, 350 km/h-s repülési sebesség esetén: 5 ugrás, 250 km/h-s repülési sebesség esetén: 10 ugrás. Az Sz-3-3 típus fő ejtőernyőként a 350 km/h-s repülési sebességig végrehajtott 5 ugrást követően, a kupola és a zsinórzat sérüléséig – Z-2 típusú hasi tartalék ejtőernyővel – gyakorló-kiképzési ugrásokra felhasználható. Később a naptári élettartamát 20 évre növelték.

²² Megengedett ugrások száma 400 km/h-s repülési sebesség esetén: 1 ugrás, 300 km/h-s repülési sebesség esetén: 5 ugrás, 1000 m-es magasságig. Később a naptári élettartamát ugyancsak 20 évre növelték.

2. Amennyiben az Sz-3 – mint a Magyar Néphadseregben helikopterfedélzeten rendszeresített első, dokumentáltan ismert – személyzeti mentőejtőernyő-típust vizsgáljuk, feltűnik, hogy annak rendszerbeállítása gyakorlatilag már a Mi-4A-típus kivonását követően történt meg. Viszont ugyancsak dokumentált tény, hogy a Mi-4A magyar repülő-hajózó személyzetei számára már rendszeresítettek mentőejtőernyőt a repülési feladatok biztosításához,²³ így az vélelmezhetően a magyar gyártmányú, ME-51 Ű. típusú mentőejtőernyő²⁴ lehetett.
3. Ugyancsak érdekesség a háti kialakítású ATL-88/90-1 típusú mentőejtőernyő helikopter fedélzetén történő alkalmazásának gyakorlata is, amely egy „alulról jött kezdeményezés”-nek köszönhetően kezdett lassan általánossá válni²⁵ a Magyar Honvédség Mi-8 és Mi-17 típusú szállító helikoptereinek fedélzetén.²⁶

A fenti megállapítások (is) bizonyítják, hogy – az ismertetett nehézségek ellenére – mindig meg lehetett találni a megoldást valamennyi magyar katonai forgószárnyas légi jármű személyi ejtőernyős mentőberendezéssel történő ellátására, amennyiben azt a Magyar Néphadsereg és a Magyar Honvédség szükségesnek tartotta. Az új, német gyártmányú helikoptereink megjelenéséig ez alól az egyedüli kivételt, az Airbus AS-350 B típus jelentette, amely – sajnálatos módon – a mai napig nincs ellátva személyzeti mentőejtőernyővel.

A Magyar Néphadsereg és a Magyar Honvédség helikoptereinek fedélzetén a repülő-hajózó állomány részére rendszeresített mentőejtőernyők megbízhatósága

Kijelenthető, hogy valamennyi korábbi forgószárnyas repülőeszközön rendszeresített személyi ejtőernyős mentőeszköz az előírások szerint működött. Erről üzemeltetőiknek – az akkori előírások szerint kötelező – légi üzemképességi vizsgálat (beugrás)

²³ Győri János: *Akiket nem kísért a szerencse*. Budapest, Magyar Repüléstörténeti Társaság, 2013. 28.

²⁴ Az ME-51 Ű. típusú, ülésészébe helyezhető pilóta-mentőejtőernyő a Székesfehérvári Konfekció Vállalat terméke volt, amelyet elsősorban merevszárnyú repülőtechnikán történő alkalmazásra készített a hazai textilipar. Kifejlesztésére azért volt szükség, mert a Szovjetunióból nem mindig sikerült a megrendelt mentőejtőernyőket időben és mennyiségben is pontosan megkapni, ezért szükségessé vált a hazai ejtőernyőgyártás ismételt beindítása. Vélelmezhető, hogy az Iljusin IL-10 csatarepülőgépek 1956-ban történt kivonását követően, az azokon alkalmazott ME-51 Ű. pilóta-mentőejtőernyők egy része „vándorolt át” a Mi-4A típusú helikopterekre.

²⁵ Éppen a fedélzeti technikus állomány részéről merült fel igényként a saját ATL-88/98-S-1 típusú ülő ejtőernyőjük ATL-88/90-1 típusú háti ejtőernyőre történő lecserélése, például ejtőernyős dobási feladatok végrehajtásakor, ami jól szemlélteti a pilóta-mentőejtőernyőhöz való hozzáállásuk komolyságát.

²⁶ A Magyar Honvédség 86. Szolnok Helikopter Bázis által szervezett Repülés-Módszertani Biztonsági Tanács egyik 2019. évi ülésén felvetett ötletet hamarosan tett is követte: a fedélzeti technikus állomány több tagja viselte – természetesen engedéllyel – a mentőejtőernyő-típust repülési feladatai során. Az eddigi tapasztalatok biztatóak, ugyanakkor nem csorbul a repülésbiztonság sem: a két ejtőernyő „csak” tok-hevederzet rendszerében tér el egymástól, fő alkotórészeik, illetve nyitási rendszereik tökéletes azonossága mellett (lásd 4. táblázat).

során ténylegesen és tételesen is meg kellett győződniük, ezt minden esetben végre is hajtották.²⁷

A korabeli szakmai utasítások szerint mentőejtőernyőket – az alapesetben az ejtőernyős ugrás szándékával a repülőeszköz fedélzetére felvitt (légideszant) fő ejtőernyőkhöz hasonlóan – a haderőben történő rendszerbe állításkor, majd azt követően 5 évente vetették alá légi üzemképességi vizsgálatnak, egy összetett alkalmassági vizsgálaton belül. (7. ábra)



7. ábra: A Magyar Néphadsereg Ejtőernyős és Deszant Szolgálatának tagjai az 1980-as évek második felében, Sz-4U és Sz-3-3 típusú pilóta-mentőejtőernyők beugrására készülve.

Forrás: Boda József – Ruszin Romulusz: Levegőből harcba. A magyar katonai ejtőernyőzés története és változó feladatrendszere. Budapest, Zrínyi, 2012. 118.

A későbbiekben az ejtőernyők kötelező légi üzemképességi vizsgálatának a hasznosságát – elsősorban a polgári (sport-) repülés területén alkalmazott mentőejtőernyők okán – sokan megkérdőjelezték,²⁸ végül magát az eljárást is megszüntették²⁹ az 1990-es években.

²⁷ Kezdetben a katonai, valamint a polgári (sport-) repülés területén alkalmazott ejtőernyők üzemeltetési és üzembantartási rendszere teljesen azonos volt egymással.

²⁸ A polgári (sport-) célú pilóta-mentőejtőernyők kötelező légi alkalmassági vizsgálatával kapcsolatos ellenállást egyrészt a vizsgálati díj kifizetésének kötelezettsége jelentette, amelyet az ejtőernyő tulajdonosának a Légiközlekedési Igazgatóság, majd a Polgári Légügyi Hivatal részére kellett teljesítenie. (Maga az eljárás tulajdonképpen nem is különbözött a személygépkocsik műszaki vizsgájánál megszokottól, annak költsége is hasonló nagyságrendű volt. De tény, hogy ez utóbbi vizsgálatot is többen feleslegesnek tartják.)

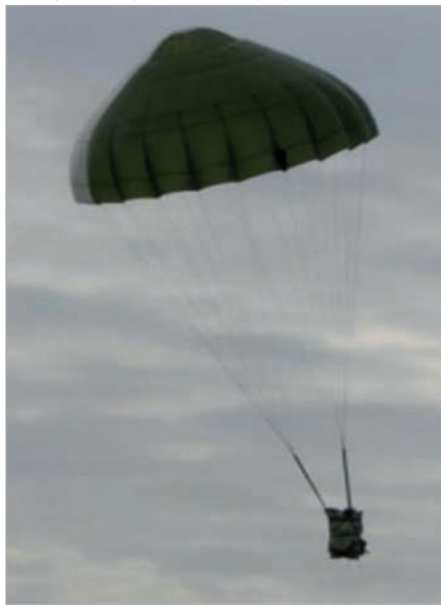
²⁹ Az ejtőernyők kötelező jellegű légi alkalmassági vizsgálatával szembeni ellenállásnál komoly szakmai indokot jelentett az ugrásszám alapú korlátozás (lásd 4. táblázat, 21. és 22. l.), ugyanis előfordulhatott az az extrém helyzet is, hogy az adott mentőejtőernyő az üzemképességét éppen az 5 évente kötelező légi alkalmassági vizsgálatok „eredményeképpen” veszítette el. Az ejtőernyő-technológiában időközben

Ez végül odáig vezetett, hogy már a Magyar Honvédségben is okafogyottnak találták a mentőejtőernyők – addig – kötelező légi alkalmassági vizsgálatát.³⁰ (8. ábra) Ebből kifolyólag a kifejezetten mentési célra szolgáló ejtőernyők légi üzemképességi ellenőrző vizsgálatára csak ritkán, nagyon indokolt esetben (9. ábra) kerülhet(ett) sor.³¹



8. ábra: Sz-4U típusú pilóta-mentőernyő légi alkalmassági vizsgálata

Forrás: C-4y (olv. Sz-4u) ülő pilóta mentőernyő
Online: MN1936 katonai életképek 1989–1990. Online: www.d6.felhout.hu/gallery/v/eje/foto_galeriak/MN/E049.html



9. ábra: ATL-88/98-S-1 típusú pilóta-mentőejtőernyő úgynevezett „bábús bedobása”

Forrás: a szerzőhármas egyik tagja által Szolnokon, a katonai repülőtéren, 2014. augusztus 25-én készített eredeti felvétel

bekövetkezett fejlődés eredményeként a pilóta-mentőejtőernyők üzemeltethetőségét a végrehajtott ugrásszám alapvetően ma már nem korlátozza, „csak” a naptári üzemidő betartása kötelező. Vagyis a katonai felhasználású pilóta-mentőejtőernyők célirányos légi üzemképességi vizsgálatának tulajdonképpen nincs, nem lehet akadálya!

³⁰ A Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokának 2016. június 5-én kibocsátott 323/2016 Nyt. számú intézkedésében foglaltak alapján. Ez azt eredményezte, hogy alapesetben már az újonnan rendszerbe állítandó pilóta-mentőejtőernyő egyedi alkalmasságát a gyártó saját vizsgálatain alapuló megfeleléségi nyilatkozat alapján – sok esetben „csak” *on-desk* alapon, minden egyéb kiegészítő vizsgálat nélkül – elfogadják.

³¹ Erre jó példa az ATL-88/98-S-1 típusú pilóta-mentőejtőernyő – csapatpróba keretén belül – An-26 típusú szállító repülőgép fedélzetéről végrehajtott úgynevezett „bábús bedobása” Szolnokon, 2014. augusztus 25-én (lásd 9. ábra), amelyre az ejtőernyő MPAAD Pilot típusú elektronikus nyitóeszközének a gyártó által javasolt paraméterektől eltérő módon történő beállítása helyességének gyakorlati igazolása okán került sor. Ez a bábús bedobás is bizonyította, hogy „egyetlen gyakorlati vizsgálat sikeres kimenetele is konkrétan választ ad egy adott rendszer megbízhatóságára, mint végtelenül nagy számosságú papírlapokon igazolt mérnöki számítások összessége”. Lásd Szaniszló Zsolt: 1961. április 12. Gagarin földet érése személyi ejtőernyővel... valamint a folyamat technikai és személyi háttere. *Repüléstudományi Közlemények*, 28. (2016), 3. 130.

Vélelmezhető azonban, hogy ez a gyakorlat negatív módon befolyásolja a repülő-hajózó állomány személyi mentőejtőernyőbe vetett bizalmát: egy adott mentőeszköz csak „pápiron igazolt” minősége, valamint egy tényleges, „éles helyzetben” végrehajtott alkalmazás soha nem lehet egyenrangú egymással.

A már rendszerbe állított mentőejtőernyők – legalább adott hányadának – időnkénti „bábús bedobás”-a (amelyet jól meghatározott, visszaellenőrizhető működési [repülési] paraméterek és megfelelő külső körülmények között, dokumentáltan hajthat[ná]nak végre), sokkal jobban erősítené a repülő-hajózó állomány ejtőernyő-technikába vetett bizalmát, mint bármilyen internetes híradás a pilóta-mentőejtőernyő kényszerű alkalmazásáról, amellyel kapcsolatosan nem rendelkezünk, nem rendelkezhetünk kellő, hiteles információval.

Ehhez kapcsolódóan kutatómunkát folytattunk a Magyar Honvédségben (is) rendszeresített, még „keleti” eredetű katonai helikoptertípusokkal kapcsolatosan, azt leszűkítve „csak” a magyar légtérben végrehajtott sikeres vagy sikertelen ejtőernyős vészelhagyásokra. A gyűjtés eredménye – a tanulmány témájának megfelelően – magába foglalja a nemcsak magyar, hanem a – magyar haderőben (is) többnyire még rendszerben lévő – szovjet felségjel alatt repülő „keleti” forgószárnyasokkal kapcsolatos repülőeseményeket³² is.

A katonai helikoptereken rendszeresített személyzeti mentőejtőernyők hazai alkalmazási tapasztalatai

A magyar katonai helikoptereken rendszeresített személyi mentőejtőernyők alkalmazásai és annak tapasztalatai

A magyar katonai forgószárnyas repülés történetében két szállító helikopter esetében nyílt alkalom az adott típushoz rendszeresített mentőejtőernyők éles kipróbálására.

Magyar Néphadsereg 87. Szállítóhelikopter Ezred, Szentkirályszabadja, a 10422-es oldalszámú Mi-8T típusú helikopter katasztrófája, 1976. január 22.

1976. január 22-én a 87. Szállítóhelikopter Ezred nappal, bonyolult idős kiképzési repülést tervezett végrehajtani, amelyet el is kezdtek, emelt időjárási minimum szerint. A repülőtér körzetében a meteorológiai viszonyok a repülés megkezdése után másfél órával olyan hirtelen leromlottak, hogy az észleléstől számítva 8–10 perc múlva már a minimum követelmények alá süllyedtek. Viharos gyorsasággal az északnyugati irányból érkező,

³² A katasztrófával végződő eseteknél feltüntettük a repülőhalált halt repülő-hajózó elődeink neveit is, részben az azóta eltelt idő, valamint a repülésbiztonsági vizsgálatok lezárta okán. Az érintettek neveinek elhallgatása már kegyeleti okokból is okafogyottá vált, ugyanis a tanulmány készítésénél felhasznált forrásanyagokból azok – pontosan dokumentáltan – előtalálhatók.

télen szokatlan zivatartevékenység és szinte áthatolhatatlan sűrű hózápor takarta be a repülőter körzetét.³³

Ilyen időjárási körülmények között a 10422 oldalszámú helikopter a Kufa Mihály százados gépparancsnok, Dányi Balázs hadnagy másodpilóta és Bertalan Béla őrmester fedélzeti technikusból álló személyzettel OSzP³⁴ rendszerrepülést végrehajtva, a leszálló-irányra történő ráfordulás közben, a repülőtertől 12–14 km-re 800 m magasan belerepülve az intenzív csapadékszónába – ahol a hajtóművek beömlőnyílásai hóval, jéggel eltömődtek és – mindkét hajtóművük leállt. Kufa százados parancsára – „Mindkét hajtóművem leállt, zuhanunk, ugorjatok!”³⁵ – a másodpilóta és a technikus ejtőernyővel elhagyták a gépet, ő pedig Káptalanfüred térségében autorotációval leszállt a viharos Balatonra.

A kivizsgálás során megállapították, hogy ekkor még mindhárman, sérülésmentesen életben voltak, de a hideg, fagyponthoz közeli vízben életüket veszítették. Az időjárás javultával felkutatásuk azonnal megkezdődött, és heteken keresztül tartott. Ennek az volt az oka, hogy a Balaton másnapra befagyott, így holttestüket csak jóval később, a tavaszi jégolvadást követően találták meg a bűvárok.

Magyar Néphadsereg 87. Szállítóhelikopter Ezred, Szentkirályszabadja, a 927-es oldalszámú Mi-8T típusú helikopter katasztrófája, 1981. május 04.

„1981. május 4-én a 87. Szállítóhelikopter Ezred négy géppel, éjszakai kiképzési repülést hajtott végre, bonyolult/minimum időjárási viszonyok között... A 927-es oldalszámú helikopter a Szikora Miklós alezredes gépparancsnok, Szabó Gábor alezredes oktató-másodpilóta és Kozsahuba György törzsőrmester fedélzeti technikus összetételű személyzettel időjárási minimum mellett, leszálláshoz történő bejövétel végső szakaszában, hátszélben, örvénygyűrű üzemmódba került, ennek következtében erősen megsüllyedve, durván ért földet 300 m-re a leszállópályától nyugatra, elpattant, majd az ismételt talaj érés után megsemmisült. A személyzet pedig életét veszítette.”³⁶

A katasztrófával kapcsolatos másik forrásanyagból az állapítható meg, hogy a helikopterben ülve „csak” a személyzet két tagja veszítette életét. „Gabi”³⁷ lélekjelenlétét bizonyítja, hogy az utolsó pillanatban még kiugrott a helikopterből, az alacsony magasság ellenére az ejtőernyője ugyan még kihúzódott, de már nem volt ideje kinyílni.

³³ Brandt (2004) i. m. 109–110.

³⁴ OSzP (ОСП – Опытная Система Посадков): (Gyakorlati) tapasztalatokon alapuló leszállító rendszer, amely segítségével a korabeli légi jármű személyzete a szovjet katonai szabványok szerint épített repülőterekre történő műszeres bejövételt és leszállást, bonyolult időjárási viszonyok között is biztonságosan végre tudta hajtani.

³⁵ Kenyeres (2010) i. m. 520.

³⁶ Kenyeres (2010) i. m. 520.

³⁷ Szabó Gábor alezredes a szentkirályszabadjai helikopteres alakulat repülőterén működő Asbóth Oszkár Ejtőernyős Sportegyesület vezetője volt, így a kötelezően végrehajtott kiképzési ugrásain felül viszonylag nagyszámú (sport-) ejtőernyős ugrási tapasztalattal is rendelkezett. Vélemezhetően ez is hozzájárult a helyzet felismeréséhez, az ejtőernyős kényszerelhagyásról szóló döntése meghozásához és végrehajtásához.

Az Sz-4 típusú hajózó mentőernyő kupolája a földön hosszában nyílási folyamatban, kihúzódot állapotban feküdt.”³⁸

A mentőejtőernyők alkalmazásának tapasztalatai

A megtörtént eseteket több nézőpontból célszerű elemezni és értelmezni. A magyar katonai alkalmazásokat vizsgálva a mérleg negatív: összesen három repülő-hajózó veszítette életét olyan módon, hogy közülük ketten már a tökéletesen működő pilóta-mentőejtőernyővel történő leszállást követően haltak meg.

Esetükben a túléléshez „csak” az úgynevezett „hajózószerecsse” hiányzott: ugyanis a „földet érés” helyén uralkodó körülmények miatt az életben maradásra gyakorlatilag esélyük sem volt. Ezért – ha az alkalmazás végkimenetelét (a mentés sikertelenségét) nézzük – irreleváns, hogy az Sz-4, illetve Sz-4U típusú pilóta-mentőejtőernyő teljes működési folyamata – egyébként – a rendeltetésének megfelelően, az elvárt módon maradéktalanul végbement.

A harmadik személy pilóta-mentőejtőernyője is ugyancsak az előírás szerint lépett működésbe, de annak kupolája – a másik két személyi mentőejtőernyővel ellentétben – már nem tudott belobbanni, noha ennek – mivel az ejtőernyő zsinórai lefűződtek, és az úgynevezett „repülőzsák” is lehúzódot a kupoláról – alapvető akadálya már nem lehetett.

Kijelenthető, hogy ebben az esetben kizárólagosan az időtényező hiánya merülhet fel hiányosságként, mivel az egyéb fizikai körülmények biztosítottak voltak az ejtőernyő kupolájának levegővel való feltöltődéséhez, vagyis az ő esetében a „hajózószerecsse” önmagában gyakorlatilag nem lehetett elégséges a túléléshez.

Fontos viszont, hogy a repülőhalált halt hat főből hárman – a vonatkozó előírások szerint – legalább megpróbálták megmenteni az életüket a személyi mentőejtőernyő alkalmazásával.

³⁸ Boda József: *Ejtőernyősök. Leventék, sorkötelesek és sportolók – a polgári ejtőernyőzés története Magyarországon*. Budapest, Zrínyi, 2015. 183. Azt azért érdemes megemlíteni, hogy volt olyan vélemény is, amely szerint a repülőhalált halt Szabó alezredes pilóta-mentőejtőernyője már a helikopter földhöz csapódását követően, a roncsból történő kirepülését követően nyílt ki, ennek vélelmezhetőségét azonban annak szerkezeti kialakítása teszi a legkevésbé hihetővé. (Az úgynevezett „önkidobós” kialakítású nyitóejtőernyő – amelynek speciális kialakítása biztosítja, hogy annak kupolája gyakorlatilag ne akadhasson be a helikopter sárkányszerkezetébe a gépelhagyást követő azonnali ejtőernyőnyitás esetében – a tok földi kinyitása esetén nem képes kihúzni a teljes, kupolahosszúságú belső zsákot, valamint az abba rejtett ejtőernyő-kupolát. Ilyen módon azonban a mentőejtőernyő kupolája még nem kerül[het] belobbanásra kész állapotba, mert ahhoz először is le kell húzni róla az úgynevezett „repülőzsák” kialakítású belső zsákot úgy, hogy közben a 6 m hosszúságú zsinórok is lefűződjenek... Összességében, mindenképpen tényként kell elfogadni, hogy az ejtőernyő nyitása zuhanás közben történt meg, és annak – be nem fejeződött – nyílási folyamata is a zuhanás során ment végre.)

A szovjet katonai helikoptereken rendszeresített személyi mentőejtőernyők alkalmazásai és annak tapasztalatai

A következő két esetet azért érdemes röviden áttekinteni, mert ezek közé tartozik a hazánkban katonai helikopter fedélzetéről végrehajtott egyetlen sikeres ejtőernyős vészelhagyás.

Szovjet Légierő, 396. Önálló Gárda Helikopter Ezred, Kalocsa, ismeretlen oldalszámú Mi-6 típusú helikopterek katasztrófája, 1978. december 8.

„Két helikopter eltérő zónákban 1200 m-es magasságban dolgozott. A távoli irányadóhoz 3 perces időkülönbséggel kellett volna érkezniük, de az egyik személyzet, – mivel feladatát befejezte – pont három perccel korábban ért oda, s összeütközött a másik, szabályosan ott lévő géppel. Mind a tizenkét, fedélzeten lévő ember életét veszítette. Az egyik parancsnok próbált kiugrani ejtőernyővel, de nem volt megfelelő a magasság ehhez.”³⁹

Szovjet Légierő, 488. Önálló Helikopter Ezred, Kecskemét-Kadafalva, a 14-es oldalszámú Mi-24V típusú helikopter balesete, 1989. október 4.

„Éjjel, 300 m-es magasságon leállt a helikopter forgószárnya. A fedélzeti technikus, aki a deszant térben volt,⁴⁰ kiugrott ejtőernyővel. A gép a földet érést követően az oldalára dőlt, ettől a pilóta komolyabban megsérült, s közel fél évig nem repülhetett.”⁴¹

A mentőejtőernyők alkalmazásának tapasztalatai

A szovjet katonai alkalmazásokat vizsgálva egyenlőségjelet kell tennünk az Sz-4, illetve a PN-58 típusú pilóta-mentőejtőernyők sikeres és sikertelen alkalmazásai közé, s bár eredményességét tekintve már így is jobb, mint a magyar, jelentősége mégsem ez.

³⁹ Vándor Károly: *Légierő társbérletben avagy A Szovjet Légierő és Légvédelem története Magyarországon és Ausztriában (1944–1991.) II. kötet*. Magánkiadás. 91.

⁴⁰ Kevesek által ismert tény, hogy a Mi-24 típusú harci helikoptert alapesetben a világ bármely haderejében – hazánkat és Afganisztánt kivéve – háromfős repülő-hajózó személyzet üzemelteti. A fedélzeti technikus helye a gépparancsnoki ülés mögötti kis méretű alagútban található (lásd 5. ábra), ahonnan képes vizuálisan ellenőrizni a műszerfalon elhelyezett kijelzők egy részét, illetve – kifejezetten műszaki meghibásodás esetén – verbálisan segíteni a botkormány mögött ülő gépparancsnok tevékenységét.

⁴¹ Vándor i. m. 100.

Tény, hogy az összesen tizenöt főből „csak” ketten hagyták el ejtőernyővel a fedélzetet – és az ejtőernyős vészelhagyás csak az utóbbi esetben zárult sikeresen⁴² – cselekedetüket mind a két esetben hasznosnak kell ítélni. Nemcsak azért, mert képesek voltak döntést hozni az ejtőernyős vészelhagyásról, hanem azért is, mert – gyakorlatilag – zuhanó helikopterből kellett végrehajtani az adott típus légi üzemeltetési utasításában ezzel kapcsolatosan előírt cselekvési sorrendet, egy úgynevezett „időkényszeres stressz-szituáció”-ban. Ehhez természetesen nem lehetett elégséges az előírt cselekvési sorrend ismerete, szükség volt annak készség szintű begyakorlására is. Különösen igaz ez a Mi-24-es típusú helikopter baleseténél, ahol erre éjszaka és vélelmezhetően nem kivilágított deszantter belsejéből került sor.

A katonai helikoptereken rendszeresített személyzeti mentőejtőernyők magyar vonatkozású alkalmazásából levont összegzett megállapítások

Figyelembe véve, hogy a vizsgált alacsony esetszám miatt szignifikáns eredmény nem nyerhető, a következők azonban mégis felelősséggel megállapíthatók:

1. valamennyi vizsgált esetben a mentőejtőernyő az előírásoknak megfelelően működésbe lépett, amennyiben rendelkezésre álltak az ahhoz szükséges fizikai körülmények;
2. valamennyi vizsgált esetben a mentőejtőernyő előírás szerint történő működésbe lépésekor vélelmezhető abban a repülő-hajózó állomány aktív közreműködése (kézi nyitással történő üzemeltetése), ami a dokumentált repülési (vészelhagyási) magasságok alapján tulajdonképpen nem is lehet kérdéses.
A kézi nyitás az adott mentőejtőernyő-típus kötelező tartozékát jelentő – akkor még kizárólagosan mechanikus módon működő – nyitóműszer mellett⁴³ a repülő-hajózók készség szintű ejtőernyős képzettségének szükségességét is kihangsúlyozza;
3. valamennyi vizsgált esetben az ejtőernyős vészelhagyás nem stacioner repülési üzemmódban, hanem változó repülési körülmények között került végrehajtásra. Ez kifejezetten a pilóta-mentőejtőernyők kis repülési (vészelhagyási) sebesség melletti alkalmazhatóságának fontosságára hívja fel a figyelmet.

⁴² A Mi-24-es típusból ejtőernyős vészelhagyást végrehajtó fedélzeti technikus a földet érésnél lábsérülést szenvedett, míg az operátorfülkében ülő, négy pontos biztonsági övvel rögzített repülő-hajózó sérülés nélkül úszta meg az esetet. Az ejtőernyős vészelhagyást ennek ellenére mégis eredményesnek kell tekinteni, ugyanis a fedélzeti technikus – a bekövetkezett lábsérülése ellenére – helyes döntést hozott. A Mi-24-es típusú helikopter deszantterének kialakításával, valamint a fedélzeti technikus repülési feladat végrehajtása során abban elfoglalt helyével kapcsolatos gyakorlati ismereteink alapján erősen vélelmezhető, hogy a fedélzeti technikusnak a helikopter fedélzetén maradván nem lett volna esélye túlélni a becsapódásból származó dinamikus igénybevételt.

⁴³ Az Sz-4, Sz-4U és PN-58 típusú mentőejtőernyőknél PPK-U (ППК-У [Парашютный Полуавтомат Комбинированный–Унифицированный]: Kombinált, Félautomata, Egységes működésű Ejtőernyő) típusú nyitóműszert alkalmaztak, amely az ún. „párhuzamos redundancia” elvén biztosította az ejtőernyőtok nyitását, amennyiben azt a gépelhagyást követően a repülő-hajózó személy valamilyen okból nem hajtotta végre.

Ezzel kapcsolatosan megjegyzendő, hogy az Sz-4 és Sz-4U típusok felhasználását elsődlegesen a „keleti” helikopterekre tervezték, ugyanis az Sz-4 típusú pilóta-mentőejtőernyő üzemeltetési utasításában leírt biztonságos működési jellemzők kifejezetten utalnak arra is, hogy annak létrehozása és tesztelése során a függésben lévő helikopterből történő alkalmazhatóság⁴⁴ kérdését is vizsgálták.

A fenti megállapítások ugyanakkor egyben felhívják a figyelmet a pilóta-mentőejtőernyők biztonságos üzemeltetésével kapcsolatos paraméterek felülvizsgálatára, azok tényleges igazolására, amely gyakorlati próbák végrehajtását tenné szükségessé.

Ez azért is lenne hasznos, mert napjainkban a világpiacról szabadon beszerezhető bármely pilóta-mentőejtőernyőről – annak biztonságos alkalmazhatóságáról – a későbbi üzemeltető csak a gyártó által megadott adatokat veheti alapul, hacsak nem végez saját gyakorlati teszt(ek)et is. Amennyiben erre mégis van igény, a kapott eredmények vagy megerősítik a gyártó által garantált jellemzőket, vagy azok bizonyos mértékű szűkítése válna szükségessé, de nem kérdőjelezhető meg, hogy az ilyen vizsgálatok végrehajtása a repülésbiztonság érdekében mindenképpen hasznos lenne.

Személyzeti mentőejtőernyők napjaink külföldi katonai helikopterein

A külföldi katonai helikoptereken alkalmazott személyzeti mentőejtőernyő-típusok

Napjaink korszerű katonai forgószárnyas repülőeszközein rendszeresített mentőejtőernyő-típusok fontosabb jellemzőit az 5. táblázat foglalja össze. Ebben elsősorban még ugyancsak a „keleti” típusok dominálnak, mivel a személyzeti ejtőernyős mentőberendezéssel kapcsolatos „keleti” és „nyugati” alkalmazási szemlélet alapvetően napjainkra is változatlan maradt, bár a táblázat jobb oldali oszlopában (már) megfigyelhető két „nyugati” modell megjelenése is.

A táblázat összeállításakor arra törekedtünk, hogy abba csak megbízható, hiteles adatok kerüljenek. (Ugyanis hiába szerezhető be napjainkban tulajdonképpen valamennyi eszköz szabadon a világpiacról, bizonyos információk még a továbbiakban sem feltétlenül publikusak.)

⁴⁴ Az Sz-4 típusú pilóta-mentőejtőernyővel végrehajtható vészelhagyás minimális értéke, kifejezetten függési üzemmódban lévő helikopterből: 120 m, azonnali nyitása esetén. (Forrás: Инструкция по укладке и эксплуатации парашюта С-4. 4.). Érdekes módon ezzel kapcsolatos paramétert sem a későbbi Sz-4U típusú orosz nyelvű, sem az Sz-4 típus korábbi magyar nyelvű üzemeltetési utasítása nem tartalmaz. (A bevált gyakorlat alapján a pilóta-mentőernyőkkel kapcsolatos üzemeltetési paraméterek alapvetően repülőgépről végrehajtott ejtőernyős vészelhagyással kapcsolatosan jelentenek mérvado információkat [lásd 4. és 5. táblázat].)

5. táblázat: Napjaink külföldi katonai helikoptertípusain alkalmazott, de kereskedelmi forgalomból beszerezhető személyzeti mentőejtőernyő-típusok

Harcászati- műszaki jellemzők	Pilotamentőejtőernyő-típusok						
	Sz-4B/2 ⁴⁵	PNL-86A	PNL-88M ⁴⁶	Sz-51/2 ⁴⁷	ATL-88/98-S-1	EB85	P/N 2711-519
Az ejtőernyő kialakítása	ülő	mell ⁴⁸	mell ⁴⁹	ülő	ülő	háti	háti
Kupolafelület (m ²)	54	83	85	60	36	nem ismert	nem ismert
Kupola alak	(kiterített sík) körkupolás	nem ismert	nem ismert	(kiterített sík) körkupolás	aerokónikus	nem ismert	nem ismert
Írányíthatóság	nem ismert	nem ismert	nem ismert	nem	igen	nem ismert	nem ismert
Süllyedési sebesség (m/s)	nem ismert	nem ismert	nem ismert	6	5-7,3	nem ismert	nem ismert
Névleges terhelés (kg)	nem ismert	nem ismert	nem ismert	130	115	nem ismert	nem ismert
Min. ugrási magasság (m) ⁵⁰	nem ismert	nem ismert	nem ismert	80 (150 km/h) 70 (120 km/h)	100 (110 km/h)	nem ismert	nem ismert
Max. nyitási magasság (m)	nem ismert	nem ismert	nem ismert	nincs megadva	nincs megadva	4000	nem ismert
Max. nyitási sebesség (km/h)	nem ismert	nem ismert	nem ismert	1100	277,8	nem ismert	nem ismert
Élettartam (év / ugrásszám [annak célja])	20 év / 1 (valós), ill. 5 (gyakorló)	20 év / 1 (valós), ill. 5 (gyakorló)	12 év / 1 (valós)	20 év / 1 (valós)	15+5 év / gyakorlatilag korlátlan	nem ismert	nem ismert
Helikopter-típusok	Mi-24	Mi-24	Mi-6, Mi-8	Ka-27	Mi-8, Mi-17, Mi-171, Mi-24	Sea King ASaC7	NH-90
Gyártó ország	Oroszország				Csehország	Egyesült Királyság	
Gyártó cég	Szolnyecsnogorszkij Mechanikai Művek				MarS a.s.	IrvinGQ	Pioneer Aerospace Co.

Forrás: Каталог продукции. Спасательная парашютная система С-4Б. Online: www.aviaspas.ru/catalog/s-4b/; Каталог продукции. Спасательная парашютная система ПНЛ-86А. Online: www.aviaspas.ru/catalog/pnl-86a/; Каталог продукции. Спасательная парашютная система ПНЛ-88М. Online: www.aviaspas.ru/catalog/pnl-88m/; Каталог продукции. Спасательная парашютная система С-5И. Online: www.aviaspas.ru/catalog/s-5i/; Az MPAAD Pilot automata biztonsági készülékkel felszerelt ATL-88/98-S-1 mentőernyő P-001-10 sz. használati, kiszolgálási, hajtogatási, kezelési, tárolási, karbantartási és javítási kézikönyve. 2. kiadás. ConsulTrade 2002 Kft., 2010. 08. 31.; IrvinGQ Personnel Parachute Assemblies, Emergency Escape Parachute Systems. Online: www.irvingq.com/irvingq-products-services/aerial-delivery-search-and-rescue-products/aerial_delivery_personnel/emergency-escape-parachute-systems/

⁴⁵ Vélelmezhető, hogy ez már az Sz-4U típusú pilóta-mentőejtőernyő újabb modifikációját jelenti. Az Ivanovói Ejtőernyő Gyártó Művek által kínált típusváltozat paramétereit a 6. táblázat tartalmazza.

⁴⁶ Az ejtőernyőnek van gyakorló változata is (PNL-88MT), amellyel 80 ugrást lehet végrehajtani.

⁴⁷ Érdekességet jelent, hogy a típus K modifikációjának 2. szériáját – amely ugyancsak az Ivanovói Ejtőernyő Gyártó Művek terméke – elsősorban katapultülésekhez kínálják megvétele.

⁴⁸ Vélelmezhetően, az ülésrészekben bizonyíthatóan az ülő kialakítású pilóta-mentőejtőernyőt alkalmazzák.

⁴⁹ Vélelmezhetően, az ülésrészekben bizonyíthatóan az ülő kialakítású pilóta-mentőejtőernyőt alkalmazzák.

⁵⁰ Lásd 26. l.j. (a 4. táblázatban is alkalmazott módon).

A „keleti” katonai helikopterek fedélzetén alkalmaznak olyan mentőejtőernyő-típusokat is (lásd 6. táblázat), amelyek a fenti táblázatban nem szerepelnek. Ennek feltételezhető oka, hogy az adott típusok nem kerül(het)nek kereskedelmi forgalomba, mivel a gyártó ország hadiipara – célirányosan – kifejezetten a saját helikopterei személyzete számára fejlesztette ki,⁵¹ és nem is tervezték azok piaci értékesítését.

A pilóta-mentőejtőernyőkkel kapcsolatos szemlélet és gyakorlat változásai

A „keleti” szemlélet

A „kelet”-en uralkodó szemlélet alapvetően változatlan maradt, a mentőejtőernyő továbbra is a katonai légi járművek személyzetének kötelező felszerelése, beleértve a korábbi szovjet/orsz beszerzésű helikopterek napjainkra modernizált változatait is. (6. táblázat)

6. táblázat: Az Sz-4U és a PN-58/3 típusú pilóta-mentőejtőernyő műszaki-technikai paraméterei

Harcászati-műszaki jellemzők	Pilótamentőejtőernyő-típusok	
	Sz-4U	PN-58/3
Az ejtőernyő kialakítása	ülő	hasi
Kupolafelület (m ²)	54	54
Kupola alak	(kiterített sík) körkupolás	(kiterített sík) körkupolás
Írányíthatóság	igen	igen
Süllyedési sebesség (m/s)	6	6
Névleges terhelés (kg)	100	100
Dobási sebesség (km/h)	nincs megadva	180-600
Min. ugrási magasság (m) ⁵²	60 (nincs megadva)	60 (nincs megadva)
Max. nyitási magasság (m)	nincs megadva	5000
Max. nyitási sebesség (km/h)	400	400
Élettartam (év / ugrásszám)	20 év/sebességtől függő ⁵³	nincs megadva
Gyártó ország	Oroszország	
Gyártó cég	Ivanovói Ejtőernyő Gyártó Művek	

Forrás: Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue steerable parachute system, type S-4U. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm; Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue parachute system, type PN-58 series 3. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm

⁵¹ Jó példa a Mi-28-as harci helikopter N modifikációjának – a későbbiekben bemutatásra kerülő – PSz-800 típusú pilóta-mentőejtőernyője, amelyről nyílt forrásból alapvetően lehetetlen információhoz jutni. (Annak ellenére, hogy a helikoptertípus fent nevezett modifikációjának exportváltozatát mind az iraki, mind az algériai hadsereg rendszerbe állította, nem ismert, hogy az adott országok pilótái a helikoptert milyen mentőejtőernyővel, esetleg anélkül üzemeltetik-e.)

⁵² Lásd 26. l. (a 4. és az 5. táblázatban is alkalmazott módon).

⁵³ Megengedett ugrásszám 300 km/h-s repülési sebesség esetén: 5 db, 400 km/h-s repülési sebesség esetén: 1 db. A Magyar Néphadseregben, majd később a Magyar Honvédségben – a korabeli gyártói előírásoknak megfelelően – a típus akkori modifikációját csak 12 naptári éven keresztül lehetett üzemeltetni. Ezt napjainkban a gyártó – az ejtőernyőtípus eddigi gyakorlati alkalmazási tapasztalatai alapján – 20 évre növelte.

A fenti táblázatban szereplő Sz-4U (10. ábra) és PN-58/3 (11. ábra) mentőejtőernyő-típusok ugyancsak beszerezhetők kereskedelmi forgalomból (ennek megfelelően műszaki-technikai adataik is nyilvánosak, amit a táblázatban is feltűntettük), és nem elhanyagolható referenciát jelenthet annak ténye, hogy ezeket Oroszországban a Mi-24-es típusú harci, valamint Mi-8 típusú szállító helikopterek legkorszerűbb modifikációin még napjainkban is alkalmazzák.



10. ábra: Sz-4U típusú mentőejtőernyő
Forrás: Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue steerable parachute system, type S-4U. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm



11. ábra: PN-58/3 típusú mentőejtőernyő
Forrás: Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue parachute system, type PN-58 series 3. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm

Természetesen a fenti típusokon kívül a legújabb kihívások szerint tervezett „keleti” helikoptereken alkalmazott pilóta-mentőejtőernyőkről is érdemes néhány szót ejteni, amelyek speciális rakétahajtóművel kiegészítve már valódi komplex személyi mentőberendezésekké váltak, de azokat – a szó legszorosabb értelmében véve – mégsem kezelhetjük egyszerűen úgy, mint egy személyi mentőejtőernyővel ellátott katapultülést.⁵⁴

Az egyik legjobb példa a Ka-52 típusú harci helikopterbe beépített K-37-800M típusú mentőeszköz. A helikopter vészelhagyásakor – természetesen a forgószárnyrendszer lapátjainak lerobbantását követően – egy speciális, szilárd hajtóanyagú, kétfűvókás rakétahajtómű emeli ki a helikoptervezetőt a fülkéből, és juttatja megfelelő magasságig ahhoz, hogy a – mindösszesen 55 kg tömegű mentőrendszer egyik legfontosabb alkotóelemét

⁵⁴ Erre utal a rendszer orosz megnevezése, amelyből a típus rövidítése is származik (КАС – Катапультно-Амортизационная Система): katapultálható amortizációs rendszer, amit a későbbiekben részletesen magyarázunk.

jelentő – PSz-40 típusú mentőejtőernyő (12. és 13. ábra) előírásos működéséhez szükséges feltételek⁵⁵ biztosítottak legyenek.



12. ábra: PSz-40 típusú mentőejtőernyő a K-37-800M típusú komplex mentőberendezésben

Forrás: Катапультно-амортизационная система K-37-800M. Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/121#slide-1-field_product_image-121



13. ábra: PSz-40 típusú mentőejtőernyő, valamint a K-37-800M típusú komplex mentőberendezés a Ka-52 típusú harci helikopter szimulátorába beépítve

Forrás: Н. Бурцева: Катапультно-спасительный выстрел. Воздушно-космическая сфера. 3/4 (88/89) декабрь 2016. 38–49. Online: <http://vesvks.ru/public/flippingbook/vks32016/20/assets/basic-html/index.html>

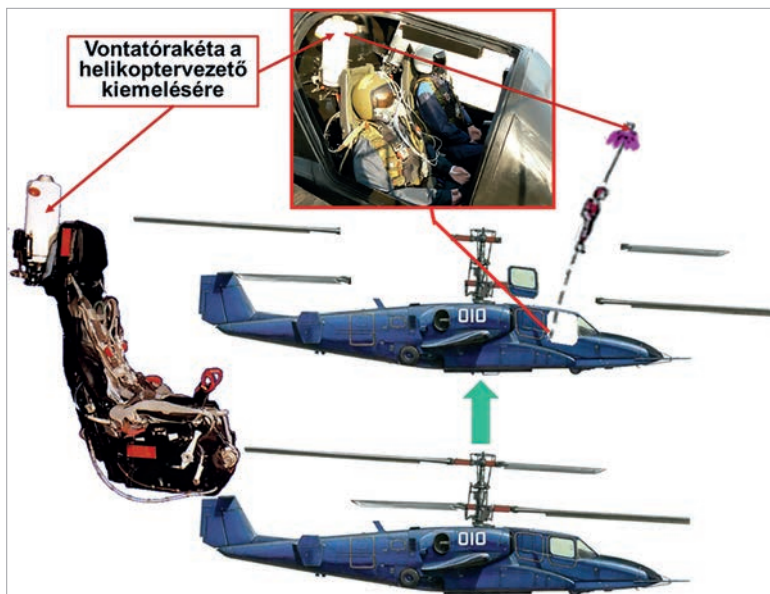
Az ülésnek – amely katapultáláskor a fülkében marad, csak az addig a mentőejtőernyőt rejtő hátpárnája távozik a pilótával együtt – a típusmegnevezésének megfelelően számottevő energiaelnyelő funkciója is van a helikopter esetleges durva, ütközéses földet érésekor, vagy akár $H \leq 15$ m-es repülési magasságból történő lezuhanáskor is.⁵⁶ Segít

⁵⁵ A Zvezda cég komplex mentőberendezése még nem úgynevezett „dupla nullás” eszköz: 0–5000 m (AGL) közötti magasságtartományban biztosítja a mentést, de csak 90–350 km/h repülési sebesség értékek között. Ezek a paraméterek tökéletesen megfelelnek egy katonai helikopter várható alkalmazási körülményeinek, amelyekkel kapcsolatos vizsgálatok mögött valós gyakorlati (harci) tapasztalatok is állnak. A mentőeszköz alaptípusát jelentő, még a PSz-3/A típusú pilóta-mentőejtőernyővel felszerelt K-37-800-at (amelynek össztömege: 94 kg, és 0–4000 m [AGL] közötti magasságtartományban 400 km/h repülési sebesség értékig biztosítja a mentést, már a Ka-50 típusú harci helikopterbe beépítve, a csecsenföldi konfliktusban is kipróbálták, ahol jelenléte nagymértékben növelte a repülő-hajózó állomány bevetési morálját. Lásd Катапультно-амортизационная система K-37-800M. Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/121#slide-1-field_product_image-121

⁵⁶ Óvári Gyula: Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására. Repüléstudományi Közlemények, 17. (2005) 2. 1–14.

ségével a túlterhelés értéke $n_y = 15\text{--}18$, fiziológiailag az elviselhető szintet⁵⁷ meg nem haladó értéken tartható.

A mentési folyamat beindítását követően a – továbbiakban már teljesen automatikusan működő – vészelhagyó rendszer elsőként lerobbantja a forgószárnyrendszer(ek) lapátjait, majd ezt követően megfelelő mechanizmusok oldják a személyzet tagjait az üléseikhez rögzítő hevedereket, továbbá ezzel együttesen a fülketető valamennyi rögzítését. Ez utóbbit a légáramlat azonnal eltávolítja, majd egy rugós mechanizmus a katapulttrakétákat veti ki a fülkéből, amelyek a helikoptervezetők ejtőernyő hevederzeteihez egy-egy vontatókötel segítségével kapcsolódnak. (14. ábra) A vontató katapulttrakéták hajtóművei csak a fülkén kívül indulnak be, hogy a vontatóköteleik segítségével a helikoptervezetőket az ejtőernyőjükkel együtt kiemeljék az üléseikből, és eltávolíthassák őket az irányíthatatlanná váló helikoptertől. A rakéták a hajtóanyagtölteteik teljes kiégése előtt leoldódnak a repülő-hajózókról, és tovább repülnek, megakadályozva, hogy a röppályájuk csúcsáról történő visszaesésükkor esetlegesen összeütközzenek a levegőben a megmentendő személyekkel.



14. ábra: Ka-52 típusú helikopter repülés közben (alul), majd a vészelhagyáskor (felette), a K-37-800M típusú komplex mentőberendezés vontatórakétájával

Forrás: a szerzők munkája

A helikopterszemélyzetek számára a helikopterek gyors vészelhagyását segédeszközzel támogatott másik lehetőség a – nagysebességű merevszárnyú repülőgépeken is alkalmazott – katapultülések alkalmazása és az azokkal kapcsolatos eljárások adaptálása.

⁵⁷ Н. Бурцева: Катапульта-спасительный выстрел. Воздушно-космическая сфера. 3/4 (88/89) декабрь. 38–49.

Ilyen pl. a Rotor Floater vállalat által kimunkált és kísérleti stádiumban lévő, az úgynevezett Boldmethod vészelhagyási eljárás is, amelynek előnye, hogy nincs szükség a forgószárnyrendszer lapátjainak lerobbantására, így a forgószárnyaggy költséges, drasztikus, potenciális balesetveszélyt is magába rejtő szerkezeti átalakítására sem. A megoldás lényege, hogy a helikopter vészelhagyásakor a fülketető ledobásával egyidőben megkezdődik a forgószárnyrendszer forgásának azonnali, intenzív fékezése, így a repülő-hajózó személy üléssel együtt történő katapultálása – a gépágyú-szinkronizátor analógiájára – a lelassított lapátok között nagyon pontos, időzített indítással történhet meg (15. a) és b) ábra).



15. a) ábra: UH-1 típusú helikopter kísérleti vészelhagyása katapultüléssel, a fékeződő forgószárnylapátok között

Forrás: Colin Cutler: *Bold Thinkers: Creating The World's First Helicopter Ejection Seat*. 2015. Online: www.boldmethod.com/blog/article/2015/03/helicopter-ejection-seat-rotor-floater/



15. b) ábra: AH-1 típusú helikopter kísérleti vészelhagyása katapultüléssel, a forgószárnylapátok között

Forrás: Airplane/helicopter ejection. Online: <https://hu.pinterest.com/keithmonville/airplanehelicopter-ejection/>

E módszer kétségtelen hátránya, hogy a két lapát között történő igen gyors áthaladás időzítése maximálisan $\pm 0,002$ s-os eltérést tesz lehetővé, és ehhez legalább olyan gyorsításra (túlterhelésre) van szükség, mint a vadászpilóta esetében, illetve kettőnél nagyobb lapátszám esetén még nehezebb a folyamat szinkronizálása, pontos, biztonságos végrehajtása.

A gyakorlati, bábukkal végrehajtott kísérletek nyomán jelenleg az eljárás megbízhatósága 72%-os, az emberrel végrehajtott kísérlethez azonban 80%-os, míg a rendszerbeállításához már a 99%-os érték elérése szükséges.

A helikoptervezető rakétahajtóművel történő kimentése az irányíthatatlanná vált helikopterből költséges, de biztonságosan megvalósítható eljárás, ugyanez katapultüléssel még további fejlesztésre vár. Ugyanakkor a valós vészhelyzetek komplex elemzése nem igazolták feltétlen e megoldások szükségességét, földközeli magasságban más egyszerűbb lehetőségek is adódnak (lásd 65. l.).

Természetesen megfelelő repülési magasságban, a vezetőfülke egyéni „kiragadó” rakétával/katapultüléssel/kiugrással történő kényszerelhagyása önmagában még nem mentheti meg a pilóta életét, a levegőben zuhanó test sebességének lefékezése és a biztonságosra csökkentett sebességgel történő földet érése kizárólag mentőejtőernyővel valósítható meg. (Ennek olyan eszköznek kell lennie, amelyet speciálisan az adott alkalmazási körülményekhez terveznek meg, vagy legalább a rendelkezésre álló korábbi típusok közül választják ki a célnak legjobban megfelelőt).

Emiatt alkalmaznak a katonai helikopterek fedélzetén még napjainkban is olyan mentőejtőernyőket, amelyek „hagyományos” módon, a pilótaülés csészéjében is elhelyezhetők. Erre ad lehetőséget a Zvezda cég Pamír nevű⁵⁸ – az amortizációs lehetőségek mellett – a PSz-800 típusú mentőejtőernyőt is tartalmazó pilótaülése (16. ábra), biztosítva a túlélést a Mi-28N és Ka-60 típusú katonai helikopterek személyzetei számára.



16. ábra: A Mi-28 és Ka-60 helikopterek személyzetei részére készített Pamír típusú energiaelnyelő ülés
Forrás: Zvezda gyári tájékoztató. Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/122A

⁵⁸ Кресло для вертолетов «Памир». Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/122A

A jól működő mentőernyő mellett, a földet érést követően az úgynevezett „túlélőmellény” is növeli a személyzet életben maradásának esélyét. Az orosz katonai pilóták részére még napjainkban is rendszerben tartott változat (17. ábra) elődjét már az afganisztáni háborúban is alkalmazták, amely némileg kényelmetlen viseletet jelentett, mivel a pilóta-mentőejtőernyő hevederzetét kívülről kellett rávenni. Ezért a legújabb konstrukció egy olyan komplex mellényt (18. ábra) jelent, amely a túlélő- és a lövésálló mellény, illetve a kutató-mentő helikopter fedélzeti csörlőjével történő kiemelő-, továbbá az ejtőernyő hevederzet funkcióját is betölti egyben,⁵⁹ kifejezetten a katonai helikopterek személyzetei számára ajánlva.⁶⁰



17. ábra: Orosz Mi-28-as repülő-hajózója „NAZ IR” típusú mellényben

Forrás: Разгрузочные жилеты летчиков ВКС РФ могут модернизировать с учетом сирийского опыта. Online: <https://tvzvezda.ru/news/opk/content/20198131415-zflqV.html>



18. ábra: A kifejezetten harci helikopter személyzetek részére ajánlott új mellény prototípusa

Forrás: Пилоты российских боевых вертолетов получат разгрузочные жилеты. Online: <https://tvzvezda.ru/news/opk/content/201710191204-4kyz.htm>

A Mi-28-as harci helikopter kialakítása nemcsak azért szemléletes konstrukciós megoldás, mert – egyéb biztonsági berendezések mellett⁶¹ – nemcsak hogy meghagyták

⁵⁹ Разгрузочные жилеты летчиков ВКС РФ могут модернизировать с учетом сирийского опыта. Online: <https://tvzvezda.ru/news/opk/content/20198131415-zflqV.html>

⁶⁰ Пилоты российских боевых вертолетов получат разгрузочные жилеты. Online: <https://tvzvezda.ru/news/opk/content/201710191204-4kyz.htm>

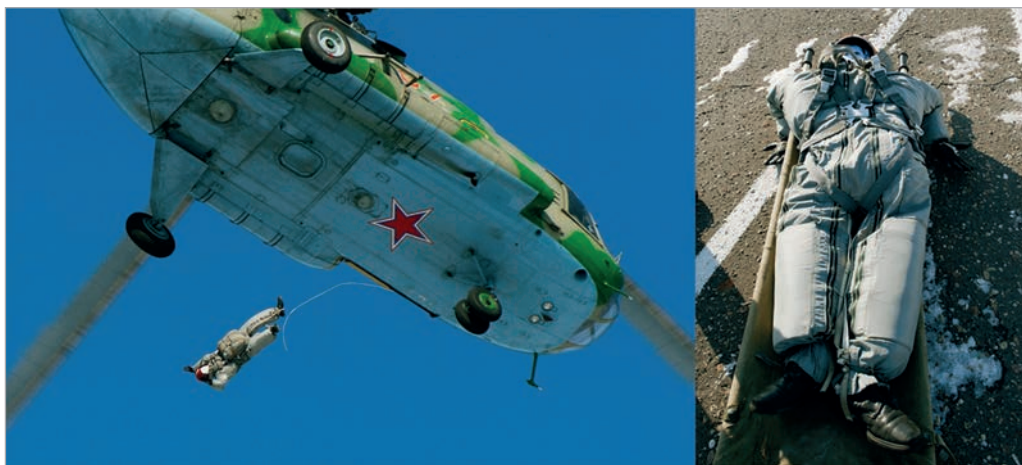
⁶¹ A helikopter esetleges földhöz csapódásakor az amortizációs pilótaülésen és a törzs megerősítésén túl a már nem behúzható futómű is jelentősen csökkentheti a benn ülőkre (is) ható (túl)terhelés nagyságát. Az előzetes számítások alapján ezek együttesen akár a helikopter 12,5 m/s-os varióval történő földet érésekor is képesek lehetővé tenni a személyzet sérülésmentes túlélését. (Военная приемка. Летящая «парта» для «Ночных охотников». Online: www.youtube.com/watch?v=DtKzGdk6QE4&list=PLcR-xMiXa98X-ejsnO4f6yOzKRShT944jW&index=119)

a személyzet mentőejtőernyővel történő vészelhagyásának lehetőségét is, hanem annak „önerőből történő” végrehajtását – a korábbi típusokhoz, pl. a Mi-24-eshez képest – speciális alakú, gyorsan működésbe hozható (felfújódó) csúszdák⁶² segítségével még biztonságosabbá is tették.

Ez (is) bizonyítja, hogy a hagyományos ejtőernyős vészhelyzeti gépelhagyásnak még a 21. század korszerű helikopterein is van létjogosultsága, illetve típusspecifikus szerkezeti (konstrukciós) megoldásokkal annak biztonságos végrehajtása is elősegíthető.

A „keleti” gyakorlat

A fentieknek megfelelően az Oroszországi Föderáció Fegyveres Erőinél napjainkban is fontos „a repülő-hajózó állomány pilóta-mentőejtőernyőbe vetett bizalmának” folyamatos megőrzése, amelyet gyakorlati bemutatókkal rendszeresen megerősítenek⁶³ (19. a) és b) ábra).



19. a) és b) ábra: PN-58 típusú pilóta-mentőejtőernyővel felszerelt bábu kidobása demonstrációs céllal Mi-8 típusú közepes szállító helikopterből, 100 m-es (AGL) magasságból (Az ejtőernyőt a beépített PPK-U típusú nyitóműszer működteti)

Forrás: *Survival of a pilot in a forest*. Online: <https://englishrussia.com/2012/04/10/survival-of-a-pilot-in-a-forest/2/>

A gyakorlati jártasság megszerzése és fenntartása a „keleti” repülő-hajózó állomány számára a továbbiakban is kiemelt jelentőségű, beleértve természetesen a kötelező ejtő-

⁶² Az „ajtóküszöb” alá „rejtett” felfújható csúszdák a fülkeajtók – az operátoré a helikopter bal oldalán található (lásd 17. ábra) – vészledobását követően automatikusan lépnek működésbe, a gép hossz tengelyére merőlegesen. Ezek segítik elkerülni a helikopter kialakításából adódó (nehezítő) „körülmenyekkel” (például merev szárnycsontok a rajta lévő rakéta- és bombafüggesztményekkel) való összeütközést a „hagyományos” vészelhagyást követően.

⁶³ *Survival of a pilot in a forest*. Online: <https://englishrussia.com/2012/04/10/survival-of-a-pilot-in-a-forest/2/>

ernyős kiképzési ugrások végrehajtását is.⁶⁴ Megállapítható, hogy napjaink „keleti” álláspontja tulajdonképpen semmiben sem különbözik a következő, közel 60 éves idézetben szereplőtől:

„A mentőejtőernyő a hajózó állomány kötelező felszerelését képezi. Bármilyen repülési körülmények között a repülőgép kényszerelhagyása esetén a mentőejtőernyők megbízhatóan biztosítják a hajózárszemélyzet minden egyes tagja életének megmentését, ha az ugrást időben és szabályosan hajtják végre.”⁶⁵

A „nyugati” szemlélet

A „nyugaton” uralkodó szemlélet megváltozását jelent(het)i az EB-85 típusú személyzeti mentőejtőernyő (20a. és b. ábra) megjelenése, amely – érdekes módon – az USAF-nál kifejlesztett kutató-mentő feladatra alkalmazott helikoptertípushoz köthető (lásd 5. táblázat).



20. a) és b) ábra: EB-85 típusú pilóta-mentőernyő elől- és hátulnézetben

Forrás: EB85 front view. Online: www.irvingq.com/irvingq-products-services/aerial-delivery-search-and-rescue-products/aerial_delivery_personnel/emergency-escape-parachute-systems/

⁶⁴ A „kurszantoknak” (katonai főiskolai hallgatók) a katonai repülőiskolában – a gyakorlati repülő kiképzésüket megelőzően – évente 2 db ugrást kell végrehajtaniuk, majd megszerzett gyakorlati ejtőernyős jártasságukat – már tisztte avatásukat követően is – évi egy-egy ugrással végig fenn kell tartaniuk (ez alól az az időszak jelenti a kivételt, amikor a pilótát felsőbb tanulmányok végzésére beiskolázzák). Lásd ПРИКАЗ N 155 МИНИСТР ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ от 2 апреля 2001 года, Об утверждении Наставления по парашютно-спасательной и десантной подготовке авиации Вооруженных Сил Российской Федерации, 28., 31. Online: <http://docs.cntd.ru/document/902041417>

⁶⁵ Re-552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1964. 9.

Ugyancsak jó példa a kezdetekhez való visszatéréshez a finn haderő, ahol – legalább az ejtőernyős dobási feladat végrehajtása alatt – kötelezően előírják a mentőejtőernyő viselését az NH-90 típusú helikopter személyzete számára⁶⁶ (21. a) és b) ábra).



21. a) és b) ábra: A Pioneer Aerospace Corporation Inc. pilóta-mentőejtőernyője (P/N 2711-519) egy finn helikopterpilótán, elől- és oldalnézetben

Forrás: Ville Siirpää 2013 alapján (ld. 75. l.)

Ugyanakkor ott, egy adott helikoptertípushoz a személyzeti mentőejtőernyő rendszeresítése még nem írja elő automatikusan a gyakorlati ejtőernyős tapasztalatok megszerzésének kötelezettségét a légierő és más haderőnemek – nemcsak forgósárnyas repülőeszközt üzemeltető – repülő-hajózó állománya számára, az annak használatára történő felkészítés során. Így például tisztázatlan az is, hogy a finn pilóták hajtanak-e végre kiképzési ejtőernyős ugrás(oka)t a gyakorlati repülő kiképzésük kezdete előtt, vagy sem.

A „nyugati” gyakorlat

A repülő-hajózók valódi mentőejtőernyő-hevederzetben történő felfüggesztése már korábban is – és nem csak a „nyugati” képzésben – jelentett jól bevált gyakorlatot,

⁶⁶ Ville Siirpää: *Introduction of the T-10 static line parachuting capability to the NH90 helicopter*. Department of Military Technology, Series 1 Number 35. Tampere, National Defence University/Department of Military Technology, Finland, April 2013. Online: www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95935/INTRODUCTION_OF_THE_T_10_netti.pdf?jsessionid=CB423870678A7C2B0BD8372AEB2EE42F?sequence=2

amely napjainkra kiegészült a modern technika és tudomány új vívmányaival. Számos kiképző szimulátor jelent meg, amelyek segítségével – különböző, célirányosan kiválasztott földrajzi és meteorológiai körülményeket imitáló, számítógépes szoftverek együttes alkalmazásával – elsősorban a mentőejtőernyő irányításával és a földet éréssel kapcsolatos tevékenységet lehet részlegesen elsajátítani és begyakoroltatni a pilótákkal.

A szimulátorban gyakorló személy az őt „körülvevő” környezet gyors változásait a sisakjára szerelt speciális, virtuális szemüvegen keresztül érzékeli, ennek generálásáért az instruktorpultnál⁶⁷ az ugrási feladatot irányító és kiértékelő SERE⁶⁸-oktató a felelős (22. ábra).⁶⁹



22. ábra: Napjaink amerikai repülő-hajózáinak egyik mentőejtőernyős szimulátora (Hickam Air Force Base, Hawaii, USA). A képzés valóságűségét jól szemlélteti az USAF-nál rendszeresített BA-22 típusú személyi mentőejtőernyő-hevederzet, valamint az ahhoz rögzített, a pilóta oldalán lógó egyéni túlélőcsomag is
Forrás: Virtual technology enhances training for aircrews. 2006. Online: www.af.mil/News/Article-Display/Article/129527/virtual-technology-enhances-training-for-aircrews/

A szimulátorban végrehajtott kormánymozdulatok hatásossága (nagyság és intenzitás) kiértékelésének objektivitását, valamint ezzel a speciális ejtőernyős kiképzéssel elérhető fejlődés nyomon követhetőségét nagyban segítik a számítógép által archivált adatok.

⁶⁷ Ennek alkalmazása alapvetően megegyezik a Magyar Néphadseregben és a Magyar Honvédségben is ismert, hagyományos „keleti”, illetve korszerűbb „nyugati” repülőgép- és helikopterszimulátorokéval.

⁶⁸ SERE (*survival, evasion, resistance, escape*): túlélés, menekülés, ellenállás, szökés, többszintű speciális kiképzés, amelyen a NATO-tagállamok jelentős részének repülő-hajózási állománya kötelezően részt kell hogy vegyen.

⁶⁹ Erdemes összehasonlítani az 1. ábrával.

Megállapítható, hogy a virtuális valóság célirányos alkalmazása a felkészítést ténylegesen költséghatékonyan képes segíteni, elmélyítve a repülő-hajózó személyzet mentőejtőernyővel kapcsolatos elméleti ismereteit, és – legalább részlegesen – gyakorlati tapasztalatokkal is gazdagíthatja azokat. A szimulátor rendszeres alkalmazása a már megszerzett ismeretek szinten tartását is biztosíthatja.⁷⁰

Hogyan tovább Magyar Honvédség? Javaslattétel a helyzet megoldására

Véleményünk szerint átfogóan vizsgálandó kérdésként kell kezelni, hogy új, nyugati helikoptertípusaink nem rendelkeznek személyi ejtőernyős mentőberendezéssel. Ennek hiányát most még – mivel velük az intenzív repülő kiképzés csak részlegesen indult be⁷¹ – a korábbi „keleti” beidegződés okán érzi szokatlanak az érintett repülő-hajózó állomány.

Informális beszélgetések alapján azonban kiderült, hogy a helikoptervezetők többségénél felmerült kérdésként a hiánya, akár szükségesnek tartotta korábban annak kötelező meglétét a fedélzetén, akár nem, de elfogadta, vagy legalább tudomásul vette azt, vagyis többnyire nem volt közömbös iránta, így összességében kijelenthető, hogy kimondatlanul is javította biztonságérzetét. Ezt alátámasztja az is, hogy a különböző típusú biztonsági és mentő berendezések kifejlesztésekor megfigyelték, hogy azok megléte, rendelkezésre állása, illetve az idők során bekövetkező korszerűsödése kedvező hatással van a repülő-hajózó állomány biztonság- és ezáltal munkahelyi közérzetére, továbbá annak az alkalmazásával kapcsolatos gondolkodásmódjára is.

A fentiek alapján két lehetőség áll(hat) a Magyar Honvédség előtt:

1. elfogadja, hogy az új, nyugati eredetű forgószárnyas légi járműveken nincs, és a jövőben sem lesz személyi ejtőernyős mentőberendezés, mivel:
 - a) ezen helikoptertípusokkal soha nem fognak olyan magasságban repülni, amely indokolttá tenné⁷² mentőejtőernyők rendszeresítését a fedélzetén;

⁷⁰ Noha általánosságban kijelenthető, hogy egy szimulátoros felkészítés soha nem helyettesítheti százszázalékosan a valós alkalmazási körülmények között végrehajtott gyakorlati képzést, tudományos vizsgálat tárgya lehetne, hogy napjaink „nyugati” repülő-hajózó állományának alapvetően csak szimulátorral megszerzett és szinten tartott „ejtőernyős” ismeretei összevethetők-e hatásosságukban a Magyar Honvédség repülő-hajózó állományának ejtőernyős- és mentőeszköz-kiképzése során megszerzett valós képességeivel. (Ehhez érdemes tudni, hogy utóbbiaknak csak gyakorlati repülő-hajózó kiképzésük megkezdésekor kell kötelezően ejtőernyős ugrásokat végrehajtaniuk. Továbbá a valóság azt mutatja, hogy az így megszerzett – inkább jártasság, mint készség szintnek megfelelő – gyakorlati tudás fenntartására a továbbiakban – ejtőernyős ugrások szervezésével – a Magyar Honvédség részéről nincs meg igazán az igény, noha ez a kijelentés vélelmezhetően magára az egyénre is igaz [lehet]. Ebből kifolyólag azonban a valaha megszerzett tudás szint sem jelent[het] valós, stacioner képességet egy teljes, több évtizedes repülő-hajózó pályafutás során.)

⁷¹ A 20 db H145M típusú helikopter 2019 októbere és 2021 tavasza között, a 16 db H225M helikopter 2023–2026 között áll majd rendszerbe az MH 86. Szolnok Helikopter Bázis kötelékében. Lásd Nagy László: A katonai helikopterek üzemeltetésének repülő-műszaki biztosítási rendszerében várható változások. *Honvédségi Szemle*, 147. (2019), 6. 107.

⁷² Ez tulajdonképpen úgy (is) értelmezhető, hogy az új katonai helikoptereink soha nem kap(hat)nak olyan feladatot, amely szükségessé tenné, hogy azok egy átlagos pilóta-mentőejtőernyő nyílási úthosszát „alape-

- b) a helikopterek fedélzetén – természetesen a „saját” repülő-hajózó személyzet tagjain kívül – csak olyan személyeket fognak szállítani, akiktől nem várható el a személyi ejtőernyő készségszintű használata;⁷³
- c) a helikopter gyártója már eredetileg úgy tervezte meg a típust, hogy a személyi ejtőernyős mentőberendezés alkalmazására nem lesz (nem lehet) szükség, mert egyéb technikai megoldásokkal (nagy megbízhatósággal) garantálják a személyzet és valamennyi fedélzeten utazó túlélését egy irányított (vagy kevésbé irányított) kényszerleszállás esetén. (Ezért nem is szerepelt a személyi mentőejtőernyő sem a helikopter tartozékai között, sem a helikopter gyártója által kibocsátott légi üzemeltetési utasításában, amellyel tulajdonképpen – bizonyos mértékig – meg is felel a Magyar Honvédség vonatkozó szabályzója előírásainak.);⁷⁴
- (E szempontból kérdéses, hogy mi a teendő egy olyan helyzetben, amikor a pilóta – a saját repülési feladata biztonságos végrehajtása érdekében – mégis ragaszkodik ahhoz, hogy ő személyi mentőejtőernyővel kíván repülni, és az rendelkezésére is áll a felszállás helyén, valamint nem is zavarja őt a fülkében.⁷⁵
- Egyébként egy adott légijármű-típus légi üzemeltetési utasítását megalkothatja a helikoptertípus üzemeltetője – esetünkben a Magyar Honvédség – is, repülésbiztonsági szempontból a – jelen esetben a helikopter – típus gyártója által – az eredeti légi üzemeltetési utasításban – előírtak szigorításával, de a saját anyagi-technikai lehetőségeinek [korlátainak] függvényében.)

setben” is meghaladó nyitási magasságánál nagyobb magasságon repüljenek (lásd 82. lj.). Ez az „irányelv” már csak azért is „sántít”, mert az adott – H145M és H225M – helikoptertípusokból ejtőernyős ugratás végrehajtása is tervezve van, amelynek alapfeltétele – kézi nyitási rendszerű légcellás ejtőernyőtípusokkal végrehajtásra tervezett ejtőernyős feladatok kiindulva – a minimálisan 1000 m (AGL)-es magasság megléte. Egy korszerű személyi pilóta-mentőejtőernyő biztonságos működéséhez – még függésből végrehajtott vészelhagyás esetén is – a 150 m (AGL) körüli magasságot érdemes alapul venni. (Ha ennél nagyobb értékben gondolkodunk, akkor nem találtuk meg a legjobb ejtőernyőt. A már nem a legkorszerűbb Sz-4 típus 120 m [AGL]-es minimális vészelhagyási magasság értékét [ld. 51. lj.] érdemes összevetni napjaink cseh tanulmányában szereplő, minimálisan biztonságosnak vett 200 m [AGL]-es értékkel. Lásd F. P. Kařavský – V. Socha – L. Socha – P. Kutilek – J. Gazda – M. Kimlickova: *Conditions for abandonment out of a helicopter using personal rescue parachute*. Online: www.researchgate.net/publication/280301568_Conditions_for_abandonment_out_of_a_helicopter_using_personal_rescue_parachute

⁷³ Ezzel kapcsolatosan a honvédelmi célú repülések és az ezzel összefüggő tevékenységek irányelveiről, a működési feltételekről és követelményekről szóló 185/2016. MH ÖHP intézkedés (a továbbiakban: IHRV) 147. pontja a következőképpen fogalmaz: „A repülés a mentőernyő viselése nélkül is végrehajtható a) a légijármű-személyzet mentőernyőjének minimális nyitási magasságánál kisebb magasságokon végrehajtott repülések esetén, valamint mentőernyővel fel nem szerelt személyek szállításakor, amennyiben a légi üzemeltetési szakutasítás ettől eltérően nem rendelkezik.” (Továbbá etikailag sem megengedett, hogy egy légijármű-személyzet menekülési, túlélési lehetőségei meghaladják az általuk szállított utasokét.)

⁷⁴ Ezzel kapcsolatosan az IHRV (lásd 82. lj.) 147. pontjának folytatása a következőképpen fogalmaz: „A repülés a mentőernyő viselése nélkül is végrehajtható b) olyan légi járművel, melynek légi üzemeltetési szakutasítása a mentőernyő viselését nem írja elő, vagy engedélyezi a mentőernyő viselése nélküli repüléseket is.” (Megállapítható, hogy – az idézetet szó szerint értelmezve – még az adott szituációban is csak lehetővé, de nem kötelezővé van téve a pilóta-mentőejtőernyő nélküli repülés...)

⁷⁵ Ezt a helyzetet esetlegesen az 1923-ban az USAS-nál alkalmazott szemlélet oldhatná meg (lásd *A pilóta-mentőejtőernyőkkel kapcsolatos szemlélet kialakulása* alfejezetet).

d) A Magyar Honvédségnek önmagában sincs igénye arra, hogy az eredeti gyártói elgondolást egy olyan személyi ejtőernyős mentőberendezés helikopterfedélzetén történő – utólagos – rendszerbe állításával kiegészítse,⁷⁶ amelynek gyakorlati alkalmazhatóságáról egyébként sincs meggyőződve, ráadásul az ezzel kapcsolatos vizsgálat elvégzésének a lehetőségét éppen saját maga tette lehetetlenné az általa kiadott jogszabály megalkotásával.⁷⁷

(Tulajdonképpen, ha a Magyar Honvédség az előző három pontban foglaltakat maradéktalanul be akarja tartani/tartatni, akkor esély sem lehet arra, hogy a helikopter olyan repülési körülmények között [elsősorban magasságban] repüljön, ahol már adottak a személyi mentőejtőernyő biztonságos működtetéséhez szükséges fizikai feltételek, akár ott van az ejtőernyő a fedélzetén [illegálisan], akár nincs [hivatalosan]. Itt azért érdemes a feltételes módot használni...)

2. Személyi ejtőernyős mentőberendezést rendszeresít az új, nyugati eredetű helikoptereinek fedélzetére, mivel szeretné növelni a repülő-hajózó állomány biztonságérzetét és adott körülmények közötti túlélésének lehetőségeit.⁷⁸

Amennyiben a Magyar Honvédség a 2. lehetőséget választja, akkor a pilóta-mentőejtőernyő hiánya megoldandó problémaként⁷⁹ kezelendő. Ennek megfelelően törekednie kell nemcsak az adott helikoptertípusokhoz optimalizált személyzeti mentőejtőernyő kiválasztására, hanem olyan előírások, szabályok megalkotása is szükséges, amelyek pontosan meghatározzák azokat a repülési feladatokat – vagyis (tulajdonképpen: amikor csak lehet) az ejtőernyővel fel nem szerelt utasok repültetésén kívül minden „egyéb esetet” –, amikor a pilótának repülés során mentőejtőernyőt kell viselnie.

⁷⁶ Figyelmesen elolvassa a tanulmány 82. és 83. lj.-ében hivatkozott idézeteket, megállapítható, hogy azok a pilóta-mentőejtőernyő utólagos rendszeresítését alapvetően nem támogatják. Ezt tényként kell kezelni. Viszont ezt a megállapítást érdemes összevetni a 81. lj.-ben leírtakkal, amely szerint a Magyar Honvédség tervezi az adott helikoptertípusokat ejtőernyős ugratási feladatra is felhasználni. (Az ezzel kapcsolatos vizsgálatok már megkezdődtek: H145M típusú helikopterből a feladat végrehajtására kijelölt ejtőernyős állomány 2020 májusában módszertani ejtőernyős ugrásokat hajtott végre valamennyi, a Magyar Honvédségnél rendszeresített, kézi nyitási ejtőernyőtípussal. A módszertani ugrások biztonságosan megtörténtek.)

⁷⁷ Ezzel kapcsolatosan a 37. lj.-ben leírtak a mérvadók.

⁷⁸ Ez részben ismét megerősíti a 83. lj.-ben leírtakat, így egyértelműen az is kijelenthető: nincs olyan jogszabály, amely tiltaná, hogy egy adott helikoptertípust üzemeltető, illetve üzemben tartó szervezet a gyártó által kötelezően előírt felszerelés(ek)e(t) egy (vagy esetlegesen több) olyan további kollektív vagy személyi fedélzeti mentőberendezéssel kiegészítse, amelyet a saját személyi állománya biztonságának növelésére fontosnak tart.

⁷⁹ Ezzel tulajdonképpen a Magyar Honvédség egy olyan speciális kihívásnak tenne eleget, amellyel bizonyíthatná, hogy a repülésbiztonság szigorításával együtt van igénye és képes is arra, hogy egy „plusz” mentőeszköz helikopter fedélzetén történő rendszeresítésével jelentősen megnövelje saját emberei túlélésének lehetőségeit. (Ehhez természetesen alapos vizsgálatra – elméleti kutatások, számítások, valamint gyakorlati tesztek végrehajtására – van szükség, aminek rendezőelve az kell hogy legyen: „mi a szükséges teendő, amit meg kell tenni, és nem az, hogy mit és hogyan nem tudunk megoldani!”)

Befejezés

A személyi mentőejtőernyő alkalmazásához nélkülözhetetlen, hogy az használatra (vészelhagyásra) előkészített állapotban – fizikailag (is) – rendelkezésre álljon a helikopter fedélzetén a repülés teljes időtartama alatt, és – az azonnali alkalmazhatóság érdekében – lehetőség szerint a személyzettag testére felöltött állapotban legyen. Az első lépésként fontos ennek tényét, jelentőségét⁸⁰ minden érintettben tudatosítani.

Ezt elfogadva lehet csak elkezdni az adott típusú forgószárnyas repülőeszközhöz legjobban illeszkedő mentőejtőernyő-gyártmány kiválasztását a kereskedelmi forgalomból beszerezhető, illetve a Magyar Honvédségben rendelkezésre álló, hasonló feladatra már rendszeresítettek közül. Ez lehet a második lépés.

Fontos, hogy személyi mentőejtőernyő akkor és csak akkor garantálhatja magas valószínűséggel viselői sérülésmentes túlélést, amennyiben azt időben, szabályosan és az adott típusra előírt alkalmazási feltételek megléte esetén használják. Mindehhez elengedhetetlen az ejtőernyő-technikába vetett bizalom megléte, a működéséhez szükséges fizikai törvényszerűségek és a biztonságos alkalmazás feltételeinek, módozatainak maradéktalan ismerete, valamint ez utóbbi begyakorlása. Csakis ez alapján lehetséges meghatározni azt az úgynevezett „végső pillanat”-ot, amikor még célszerűbb ejtőernyővel elhagyni a helikoptert, mert úgy nagyobb(nak valószínűsíthető) a túlélés esélye, és a meglévő körülmények még biztosítják a mentőejtőernyő előírt működését. Ezt fogalmazza meg a következő idézet is:

„Mindez azért kell, hogy a pilóta ismerje fel azt a pontot, amikor az ún. »bonyolult helyzet«-be kerülés esetén, amikor már nincs lehetősége a repülőeszköz megmentésére, hozzá meg a döntést annak vészelhagyására, a saját életének megmentése érdekében. Ennek végső határát alapvetően a vészmentő berendezés, a katapultülés és a pilóta mentőejtőernyő üzemeltetési paraméterei határozzák meg. A vészelhagyásra vonatkozó döntést mindig az ún. »végső pillanat«-ig kell meghozni. Utána már nem érdemes...”⁸¹

Ezt megalapozandó, a harmadik lépésként ki kell dolgozni az ejtőernyős vészelhagyással kapcsolatos eljárásrendet, majd ez alapján célirányosan kiképezni az adott forgószárnyas típuson szolgáló repülő-hajózó állományt, ugyanis kijelenthető, hogy a forgószárnyas repülőeszköz – elsősorban hagyományos – ejtőernyős vészelhagyását nem lehet teljesen automatizálni, és a vészelhagyásról szóló döntést mindenképpen az „ember-gép-környezet” továbbra is leggyengébb tagjának „privilegium”-a kell hogy maradjon. Annak ellenére, hogy a humán tényező vált leginkább esendővé napjainkban a modern harci technika irányításában, kezelésében, és a katonai feladat végrehajtásában várhatóan

⁸⁰ Másként is megfogalmazhatjuk álláspontunkat: az ejtőernyős mentőeszközt nem lehet egy katasztrófa után a helikopter fedélzetén rendszeresíteni. Illetve lehet, de az a katasztrófát elszenvedett(ek)en már nem segíthet.

⁸¹ Szaniszló Zsolt: Az orosz katapultülések kifejlesztési folyamatának biztonságtechnikai szempontok szerinti vizsgálata. *Hadmérnök*, 8. (2013), 3. 5–21.

a továbbiakban is ez marad a legnagyobb korlátozó tényező.⁸² (Noha a modern repülőgép-tervezés, -gyártás és -karbantartás hatalmas fejlődésének köszönhetően a mechanikai meghibásodás rizikója rendkívül alacsony szintre esett, a balesetek túlnyomó többségét még mindig az emberi hiba okozza.)⁸³

Ezt természetesen egy jól előkészített és végrehajtott csapatpróba végrehajtása⁸⁴ nagymértékben segítheti, pontosan megadva a választ arra, hogy az ejtőernyős vészelhagyást az adott típusú helikopter fedélzetéről, a kiválasztott mentőejtőernyővel hogyan kell végrehajtani, illetve hogy az még milyen sebességi és magassági határok mellett használható biztonságosan. (Ez különösképpen akkor kiemelt jelentőségű, amikor a vizsgált repülőeszköz fedélzetéről végrehajtandó ejtőernyős vészelhagyás vonatkozásában még a mentőberendezés gyártója sem rendelkezik megbízható tapasztalatokkal, illetve az eszköz biztonságos használatával kapcsolatosan bizonytalanság merül fel.)

Összességében kijelenthető, hogy – kifejezetten a Magyar Honvédség most beszerzett, nyugati helikopterei esetében – a személyi mentőejtőernyő megléte és annak fedélzetén rendelkezésre állása a túlélés esélyét növel(het)i meg, egy új (ön)mentési lehetőség biztosításával, amely az azonnali, kollektív mentés – például autorotációs leszállás – végrehajthatóságát természetesen a továbbiakban sem befolyásolná.⁸⁵

Felhasznált irodalom

Агроник, А. Г. – Л. И. Эгенбург: *Развитие авиационных средств спасения*. Москва, Машиностроение, 1990.

A honvédelmi célú repülések és az ezzel összefüggő tevékenységek irányelveiről, a működési feltételekről és követelményekről szóló 185/2016. MH ÖHP intézkedés, aláírva 2016. március 31-én.

Air force in local wars. Online: www.skywar.ru/afghanistanen.html

Армия Советская. Москва, Планета, 1987.

⁸² Szabó Sándor András: A NATO repülőorvosi harmonizációs törekvései a hadműveleti tapasztalatok és a repülésbiztonsági adatok tükrében. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 2. 1. 209–216.

⁸³ Szabó Sándor András: „Öreg pilóta nem vén pilóta.” Élettani korlátozó tényezők és szellemi teljesítmény az életkor függvényében a pilóta és az U(C)AV operátor minősítése szempontjából. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), 2. 511.

⁸⁴ A Magyar Honvédség a 2013–2014-es év fordulóján az akkor rendszeresítés alatt álló ATL-88/98-S-1 típusú légi jármű személyzeti mentőejtőernyővel kapcsolatosan – ugyancsak egy csapatpróba-eljárás keretén belül – hajtott végre ilyen vizsgálatokat, vagyis rendelkezünk ezzel kapcsolatos elméleti ismeretekkel és gyakorlati tapasztalatokkal.

⁸⁵ Az értelmezhetőség tekintetében úgy is megfogalmazhattuk volna: ha nincs személyi mentőejtőernyő a fedélzetén, akkor „csak” az egyéni túlélés esélyei csökkennek le nullára, és a helikopter marad az az egyedüli, kollektív mentőeszköz, amellyel – bár lehetséges, hogy ekkor az már csak részlegesen maradt repülőképes állapotban – a földet érést végre kell hajtani. Annak valószínűségét, hogy például a forgószárnyrendszer vagy a faroklégcsavar sérülése esetén egy kényszerleszállást mennyire lehet irányítottan vagy közel irányítottan végrehajtani – amelyre természetesen egy helikoptervezető csak szimulátor segítségével készíthető fel valamilyen szinten –, előzetesen nagyon nehéz számszerűsíteni. Így biztonsági szempontból egy bizonytalan kimenetelű kényszerleszállással összevetve jelentősen felértékelődhet a pilóta-mentőejtőernyővel történő egyéni földet érés végrehajthatósága, amennyiben természetesen arra az adott személy a gyakorlatban is fel van készítve.

- Az MPAAD Pilot automata biztonsági készülékkel felszerelt ATL-88/98-S-I mentőernyő P-001-10 sz. használati, kiszolgálási, hajtogatási, kezelési, tárolási, karbantartási és javítási kézikönyve. 2. kiadás. ConsulTrade 2002 Kft., 2010.
- Az MPAAD Pilot automata nyitókészülékkel ellátott ATL-88/90-1 típusú mentőejtőernyő P-001-09 számú kiszolgálási, üzemeltetési, hajtogatási, kezelési, tárolási, karbantartási és javítási kézikönyve. 6. kiadás. ConsulTrade 2002 Kft., 2015.
- Az S-3-3 D típusú mentő ejtőernyő kézikönyve. Magyar Honvédség Repülőműszaki Szolgálatfőnökség, 2002.
- Boda József: *Ejtőernyősök. Leventék, sorkötelesek és sportolók – a polgári ejtőernyőzés története Magyarországon*. Budapest, Zrínyi, 2015.
- Boda József – Ruszin Romulusz: *Levegőből harcba. A magyar katonai ejtőernyőzés története és változó feladatrendszere*. Budapest, Zrínyi, 2012.
- Brandt Gyula: *A 87. Bakony Harcihelikopter Ezred története 1958–2004*. Szentkirályszabadja, a Bakony Harcihelikopter Ezred Szociális Alapítványa, 2004.
- Budavári Krisztina: A Zrínyi 2026 program. Korlátozott lehetőségek a magyar védelmi ipar fejlesztésére. *Hadtudomány*, 29. (2019), 3. 142–160. Online: http://real-j.mtak.hu/12795/7/HT-2019-3_PDF-A.pdf
- Бурцева, Н.: *Капюльта-спасительный выстрел. Воздушно-космическая сфера*. 3/4 (88/89) декабрь 2016. 38–49. Online: <http://vesvks.ru/public/flippingbook/vks32016/20/assets/basic-html/index.html>
- Cutler, Colin: *Bold thinkers: Creating the world's first helicopter ejection seat*. 2015. Online: www.boldmethod.com/blog/article/2015/03/helicopter-ejection-seat-rotor-floater/
- EASA Type Certification Data Sheet /EASA TC No.: R.008/ AS 350 B, AS 350 D, AS 350 B1, AS 350 B2, AS 350 BA, AS 350 BB, AS 350 B3, EC 130 B4, EC 130. T2, TCDS.R.008, Issue 06 – 25.05.2012. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-TCDS-R.008_Eurocopter_AS350-EC130-06-25052012.pdf
- Eastern bloc militaries. Online: www.quora.com/Is-it-possible-to-use-a-parachute-from-a-falling-helicopter
- Fallschirmhandbuch für den Rettungsfallschirm S-3-3 D*. Spekon GmbH., 1999. október.
- Győri János: *Akiket nem kísért a szerencse*. Budapest, Magyar Repüléstörténeti Társaság, 2013.
- Instructor explaining the operation of a parachute to student pilots, Meacham field, Fort Worth, TX*. Arthur Rothstein, 1942. Online: www.pinterest.es/pin/57702438947620998/
- Инструкция по укладке и эксплуатации парашюта С-4*. 1969.
- IrvinGQ personnel parachute assemblies, emergency escape parachute systems. Online: www.irvingq.com/irvingq-products-services/aerial-delivery-search-and-rescue-products/aerial_delivery_personnel/emergency-escape-parachute-systems/
- Is it possible to use a parachute from a falling helicopter?* Online: <https://quora.com/Is-it-possible-to-use-a-parachute-from-a-falling-helicopter>
- Kaňavský, P. – V. Socha – L. Socha – P. Kutilek – J. Gazda – M. Kimlickova: *Conditions for abandonment out of a helicopter using personal rescue parachute*. Online: www.researchgate.net/publication/280301568_Conditions_for_abandonment_out_of_a_helicopter_using_personal_rescue_parachute
- Капюльтно-амортизационная система К-37-800М*. Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/121#slide-1-field_product_image-121
- Каталог продукции. Спасательная парашютная система С-4Б*. Online: www.aviaspas.ru/catalog/s-4b/

Lesz-e személyzeti mentőejtőernyő a Magyar Honvédség új helikoptertípusainak fedélzetén?

- Каталог продукции. Спасательная парашютная система ПНЛ-86А. Online: www.aviaspas.ru/catalog/pnl-86a/
- Каталог продукции. Спасательная парашютная система С-5И. Online: www.aviaspas.ru/catalog/s-5i/
- Kavas László – Óvári Gyula – Varga Béla: Repülőeszközök tüzelőanyaggal történő légiutántöltésének módszerei, hagyományos és új alkalmazási lehetőségei. *Repüléstudományi Szemelvények*. 2016. 81–112. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2016.pdf
- Kenyeres Dénes: *Könnyűhelikopterek (Mi-1М, Ka-26) története a magyar haderőben 1961–1990*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2005.
- Kenyeres Dénes: *Mi-2 típusú helikopterek alkalmazása a magyar hadseregben*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2008.
- Kenyeres Dénes: *Mi-8 típusú közepes szállítóhelikopterek a magyar haderőben 1969–2009*. Kecskemét, szerzői kiadás, 2010.
- Klein, Christopher: *Vietnam war helicopter pilot to receive Medal of Honor*. Online: www.history.com/news/vietnam-war-helicopter-pilot-to-receive-medal-of-honor
- Kopenhagen, W: *Heft Kampfhubschrauber. Militär Technische Hefte*. Berlin, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB), 1983.
- Kormos László: A helikopterek katonai alkalmazásának tapasztalatai. *Hadtudomány*, 8. (1998), 3. Online: <http://mhht.eu/hadtudomany/1998/ht-1998-3-7.html>
- Kovács Vilmos – Illésfalvi Péter – Nagy András: *Capronitól a Gripenig*. Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2008.
- Кресло для вертолетов «Памир». Online: www.zvezda-npp.ru/ru/node/122A
- MN1936 katonai életképek 1989–1990. Online: www.d6.felhout.hu/gallery/v/eje/fotogaleriak/MN/E049_1990_05_SzolnokC-4y.jpg.html
- На МИ-24 пилоты не могут выпрыгивать с парашютом. Online: http://feedback.rhsmos.org/bug_revision_view_page.php?rev_id=3730
- Nagy László: A katonai helikopterek üzemeltetésének, repülő-műszaki biztosítási rendszerében várható változások. *Honvédségi Szemle*, 147. (2019), 6. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2019.6.9>
- Óvári Gyula: Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? *Haditechnika*, 4. (1992), 4. 2–9.
- Óvári Gyula: Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására. *Repüléstudományi Közlemények*, 17. (2005), Klsz. 119–126. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf
- Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue parachute system, type PN-58 series 3. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm
- Polyot – Paraborne equipment. Rescue parachutes. Rescue steerable parachute system, type S-4U. Online: www.expo21xx.com/nautica21xx/18543_st3_watersports/default.htm
- Приказ N 155 Министр Обороны Российской Федерации от 2 апреля 2001 года, Об утверждении Наставления по парашютно-спасательной и десантной подготовке авиации Вооруженных Сил Российской Федерации. Online: <http://docs.cntd.ru/document/902041417>
- Разгрузочные жилеты летчиков ВКС РФ могут модернизировать с учетом сирийского опыта. Online: <https://tvzvezda.ru/news/opk/content/20198131415-zflqV.html>
- Re-552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1964.

- Re/976 *A Mi-8 típusú helikopter üzemeltetési és műszaki kiszolgálási utasítása. I. könyv. A helikopter jellemzése, légi üzemeltetése és a súlypont beállítása.* Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1982.
- Резниченко, Г. И.: *Вся жизнь-небу.* Москва, Политической Литературы, 1990.
- Siirpää, Ville: *Introduction of the T-10 static line parachuting capability to the NH90 helicopter.* Department of Military Technology, Series 1 Number 35. Tampere, National Defence University/Department of Military Technology, Finland, April 2013. Online: www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95935/INTRODUCTION_OF_THE_T_10_netti.pdf;jsessionid=CB423870678A7C2B0BD8372AEB2EE42F?sequence=2
- Survival of a pilot in a forest.* Online: <https://englishrussia.com/2012/04/10/survival-of-a-pilot-in-a-forest/2/>
- Sz-4U típusú irányítható mentőejtőernyő 6772-67 számú műszaki leírása és 6773-67 számú hajtogatási és üzemeltetési kézikönyve. Budapest, Magyar Repülő Szövetség Ejtőernyős Szakbizottság, 1993.
- Szabó Sándor András: A NATO repülőorvosi harmonizációs törekvései a hadműveleti tapasztalatok és a repülésbiztonsági adatok tükrében. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 2. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Szabo_Sandor.pdf
- Szabó Sándor András: „Öreg pilóta nem vén pilóta.” Élettani korlátozó tényezők és szellemi teljesítmény az életkor függvényében a pilóta és az U(C)AV operátor minősítése szempontjából. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), 2. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/39_Szabo_Sandor_Andras.pdf
- Szaniszló Zsolt: Az orosz katapultülések kifejlesztési folyamatának biztonságtechnikai szempontok szerinti vizsgálata. *Hadmérnök*, 8. (2013), 3. 5–21. Online: http://hadmernok.hu/133_01_szaniszlolz.pdf
- Szaniszló Zsolt: 1961. április 12. Gagarin földet érése személyi ejtőernyővel... valamint a folyamat technikai és személyi háttere. *Repüléstudományi Közlemények*, 28. (2016), 3. 109–139. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-08-0349_Szaniszlo_Zsolt.pdf
- Szentesi György: *Katonai repülőgépek és helikopterek. Típuskönyv.* Budapest, Zrínyi, 1987.
- Смирнов, В. А.: *Справочник инструктора-парашютиста.* Москва, ДОСААФ СССР, 1989.
- Szödi Sándor: *Az ejtőernyőzés áttekintése, története a selyemszárnyak története.* Budapest, Műszaki, 1993.
- Спасательный управляемый парашют С-4У. Техническое описание инструкция по укладке и эксплуатации.*
- Техническое описание С-3-3*
- Tillman, Barrett: *Az Egyesült Államok Légieréről.* Debrecen, Gold Book Kft., [é. n.].
- Vándor Károly: *Légierő társbérletben, avagy A Szovjet Légierő és Légvédelem története Magyarországon és Ausztriában (1944–1991.). II. kötet.* Magánkiadás.
- Virtual technology enhances training for aircrews.* 2006. Online: www.af.mil/News/Article-Display/Article/129527/virtual-technology-enhances-training-for-aircrews/
- Военная приемка. Летающая «парта» для «Ночных охотников».* Online: www.youtube.com/watch?v=DtKzGdk6QE4&list=PLcRxMiXa98X-ejsnO4f6yOzKRSht944jW&index=119
- Westermann, Edward B.: *The limits of the Soviet Airpower: the bear versus the mujahideen in Afghanistan, 1979–1989.* BiblioScholar, 2012. Online: www.allworldwars.com/The-Bear-vs-Mujahideen-in-Afghanistan-by-Edward-Westermann.html

Békési Bertold

Műszertan I.

Absztrakt

Jelen tanulmányban a repülőgépműszerek és azok elméleti alapjai témaköreiből csak egy nagyon szűk szegmensen, nevezetesen a műszerfalakkal, azok kialakulásával és a teljes-statikus nyomásrendszerrel¹ foglalkozom.

Bevezetés

A tanulmány célja az Állami Légiközlekedési szak Állami légijármű-vezető, Katonai repülésirányító és Katonai Repülőműszaki szakirányain a Repülési ismeretek II., Repülőgépek műszerei és elektromos berendezései, valamint a *Katonai légi járművek fedélzeti műszerrendszerei* című tantárgyakon belül az általános repülőgépműszerek és azok elméleti alapjai témaköreinek feldolgozása a fellelhető magyar és angol nyelvű szakirodalmak segítségével. Jelen tanulmányban csak egy nagyon szűk szegmensen, nevezetesen a műszerfalakkal, azok kialakulásával és a Pitot-statikus rendszerrel foglalkozom.

Célom, hogy az új képzésekhez megfelelő modern új oktatási tananyagrészek jöheszenek létre, amelyek az egyetemi oktatás keretein belül hasznosíthatók lesznek a BSc-s képzésben, a jövő légijármű-vezető, valamint repülőműszaki tisztjelöltjei számára.

A tanulás megkönnyítése és az átláthatóság növelése szempontjából a tanulmányban egy rövidítéseket tartalmazó angol szakmai szószedetet is mellékelek. Természetesen ez a szószedet nem tartalmaz minden egyes rövidítést a repülőműszaki (elsősorban az avionika) szakterülettel kapcsolatosan, de törekedtem összegyűjteni azokat, amelyekkel az angol nyelvű szakirodalomban vagy az interneten találkozhatunk, vagy csak hivatkoznak rájuk, és sokszor nincsenek feloldva. Mindezt annak érdekében, hogy az oktatásban rendelkezésre álljon egy ilyen gyűjtemény, továbbá hogy a hallgatók munkáját megkönnyítsem, ezzel is időt megtakarítva, valamint hozzásegítve őket a vizsgatananyagra való hatékony felkészüléshez.

¹ Az angol szakirodalom *Pitot static system* néven használja. Magyar irodalmakban, Pitot-statikus rendszer elnevezéssel is találkozhatunk (lásd később a 2. fejezetben leírtakat).

Általános műszerek

A kezdetek kezdetén a pilóta minden egyes adatot érzékszervei révén közvetlenül kapott meg a légi járműről és a környezetéről.² A fejlődés eredményeként a mai modern repülőgépek pilótakabinját már nem lehet összehasonlítani, a régi típusú repülőgépekével. A különálló műszerek helyét átvették a kijelzők. A pontosság és a megbízhatóság jelentős mértékben javult, a kijelzők kialakítása és elhelyezése a kabinban ergonomiai szempontok figyelembevételével történik. Az 1. ábrán egy B737-100 típusú repülőgép műszerei, míg a 2. ábrán a legújabb B737 MAX műszerfala látható. Jól megfigyelhető a nagymértékű változás, és az első benyomás az, hogy a műszerfal letisztultabb, rendezettebb, és kevésbé tűnik zavarosnak.³



1. ábra: B737-100 repülőgép kabinja

Forrás: www.b737.org.uk/images/flightdeck737100.jpg



2. ábra: B737 MAX repülőgép kabinja

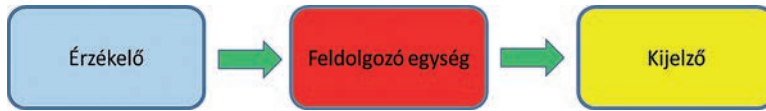
Forrás: www.b737.org.uk/images/max-flightdeck.jpg

² Beneda et al.: *Repülőgépek rendszerei és avionika*. Egyetemi tananyag. Budapest, Typotex, 2012.

³ Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010.

Egy műszer a 3. ábrán látható három részből tevődik össze:

- érzékelő (szenzor);
- feldolgozó egység (processzor);
- kijelző (indikátor).



3. ábra: Műszerek

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.3 alapján a szerző szerkesztése. Online: www.nordian.net/REPOSITORY/104_easa_instrumentation_demo.pdf

Az érzékelő a műszernek azon része, amely arra a paraméterre érzékeny, amelyet mérni kívánunk. A mért paramétert könnyen feldolgozható mennyiséggé alakítja. A processzor előkészíti a paramétert, hogy az megjeleníthető legyen. Ez a folyamat tartalmazhat hibakorrekciót, kalibrációt és erősítést. A kijelző végül a megfelelő formátumban mutatja a mért paramétert. A legtöbb kisrepülőgépen a három részegység egy tokozatban található. A nagy repülőgépeken a szenzor és a processzor külön helyezkedik el a kijelzőtől. Általában a szenzor és a processzor egy tokozatban (analóg vagy digitális számítógép) van, és egy, a pilótafülke közelében elhelyezkedő, külön hűtéssel rendelkező rekeszben⁴ foglal helyet.

Újabban a szenzort a legideálisabb mérési pontokon helyezik el, és mért jeleiket a digitális adatbuszon (data bus) továbbítják a feldolgozó egységnek, amely a számítógépes rendszer része. Innen a jelek a kijelölt műszerekhez kerülnek továbbításra, amelyek megjelenítik a mért paramétereket.⁵

Műszerpanel

A 4. ábrán a műszerpanelek elhelyezése látható. A személyzet előtt van a bal, középső és jobb fő műszerfal (MIP⁶). Közvetlenül a légijármű-vezetők előtt elhelyezkedő bal (left – L) és a jobb (right – R) oldali fő panelek azonosak, és itt főként a repülés-ellenőrző műszerek kapnak helyet rajta. A középső (center – C) panelen található a hajtómű-ellenőrző műszerek.

A fő műszerpanel fölött egy fényellenző (GSP-⁷) panel található. Ez a borítás megakadályozza, hogy a panelekre direkt napfény juthasson. Ebben a borításban helyezkednek el a robotpilóta-vezérlőműszerek. A két ülés között található a középső vezérlő pult (PED)⁸, amelyen többek között a rádió-vezérlőegységek találhatók. A fej fölötti pane-

⁴ Ezt a rekeszt *avionics bay*nek hívják.

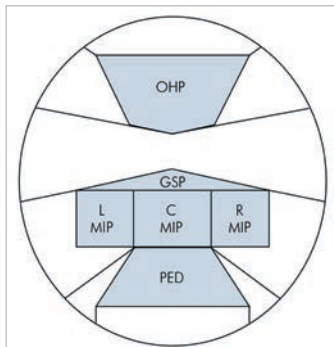
⁵ Instrumentation (2010) i. m.

⁶ MIP – main instrument panel.

⁷ GSP – glare shield panel.

⁸ PED – pedestal.

len (OHP)⁹ a repülőgép elektronikus, hidraulikus, pneumatikus rendszereinek vezérlői helyezkednek el.¹⁰



4. ábra: Műszerpanelek elhelyezkedése

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.4

Ergonómia

A repülésben fontos, hogy a műszereket néhány jól meghatározott ergonómiai alapelv figyelembevételével alakítsák ki. A pilótakabin műszerei azért vannak, hogy a légijármű-vezetőket pontos információkkal lássák el. A repülésben, amikor a biztonság forog kockán, a döntéseket pillanatok alatt kell meghozni, és a műszerekre való rápillantással meg kell tudni határozni a repülési helyzetet. Az ergonómikus gondolkodás jelentősen hozzájárult a pilótakabin és a műszerek megfelelő kialakításához.¹¹

Szem-referenciahelyzet

Nagyon fontos elgondolás a pilótakabin tervezésénél a szem-referenciahelyzet. A tervezők meghatároznak egy pontot, ahova a pilóta nézni fog a repülés alatt, és az egész kabin eköré a pont köré kerül felépítésre. Az üléseket úgy kell kialakítani, hogy állíthatók legyenek a különféle magasságú pilóták számára (1,58 m és 1,91 m magasság között)¹² is, hogy a szemük ugyanabba a helyzetbe kerüljön. A fényellenző magassága, a kijelzők helyzete, a gombok, a kapcsolók és a karok a szem-referenciahelyzetének figyelembevételével

⁹ OHP – over head panel.

¹⁰ Instrumentation (2010) i. m.

¹¹ Instrumentation (2010) i. m.

¹² Az EASA CS 25.773 és az FAA FAR 25.773 rendeletek megkövetelik, hogy a repülőgépgyártó olyan eszközöket biztosítson, amelyek elősegítik a pilóták pontos elhelyezkedését, és lehetővé teszik számukra, hogy a legjobb kilátást biztosítsák az ülésekről.

kerülnek kialakításra. Még a repülőgép orrának külső alakja is, mert megközelítésnél és leszállásnál a pilótakabinból való kilátásra vonatkozó szabályok vannak érvényben.¹³

Többféle módja van, hogy a pilóta számára jelezzék, hogy hol van ez a referenciapont a kabinban (5. ábra). Az egyik eljárás, hogy elrendeznek három labdát a szélvédő közepén lévő oszlopon. Mindkét pilótának úgy kell beállítani az ülését, hogy két labdát egymással egy síkban lásson. Az egyetlen helyzet, amely ezt lehetővé teszi az az, amikor a szem a referenciahelyzetben van.¹⁴



5. ábra: Szem-referenciahelyzet

Forrás: a szerző szerkesztése a <https://europe.content.twinklmedia.com/twinkl-preview/e37527c12cbd8fc4effad5ac269b712b/content/7496f1a5f66f66cd05ecc212c5d05a7a/45/images/Fig.01%20-%20Eye%20reference%20point%20principle.jpg?r=0.7933419404475782> és az Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.5 alapján

Megjegyzés: Az ábrán található rövidítések: PFD – elsődleges repülési kijelző; ND – navigációs kijelző

¹³ Az EASA CS 25.773 és az FAA FAR 25.773 rendeletek. Certification specifications for large aeroplanes CS-25. European Aviation Safety Agency, 5 September 2008. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/agency-measures-docs-certification-specifications-CS-25-CS-25-Amdt-5.pdf

¹⁴ Gilles Marquet – Vincent Sibelle – Maurice Garnier: Are you properly seated? Airbus S.A.S., January 2018. Online: <https://safetyfirst.airbus.com/are-you-properly-seated/>

Parallaxis

Az egyik szempont, amiért a szem-referenciahelyzet fontos, az a parallaxis. Ha egy műszer mutatója néhány milliméter távolságban helyezkedik el a skálájától, és a megfigyelő egy olyan helyzetből nézi, amely nem merőleges a műszerre, ilyenkor azt látni, hogy a műszer más értéket mutat, mint amit valójában. Ezt parallaxishibának nevezik, és kiküszöbölhető, ha a legfontosabb műszerek egyenesen a pilóta előtt kapnak helyet. Ha a műszerek bizonyos távolsággal oldalra vannak a pilótától, akkor a műszerek enyhe elforgatásával lehet elősegíteni, hogy merőlegesen lehessen rájuk nézni.

A másik módja a kiküszöbölésnek, hogy a mutatót olyan közel helyezik el a hátlaphoz, amennyire csak lehet. De a legjobb módja egy számítógép kijelzője által kirajzolt műszer és mutató, vagy az értékek digitális számjegyekkel való megjelenítése.¹⁵

Megjelenítés

A műszerek alapvető szerepe nem változott az első repülőgépbe épített műszer óta. Ami változott, az az információk pilótához való eljuttatásának módja.

Tekintsük a repülőgép üzemeltetésére úgy, mint egy szabályozott körre. A pilóta az irányító, a repülő a szabályozott rendszer és a műszerek pedig az eszközök, amelyek által a pilóta információt szerez a rendszer működéséről. Annak érdekében, hogy ezt a szabályozást hatékonyan lehessen elvégezni, elengedhetetlen, hogy az adatok mentális értelmezése a lehető legegyszerűbb legyen. Ebből két kérdés adódik:

1. Milyen legyen a műszer kialakítása?
2. Hol legyen a műszer elhelyezve?

A kijelző kialakítása

A kijelző lehet analóg, digitális vagy képi megjelenítésű.

Az analóg kijelzőnél a mutató mozgása közvetlen kapcsolatban áll a mért érték változásával.

A legtöbb analóg kijelző elektromechanikus kialakítású, de vannak teljesen elektronikusak is. Az analóg kijelzőknek sok fajtája elterjedt, de két alapvető formáját alkalmazzák:

- 1. kör alakú elrendezés;
- 2. egyenes elrendezés.

A választás a kijelezni kívánt adat típusától függ, de általában, a lehető legjobb helykihasználást is szem előtt tartják. A tipikus kör alakú és egyenes skálák a 6. ábrán láthatók.

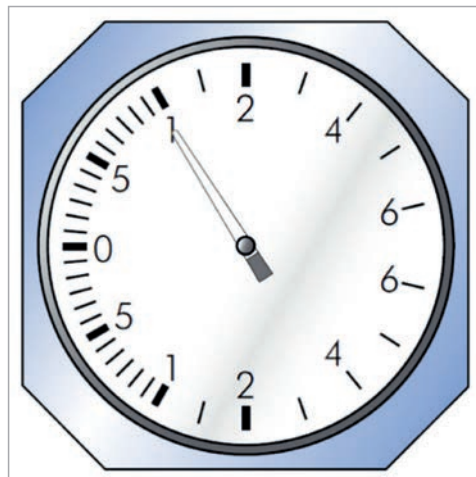
¹⁵ Instrumentation (2010) i. m.



6. ábra: Kijelző

Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.6

Néhány esetben szükséges, hogy egy skálának bizonyos részeit pontosabban lehessen leolvasni, mint más részeit. Ezt logaritmikus skála alkalmazásával lehet elérni (7. ábra). Jól látható, hogy a távolság 0 és 1 között nagyobb, mint 1 és 2 között.



7. ábra: Logaritmikus skála

Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.7

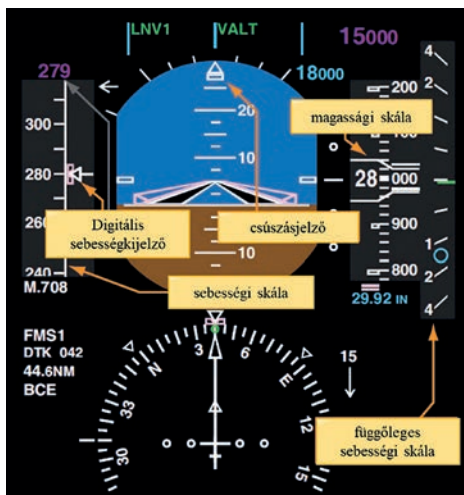
A digitális kijelzőt (8. ábra) többféleképpen alkalmazhatják, de akkor van a leginkább jelentőségük, amikor kvantitatív mennyiségeket kell megjeleníteni, mint magasság, távolság, üzemanyagszint, hőmérséklet stb.



8. ábra: Digitális kijelző

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.8

Az ergonomikus megközelítés szükségessé teszi, hogy az ábrázolni kívánt érték természete és a megjelenítés módja között legyen kapcsolat. Ahol lehet, képi megjelenítéssel legyen feltüntetve a változó. Például korábban a magasságmérő egy kerek műszer volt, és a mutató felfelé mozgott, amikor a repülő emelkedett, lefelé pedig akkor, ha süllyedt. Ergonómiai szempontból ez nemkívánatos tulajdonság. A modern EFIS¹⁶-kijelzőkön (9. ábra) a magasságot egy egyenes, függőleges skálán jelenítik meg, ahol a fixált mutató minden esetben relatíve emelkedik az alatta elforduló skálához képest.¹⁷



9. ábra: EFIS

Forrás: Online: www.flight-mechanic.com/wp-content/uploads/2017/11/10-119.jpg alapján a szerző szerkesztése

¹⁶ EFIS (electronic flight instrument system): elektronikus repülési műszerrendszer (repülést ellenőrző adatok elektronikus műszeren történő megjelenítése).

¹⁷ Instrumentation (2010) i. m.

A képi megjelenítés előnye, hogy ha csak egy pillantást vetünk a műszerre, akkor is azonnal megjelenik egy kép a pilóta tudatában, ami elősegíti a helyzetek felismerését.

Két alapvető módja van a képi megjelenítésnek. Az *inside-out* megjelenítés és az *outside-in* megjelenítés. Az *inside-out*-nál a megfigyelő a külső világot látja a kijelző mozgó részeként. Jó példa erre a műhorizont (10. ábra). *Inside-out* megjelenítést alkalmazva a repülőgép-sziluett az álló része és a horizont a mozgó része a műszernek.



10. ábra: Műhorizont

Forrás: www.mcico.com/medias/4200-10.jpg?fv=218C545D41D0252EBA39842713BA6CB5-140695

A műszerek elhelyezése

Jól ismert ergonomikus repülőgépműszerfal-kialakítás a T-elrendezés (4 műszer) és a 6-os elrendezésű műszerfal (11. ábra). Ezek a hat legfontosabb műszert érintik a műhorizontot, az iránytartót, a sebességmérőt, a magasságmérőt, a variométert és a dőlés- és elfordulásjelzőt. A T-elrendezés a hivatalos követelmény, amelyet az utasszállító repülőgépeknél is alkalmaznak az alapvető négy műszer elrendezésére, de az alap 6 nem minden típuson jelenik meg.¹⁸

A T-elrendezés hatással volt a modern EFIS-kijelzők tervezésére. Az első modelleknél két kijelzőt helyeztek el egymás fölött, míg később egymás mellé kerültek. Így, mivel korábban az alsó kijelzőn voltak az irányinformációk, már nem vágott volna egybe a T-elrendezés követelményeivel, ezért a műhorizont alatt egy kis irányinformációt tartalmazó skálát készítettek, hogy a T-elrendezést helyreállítsák.¹⁹

¹⁸ Beneda et al. (2012) i. m.

¹⁹ Instrumentation (2010) i. m.; Pallett, E. H. J.: *Aircraft instruments & integrated systems*. Prentice Hall, Pearson, 1992.; Instrumentation ATPL Ground Training Series. CAE Oxford Aviation Academy (UK), 2014.



11. ábra: T-elrendezésű műszerek

Forrás: www.flight-mechanic.com/wp-content/uploads/2017/11/10-4.jpg és https://s28490.pcdn.co/wp-content/uploads/2019/05/SkyView-Touch-EFIS-with-six-pack_PFD_web-1.jpg

Elektronikus kijelzők

Hosszú evolúció vezetett el oda, hogy a légijármű-vezető szinte minden oldalról üvegfelületekkel legyen körülvéve. Hozzávetőleges történelmi időrendben az alábbi elektronikus kijelzők (fénytechnikai eszközök) fordulnak elő az információ megjelenítésben:

- izzószálas lámpa;
- gázkisüléses lámpa;
- katódsugárcsőves (CRT²⁰);
- plazmamegjelenítő²¹ (a repülésben nem terjedt el);
- LED²² megvilágítású;
- LCD²³-kijelző.²⁴

²⁰ Cathode ray tube – katódsugárcső.

²¹ Plasma display – plazmamegjelenítő.

²² Light emitting diode – fényt kibocsátó dióda (világítódioda).

²³ Liquid cristal display – folyadékkristályos képernyő.

²⁴ Beneda et al. (2012) i. m.; Instrumentation (2010) i. m.

Az izzólámpás kijelzők

Az első elektronikus kijelzők izzólámpákból készültek. Az egyes szegmensek különálló megvilágíthatósága lehetővé tette a hétszegmenses kijelzők létrehozását, amely tíz decimális szám megjelenítésére képes (lásd 12. ábra).



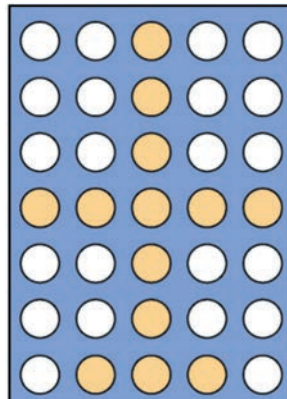
12. ábra: Hétszegmenses kijelző

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.11

LED-kijelzők

Ezekből az apró félvezetőkből is készíthetünk hétszegmenses kijelzőt, de bonyolultabb, 5×7 -es kijelzőt is, amely alfanumerikus karakterek megjelenítésére alkalmas.

A pilótakabinban jó néhány műszerben alkalmaznak 7 szegmenses és 5×7 -es kijelzőt is számok megjelenítésére (például: frekvenciamegjelenítés vagy a távolságmérő műszer [DME²⁵]).²⁶



13. ábra: 5×7 LED-kijelző

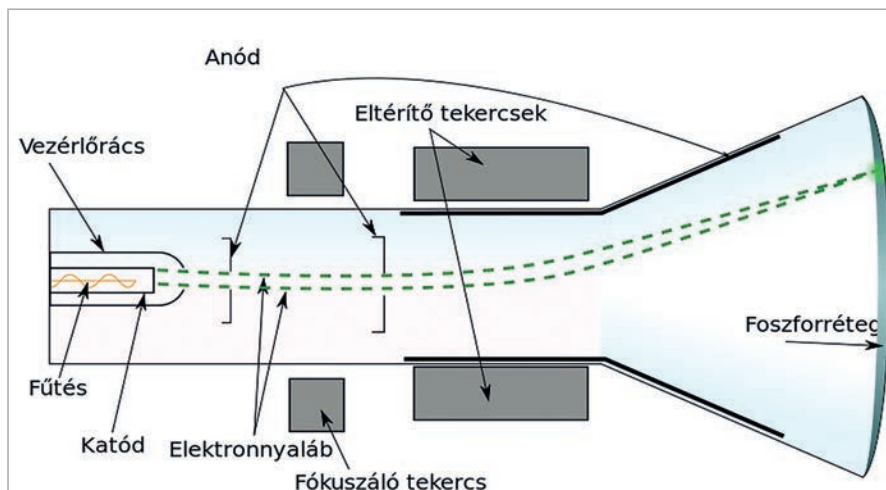
Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.12

²⁵ Distance measuring equipment – (rádiós) távolságmérő berendezés.

²⁶ Instrumentation (2010) i. m.; Pallett (1992) i. m.

Katódsugárcsőes kijelző

A hagyományos katódsugárcsőes kijelző az egyik legkorábbi, korszerű megjelenítő eszköz volt. A CRT-kijelző (14. ábra) tartalmaz egy katódsugárcsövet, amelynek egyik végén egy elektronágyú található, a másig végén pedig egy foszforral bevont képernyő. Az elektronágyú által kibocsátott elektront elektromágneses térrel manipulálják két tengely mentén. Amikor az elektron az elülső falra felvitt foszforréteggel találkozik, gerjeszti az itt található luminofor képpontokat, amelynek hatására egy pixelnyi felület felvilágosul, majd elhalványodik. Az ismételt ütközések következtében a pixel nem halványodik el, hanem folyamatosan világít. A katódsugárcsőben (üvegballon) vákuum van. A cső nyakában van a fűtött katód, amelyből termikus hevítés hatására elektronok lépnek ki. A kibocsátott elektronokat úgy térítik ki az eltérítő tekercsek, hogy az elektronsugár nagy sebességgel, a képernyőn balról jobbra, fentről lefele halad, a frissítési frekvenciának megfelelően. Amikor az elektronnyaláb elérte a kép jobb alsó pontját, nagyon rövid idő alatt visszaugrik az első sor bal szélére. A sor és kép visszafutásának idejére az elektronnyalábot kioltják, így ezen idők alatt nem ír jelet a képernyőre. Tehát azt, hogy másodpercenként hányszor frissítjük a képpontokat, képfrissítési frekvenciának nevezzük, mértékegysége a Hz (Hertz).²⁷

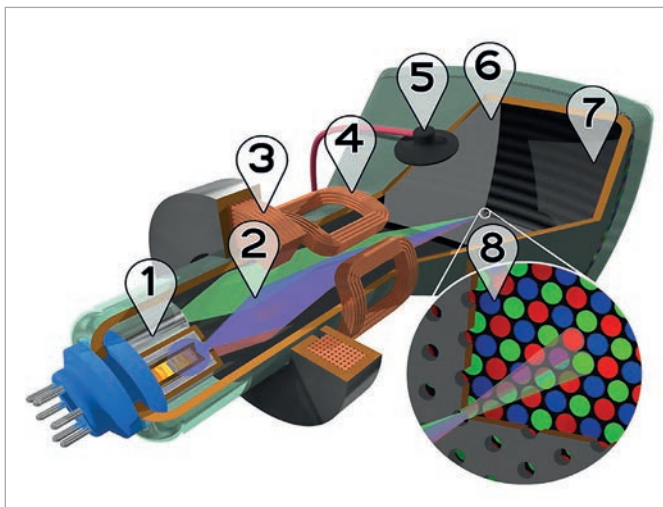


14. ábra: Katódsugárcsőes kijelző

Forrás: http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/3D_megjelenitesi_technikak/images/image_V_7.jpeg

Az első monitorok egyetlen szín árnyalatát tudták megjeleníteni, tehát monokrómok voltak. A színes monitorok három alapszínnel rendelkeznek: a pirossal, a zölddel és a kékkel (RGB-színkeverés). Mindegyik színhez külön elektronágyú tartozik (15. ábra).

²⁷ Fekete Róbert Tamás et al.: *3D megjelenítési technikák*. 5. fejezet, Klasszikus és Modern megjelenítési technikák. Budapest, BME MOGI, 2014.



15. ábra: A színes CRT-monitor katódsugárcsőének felépítése

Forrás: http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/3D_megjelenitesi_techinak/images/image_V_8.jpeg

Megjegyzés: 1. elektronágyú, 2. elektronnyalábok, 3. fókuszáló tekercsek, 4. eltérítő tekercsek, 5. anódsatlakozó, 6. maszk a megjelenítendő kép vörös, zöld és kék részének szétválasztásához, 7. foszforréteg, 8. vörös, zöld és kék zónákkal a képernyő foszforborítású belső rétegének közelképe

Folyadékkristályos kijelző

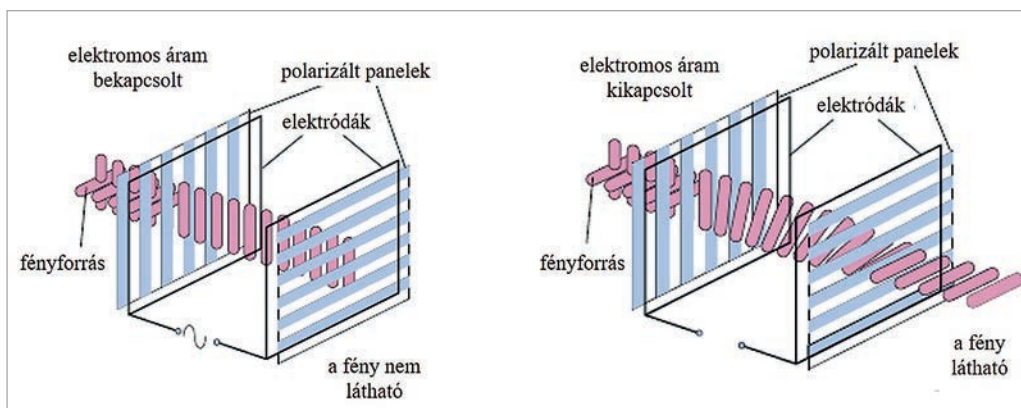
Működésének lényegét a folyadékkristály²⁸ hatása adja. Ha folyadékkristályt üveglap közé helyeznek, akkor a polarizált fény változás nélkül halad át a felületen, azaz világító pontok jelennek meg a képernyőn. Ha azonban elektromos teret visznek az üveglapok közé helyezett, folyékony halmazállapotban lévő kristályokra, akkor a molekulák elfordulásuk révén elzárják a polarizált fény útját. A képek kontrasztját – a világos és sötét pontok közötti különbséget – tehát feszültségváltozással lehet szabályozni. Ezáltal elérhető a molekulák helyzetének folyamatos változtatása, azaz a kép tartalmának változása.²⁹

Tegyük fel, hogy a polarizáló rétegek azonosak, és átengedik a fényt, de az elektromos tér hatására a fény polarizációja megváltozik, így a második réteg már nem fogja átengedni. A legegyszerűbb LCD-kben hátul tükör van, de a kifinomultabbaknak fluoreszcens háttérvilágításuk van. Ha a polarizáló szűrők 90 fokkal el vannak forgatva egymáshoz képest, akkor a kijelző sötétnek látszik. Ebben az esetben az elektromosság világos területeket hoz létre. Tehát az első és hátsó polarizáló réteggel beállítható, hogy fehér alapon fekete vagy fekete alapon fehér kijelzőt hozunk létre (lásd 16. ábra).³⁰

²⁸ A folyadékkristályok olyan anyagok, amelyek folyékony halmazállapotúak, de bizonyos hőmérséklet-tartományban optikai viselkedésük a szilárd kristályokhoz hasonló. Online: www.kislexikon.hu/folyadekkristalyos_kijelzo.html#ixzz6d7tiPluN

²⁹ Az LCD (folyadékkristályos kijelző). Online: https://forgos.uni-eszterhazy.hu/wp-content/tananyagok/tamop/mediumismeret_I/26_10/313_az_lcd_folyadkkristlyos_kijelz.html; Pallett (1992) i. m.

³⁰ Instrumentation (2010) i. m.



16. ábra: LCD-kijelző

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.16 alapján a szerző szerkesztése

A TFT³¹ az LCD-technológián alapul. Minden egyes képpontja egy saját tranzisztorból áll, amely aktív állapotban elő tud állítani egy világító pontot. Az ilyen kijelzőket gyakran aktív-mátrixos LCD-nek (AMLCD³²) is szokás nevezni. A három elektródából felépülő tranzistor kapcsolófunkciót lát el. A vezérlőjel hatására a videojel a folyadékkristály-cel-lára kerül. A megoldás előnye, hogy rendkívül gyors működésű.³³

Jelentős előnye az LCD-nek az alacsony energiaigénye. Sok szegmens helyezhető el egy relatíve kicsi felületen. A legnagyobb hátránya az LCD-nek, hogy a túl nagy, vagy túl kicsi hőmérséklet károsíthatja a kijelzőt. Minél hidegebb van, annál lassabb a képernyő. A képernyő befagyása $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on történik, míg $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on maradandó károsodást szenved.³⁴

Összefoglalás

Ha összehasonlítjuk az LCD-t a CRT-vel, akkor elmondható, hogy az LCD-kijelző nem bocsát ki sugárzást, könnyebb és kisebb az energiaigénye. A CRT sok hőt termel, amit el kell vezetni. Az LCD-t nem tehetjük ki extrém hőmérsékleteknek. Egy másik fontos dolog, amit számításba kell venni, a tükröződés, amiben az LCD-megjelenítők a jobbak.

Átviteli rendszer

Az átviteli rendszert három kategóriába sorolhatjuk:

- mechanikus;
- elektromechanikus;
- digitális.

³¹ Thin film transistor – vékonyfilm-tranzisztor.

³² Active-matrix liquid-crystal display – aktív mátrix folyadékkristályos kijelző.

³³ Fekete et al. (2014) i. m.

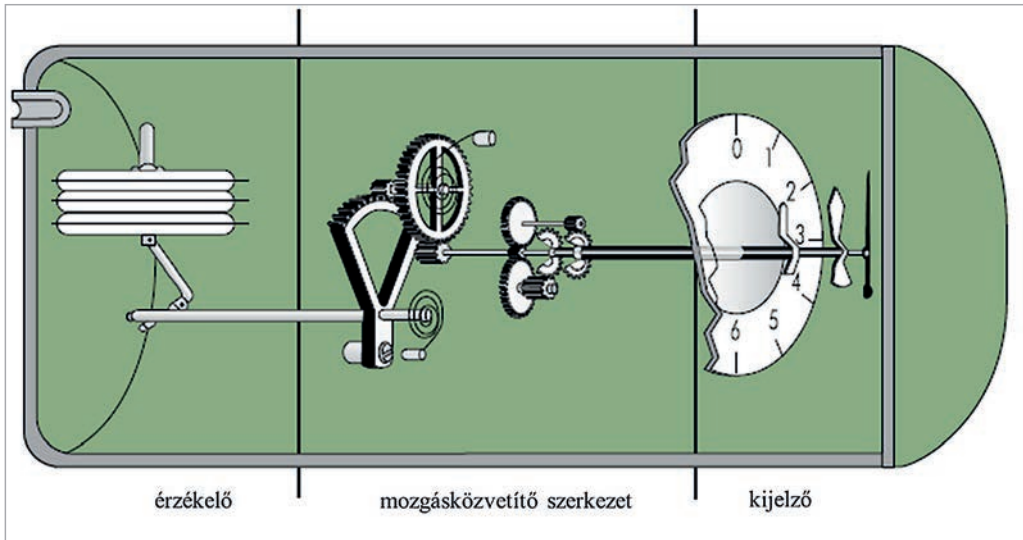
³⁴ Instrumentation (2010) i. m.

Mechanikus átvitel

Ez az adattovábbítás hagyományos formája, amely évszázadokon át használatos volt. A 17. ábrán egy tipikus mechanikus rendszer látható: tengelyek és fogaskerekek segítségével továbbítja a szenzor mozgását a kijelzőhöz.

Bár egy ilyen rendszer egyszerű és megbízható, van néhány problémája:

- a szenzornak és a kijelzőnek közel kell lenniük egymáshoz;
- a csapágyak súrlódása elhasználódáshoz vezet, aminek eredménye, hogy a műszer egy idő után veszít a pontosságából, ezért gyakrabban kell felújítani;
- a súrlódás mechanikai erőt hoz létre késést eredményezve a kijelzőn a szenzor információjához képest.



17. ábra: Mechanikus átvitel

Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.17 alapján a szerző szerkesztése

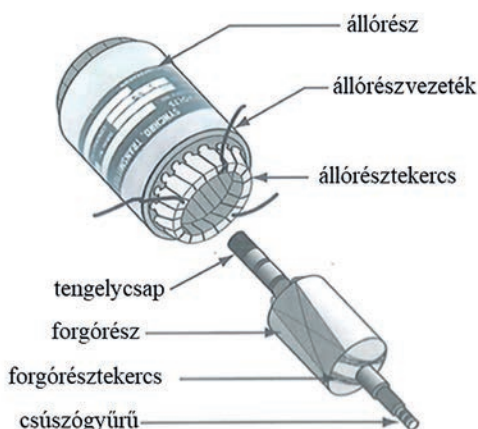
A főbb problémák minimalizálása érdekében például féldrágakő vagy drágakő csapágyak (az acél csap egy precízen csiszolt drágakő felületén csúszik) használatával minimalizálni lehet a kopás mértékét. Kísérleteket tettek a statikus súrlódás csökkentésére, úgy hogy a mechanizmusokat aránylag nagy frekvencián rezgették. Ez a csapágyakat lebegésbe hozta, és a mechanikus késést így kismértékben csökkenteni lehetett. A mechanikus kapcsolódások még mindig gyakoriak, és a legtöbb kis repülőgép műszereiben, valamint a nagy repülők tartalék műszereiben is megtalálhatók.³⁵

³⁵ Instrumentation (2010) i. m.

Elektromechanikus átvitel

Régebbi rendszerek egyenáramú átvitelt használtak. A modern repülőgépek váltakozó áramú átviteli rendszert használnak, amelyet szinkronátvitelnek neveznek. A szinkronrendszer³⁶ egy forgó tekercsből és három csillagkapcsolású álló tekercsből áll. Szögelfordulás mérésére használják, illetve továbbítására és vételére. A nyomaték szinkronrendszer megfelelő nyomatékot állít elő a helyzetmutató mozgatásához, míg a szinkron-szervo rendszer rendelkezik egy erősítővel, amely lehetővé teszi nagyobb terhek pozicionálását is. Mindkét rendszer a szelszin elvét alkalmazza.³⁷ A szelszin gépekkel valamely tengely szögelfordulásának távmérési, két tengely együttes elfordulási, két tengely szögelfordulási összegzési, illetve különbségképzési feladatait láthatjuk el.³⁸

A szöghelyzet jeladó egy elektromágneses eszköz, amelyet már közel 60 éve szögmérésre és pozicionáló rendszerekben használnak. Ez alapvetően egy elektromechanikus forgó transzformátor (18. ábra).



18. ábra: Szöghelyzet jeladó

Forrás: Instrumentation. Nordin AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.18 alapján a szerző szerkesztette

Adó eszközként való alkalmazásuk esetén található bennük elsődleges tekercselés (rotor-tekercs) és másodlagos tekercselés (állórésztekercs). Amikor vevő egységként állítják be, az állórész tekercse válik elsődleges tekercsre és a rotor tekercs a másodlagossá. A mechanikus bemenetet mint tengelyforgást feszültség típusú egyedi jellé alakítja a kimeneten, vagy ha bemenetként adott feszültséget kapcsolunk rá, a forgórészt a kívánt pozícióba forgatja.

³⁶ Ezen rendszerek elnevezése az angol szakirodalomban *remote indicating synchronous data transmission system*, esetleg *synchro system* vagy csak *synchros*.

³⁷ Instrumentation (2010) i. m.

³⁸ Nemes István: *Fedélzeti műszerek és műszerrendszerek I.* Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1979.

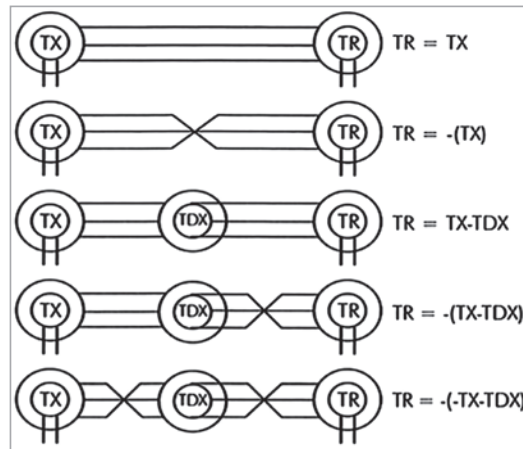
Differenciál szinkron rendszer

Ezt a rendszert egy rosszul beállított hibajel észlelésére és továbbítására tervezték, ahol két bemenetet kell egyetlen kimenetre egyesíteni.³⁹

A differenciál szelszin a szögelfordulások összegének vagy különbségének mérését tudja elvégezni és a szerkezeti felépítése abban különbözik a hagyományos szelszintől, hogy csillagba kötött háromfázisú állórész-tekerccsel és ugyancsak háromfázisú forgórész-tekerccsel rendelkezik. A forgórész-tekerccsel végződése a három csúszógyűrűhöz vannak kivezelve.⁴⁰

A differenciál szinkron rendszer három csillagkapcsolású forgó tekercsből és három csillagkapcsolású álló tekercsből áll, és lehetővé teszi két szögérték összehasonlítását.⁴¹

A 19. ábrán látható a különféle szinkronrendszerek konfigurációja, ami a szabványos jelölésekkel készült. A keresztbekötés a szögértékek inverzének továbbítását eredményezi.



19. ábra: Blokkdiagram

Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.19

Megjegyzés: TR⁴² – nyomatékvevő, TX⁴³ – nyomatékkadó, TDX⁴⁴ – nyomatékkülönbség-adó

A szinkron differenciál adó (TDX) háromfázisú rotorral és állórésszel is rendelkezik. A szinkron differenciál adó egy tengelyszögbemenetet ad hozzá a rotor bemeneteinek elektromos szögbemenetéhez, és az állórész kimenetein adja ki az összeget.⁴⁵

³⁹ Nemes (1979) i. m.

⁴⁰ Nemes (1979) i. m.

⁴¹ Instrumentation (2010) i. m.

⁴² Torque receiver – nyomatékvevő.

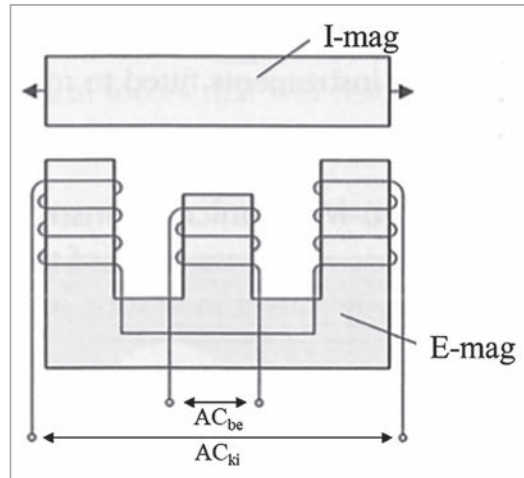
⁴³ Torque transmitter – nyomatékkadó.

⁴⁴ Torque differential transmitter – nyomatékkülönbség-adó.

⁴⁵ Tony R. Kuphaldt: *Electric circuits. Selsyn (synchro) motors*. Chapter 13. AC Motors. Online: www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/selsyn-synchro-motors/

E-I érzékelő (Pick-off)

Az E-I pick-off érzékelőt nagyon kicsi szög- és lineáris elmozdulások mérésére használják, mint amilyen a magasságmérő műszer szelencéjének, nyomásváltozás hatására bekövetkező méretváltozása. Ez az érzékelő két lágyvas magból áll: a fix E-mag és a mozgó I-mag (lásd 20. ábra).



20. ábra: Érzékelő

Forrás: Instrumentation. Nordin AS, Sandefjord, 2010. Fig. 1.20 alapján a szerző szerkesztette

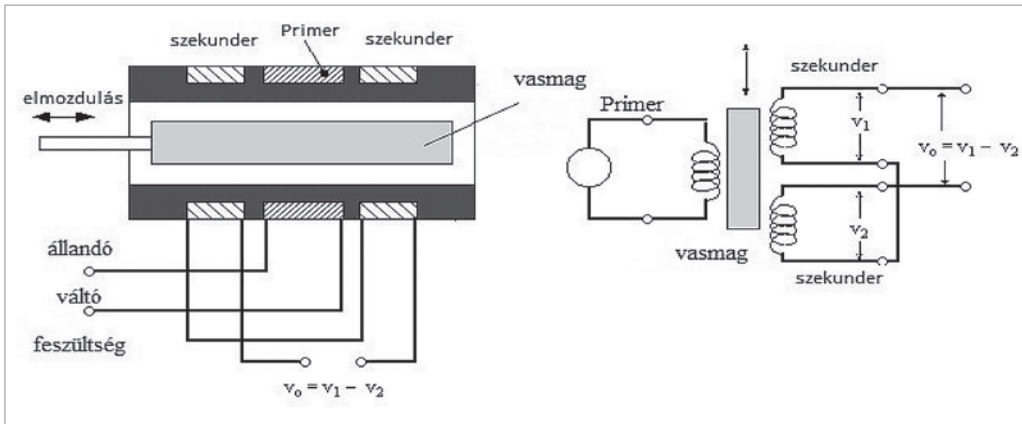
Az E-mag belső tagja köré egy váltakozó feszültséggel táplált tekercs van tekerve. Ez működik elsődleges (primer) tekercsként. A külső tagok köré ellentétes irányban feltekert sorba kötött tekercset tesznek. Ez a két tekercs együtt lesz a másodlagos (szekunder) tekercselés. Az elsődleges tekercsben folyó áram mágneses teret indukál. A változó mágneses tér hatására a másodlagos tekercsekben feszültség indukálódik. Az ellentétes menetirány miatt az indukálódott feszültségek fázisa ellentétes. Ameddig az I-mag pontosan az E-mag tagjai fölött van, a két ellentétes fázisú feszültség nagysága azonos, mivel kioltják egymást. Amikor az I-magot elmozdítjuk az egyik irányba, az indukálódott feszültségek nem lesznek tovább egyenlők, a permeabilitás különbsége miatt. Az eredő feszültségből az I-mag elmozdulásának mértéke, a fázisából pedig az iránya adódik.⁴⁶

A lineáris változó differenciál transzformátor

A lineáris változó differenciál transzformátor (LVDT⁴⁷) egy olyan típusú elektromos transzformátor, amely lineáris elmozdulás mérésére alkalmas. A transzformátor egy vasmag körül három tekercset tartalmaz. A középső tekercs a primer, a két szélső tekercs a szekunder. Az LVDT felépítését az 21. ábra szemlélteti.

⁴⁶ Instrumentation (2010) i. m.

⁴⁷ Linear variable differential transformer – lineáris változó differenciál transzformátor.



21. ábra: A lineáris változó differenciál transzformátor (LVDT) felépítése

Forrás: Bíró Zoltán – Bitay Enikő – Kakucs András – Filep Emőd: *A dilatométer korszerűsítése jelfeldolgozó rendszerrel ellátva*. Fiatal műszakiak tudományos ülészsaka XVII. Kolozsvár, 2012. március 22–23. 44. 1. ábra

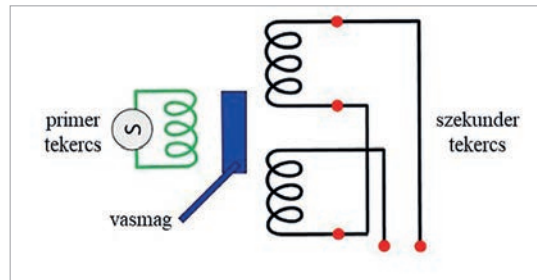
A váltakozó áram vezérli a primer tekercset, amely feszültséget indukál mindkét szekunder tekercsben. Mivel a vasmag mozog, ez a kölcsönös induktivitás változását hozza létre, így a szekunder tekercsben a feszültség változik. A szekunder tekercsek fordítottan vannak kapcsolva, úgy, hogy a kimeneti feszültség egy különbség (ezért „differenciál”), a két szekunder tekercs különbsége. Ha a vasmag központi helyzetben van, egyenlő távolságra a két szekunder tekercstől az indukált feszültség egyenlő, de ellenétes előjelű, így a kimeneti feszültség elméletileg nulla. Amikor a vasmag elmozdul egyik irányba, a feszültség az egyik tekercsben csökken, a másik tekercsben nő, így a kimeneti feszültség növekszik. A kimeneti feszültség nagysága arányos a vasmag elmozdulásának nagyságával, ezért a készülék lineárisnak tekinthető.⁴⁸

Rotációs változó differenciál transzformátor (RVDT⁴⁹): egy olyan elektromos transzformátor, amelyet a szögeltolódás mérésére használnak. A transzformátor rotorral rendelkezik, amelyet külső erővel lehet forgatni. A transzformátor elektromechanikus átalakítóként működik, amely váltakozó áramú (AC-) feszültséget bocsát ki, amely arányos a rotortengelyének szögeltolódásával. Az RVDT-k előnyei a szilárdság, a viszonylag alacsony költség, a kis méret és az alacsony érzékenység a hőmérsékletre, az elsődleges feszültségre és a frekvenciaváltozásokra.⁵⁰

⁴⁸ Bíró Zoltán et al.: *A dilatométer korszerűsítése jelfeldolgozó rendszerrel ellátva*. Fiatal műszakiak tudományos ülészsaka XVII. Kolozsvár, 2012. március 22–23. 43–46.

⁴⁹ Rotary variable differential transformer – rotációs változó differenciál transzformátor.

⁵⁰ Online: https://hu.qaz.wiki/wiki/Rotary_variable_differential_transformer



22. ábra: A rotációs változó differenciál transzformátor

Forrás: https://illustrationprize.com/images/comparisons/difference-between-lvdt-amp-rvdt_4.jpg alapján a szerző szerkesztése

A forgó változó átalakító érzékeli a szögeltolódást. A vasmag a transzformátor primer és szekunder tekercsei között helyezkedik el, a mérni kívánt elmozdulást annak tengelyével kell összekötni.⁵¹

Digitális átvitel

A digitális rendszerek adatbuszokat használnak nagy mennyiségű információ továbbítására. A kompatibilitás érdekében ezeket a közös előírásoknak megfelelően kell megtervezni. A repülőelektronika legnagyobb és legsikeresebb vállalata az amerikai egyesült államokbeli ARINC (Aeronautical Radio Incorporated). A vállalat kínált először olyan gyors és egyben megbízható adatbuszrendszereket, amelyek gyakorlatilag bármelyik repülőgéptípusba integrálhatóak voltak. A mai napig a repülőgépek jelentős hányada ezeket az adatbuszokat használja, mind a polgári, mind a katonai repülőgépeken.⁵²

A B777 elsődleges repülésvezérlő rendszerének (PFCS⁵³) rendszerszintű vázlata a 23. ábrán látható. A rajz bemutatja a három elsődleges repülésvezérlő számítógépet (PFC⁵⁴), négy működtető vezérlő elektronikát (ACE⁵⁵) és három robotpilóta repülésirányító számítógépet (AFDC⁵⁶), amelyek kapcsolódnak a hármas redundáns A629 repülésvezérlő buszokhoz (FCB⁵⁷). Az AFDC-k terminálokkal rendelkeznek mind a repülésvezérlő, mind az A629 adatbusszal. A helyzetjelzőnek az információkat a levegő jel és inerciális referencia egység (ADIRU⁵⁸), valamint a másodlagos helyzetjelző és irányzőg referencia egység (SAHRU⁵⁹) szolgáltatja. A levegő jel adatokat pedig a levegő jel

⁵¹ Különbség az LVDT és az RVDT között. Online: <https://illustrationprize.com/hu/53-difference-between-lvdt-amp-rvdt.html>

⁵² *Aircraft general knowledge 4*. Instrumentation. Jeppesen, Oxford Aviation Services Limited, 2008.

⁵³ Primary flight control system.

⁵⁴ Primary flight control computer.

⁵⁵ Actuator control electronics.

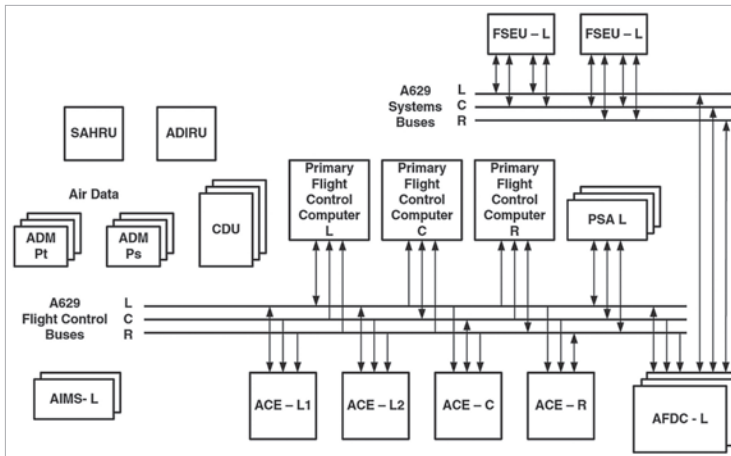
⁵⁶ Autopilot flight director computer.

⁵⁷ Flight control bus.

⁵⁸ Air data and inertial reference unit.

⁵⁹ Secondary attitude and heading reference unit.

modulok (ADM⁶⁰) biztosítják. A három vezérlő és kijelző egység (CDU⁶¹), valamint a bal és a jobb oldali légijárműinformáció-kezelő rendszer (AIMS⁶²) biztosítják a fedélzeti interfészt. A repülésvezérlő buszokon összesen 76 db ARINC 629 csatlakozó található.⁶³



23. ábra: Boeing 777 elsődleges repülésvezérlő rendszere

Forrás: Moir–Seabridge–Jukes (2013) i. m. Fig. 10.17

Megjegyzés: Az ábrán található még eddig fel nem oldott rövidítések: FSEU⁶⁴ – Flap/Slat Electronic Unit; PSA⁶⁵ – Power Supply Assembly; Pt⁶⁶ – Total Pressure; Ps⁶⁷ – Static Pressure

Pitot-statikus rendszer

A repülőgép szelencés műszereinek működési elve nyomásmérésen alapul. A műszerek működéséhez szükséges barometrikus (statikus) nyomást, valamint a mozgás közben fellépő dinamikus nyomást a Pitot⁶⁸–Prandtl⁶⁹-cső⁷⁰ szolgáltatja. A rendszer feladata

⁶⁰ Air data module.

⁶¹ Control and display unit.

⁶² Aircraft information management system.

⁶³ Ian Moir – Allan Seabridge – Malcolm Jukes: *Civil avionics systems*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd., 2013.

⁶⁴ Flap/slat electronic unit – fékszárny/orrsegédszárny elektronikus egység.

⁶⁵ Power supply assembly – villamosenergia-ellátó egység.

⁶⁶ Total pressure – teljes nyomás.

⁶⁷ Static pressure – statikus nyomás.

⁶⁸ Henri Pitot (1695–1771) francia mérnök, aki 1732-ben találta fel a Pitot-csövet. A Pitot-csövet csak az össznyomás méréseire használják (lásd a későbbiekben leírtakat).

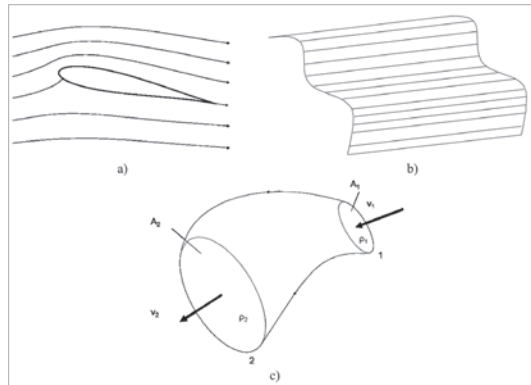
⁶⁹ Ludwig Prandtl (1875–1953) német gépészmérnök és fizikus, aki megalkotta a határréteg-elméletet. A repülőgép repülési sebességének méréseire szolgál a Prandtl-cső. Lényege egy, az áramlással szemben elhelyezett test (szonda), amelynek két furatából külön cső vezet a nyomásmérő műszerhez. Az egyik furat a szonda orrpontján, a másik a paláston, az orrponttól kellő távolságra található (lásd később a 30. ábrát). Pokorádi László: *Áramlástan*. Elektronikus jegyzet. Debrecen, 2002.

⁷⁰ A köznap nyelvben – helytelenül – ez a berendezés Pitot-cső néven ismert. Sokszor keverik a használatát, mivel az angol irodalom is csak *Pitot tube* néven említi, pedig helyesen *Pitot-static tube* vagy

a különböző nyomások bevezetése a barometrikus műszerekbe: a sebességmérőbe, a magasságmérőbe és a variométerbe.

Repüléselméleti alapok

Az áramló közeg törvényszerűségeivel és az áramlásba helyezett testekre ható erőkkel foglalkozó tudományt aerodinamikának nevezzük. A megfordíthatóság elvét felhasználva – azaz mindegy, hogy a test áll és a közeg mozog (szélcsatorna); vagy a közeg áll és a test mozog (repülőgép repülése) – vizsgáljuk meg a repülőgépek áramlási viszonyait. Az áramlás, az áramlási tér sebességviszonyainak megjelenítésére, leírására az áramvonalak⁷¹ összességéből álló áramképet, az áramfelületet⁷² és az áramcsövet⁷³ (24. ábra) használhatjuk.⁷⁴



24. ábra: Az áramlás megjelenítése, leírása a) áramkép; b) áramfelület; c) áramcső segítségével

Forrás: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-11-0354_Bekesi_Laszlo.pdf

Az áramlástan alaptörvényei

Az áramlástan tárgyaként a folyadékok és gázok egyensúlyát és mozgását vizsgáljuk. Az áramló közegek viselkedésének megismeréséhez szükségünk van olyan változókra, amelyekkel jellemezni tudjuk az áramlásokat. A levegő mint közeg jellegzetes mozgás-

Prandtl tube lenne. Így valójában, ha statikus nyílással is rendelkezik a mérőeszköz, akkor teljes-statikus cső (*Pitot-static tube*) kifejezés használata a helyes.

⁷¹ Áramvonal: a sebességvektorok burkológörbéje egy adott időpillanatban.

⁷² Áramfelület: tetszőleges térgörbéből kiinduló áramvonalak összessége.

⁷³ Áramcső: zárt görbére (ami nem áramvonal) illeszkedő áramvonalak összessége. Ennek palástján nem lép ki vagy be anyag, mert nincs ilyen irányú sebességkomponens.

⁷⁴ Békési László: A pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos alapismeretek. *Repülésstudományi Közlemények*, 28. (2016), 3. 159–176.

formája az áramlás. Az áramlás intuitív mechanikai fogalom, amely a teret hézagok nélkül kitöltő közeg folytonos deformációinak végtelen sora.⁷⁵

Az áramlástan három alaptörvénye:

1. folytonosság (continuitás) egyenlet;
2. Bernoulli-tétel;
3. impulzus tétel.

A teljes-statisztikus rendszer működésének megértése szempontjából a továbbiakban csak a Bernoulli-tételt ismertetem.

Bernoulli-tétel

A mechanikai energiamegmaradás törvényét fejezi ki áramló sűrűdésmentes közegre. A levegő helyzeti energiáját a statikus, míg mozgási energiáját a dinamikus nyomás jellemzi. A mozgási energia a nyomás és a sebesség függvénye.

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{állandó} = P_{\text{össz.}}$$

ahol: P – statikus nyomás;
 $P_{\text{össz}}$ – teljes nyomás (össznyomás);
 ρ – a levegő sűrűsége kg/m^3 ;
 v – az áramlás sebessége m/s .

Ez az egyenlet ebben a formában akkor érvényes, ha a közeg összenyomhatatlan, ami azt jelenti, hogy a sűrűség ρ , állandó. Ez a feltételezés nagyobb sebességeken nem állja meg a helyét. Az $\frac{1}{2}\rho v^2$ kifejezés reprezentálja a mozgási energiát, amelynek mértékegysége nyomás típusú. Ezt dinamikus nyomásnak nevezik, és általában a jelölése: q

$$q = \frac{1}{2}\rho v^2 \text{ [Pa]}$$

Mivel a sűrűséget konstansnak feltételezzük, a statikus nyomás és az áramlás sebessége között az alábbi összefüggés van: nagy sebességnél kicsi a nyomás, alacsony sebességnél nagy a nyomás.

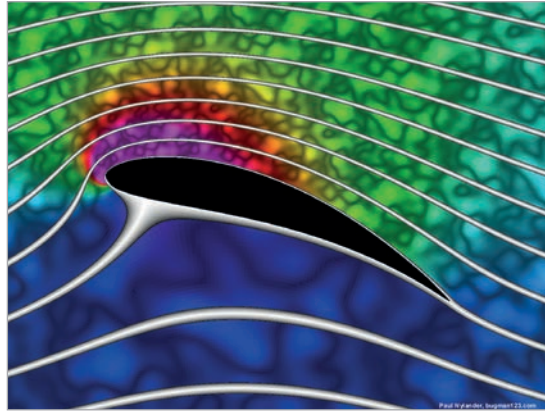
Egy olyan légrészben, ahol a repülőgép nem zavarja meg az áramlást, ott a helyi nyomás megegyezik a statikus nyomással. Tehát a statikus nyomás a zavartalan áramlás nyomása.

Ha a repülőgép mozog a közegben, az áramlás sebessége meg fog egyezni a repülőgép sebességével, de ellentétes irányú lesz.

⁷⁵ Békési (2016) i. m.

Ha jobban megvizsgáljuk ezt a helyzetet, láthatjuk, hogy az áramlás iránya, sebessége és nyomása a gép körül minden ponton más. Ezen pontok mindegyikén érvényes a Bernoulli-törvény, és az áramlás sebessége kiszámítható, ha tudjuk a nyomást, és fordítva.⁷⁶

Ha rajzolunk egy szárnyprofil a körülötte lévő áramlási képpel (25. ábra), akkor az áramlást áramvonalak reprezentálják. Van egy áramvonal, amely a szárnyprofilon fejeződik be, a pontot, ahol befejeződik, torlópontnak nevezzük. Ezen a ponton az áramlás sebessége zérus és a nyomás a lehető legnagyobb, ami a repülőgép körül lehetséges ezen az adott repülési sebességen. Ezt a nyomást torlóponthi nyomásnak nevezzük.



25. ábra: Áramlási kép

Forrás: www.bugman123.com/FluidMotion/Joukowski-large.jpg

Tehát azt mondhatjuk, hogy a torlóponthi nyomás az áramló közeg nyomása, amikor a közeget álló helyzetre fékezték.

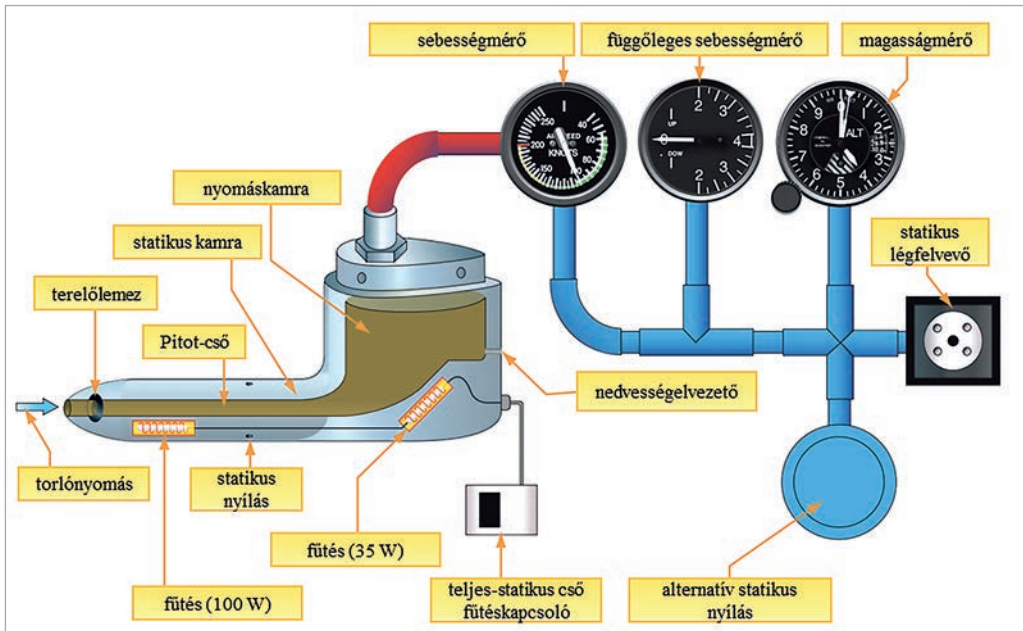
A Bernoulli-törvényéből következik, hogy az egyenletben lévő állandó megegyezik az össznyomással. Nemcsak a torlópontban, hanem az áramlás bármely pontjában és az áramlásban elérhető legnagyobb nyomást jelenti. A teljesnyomás, azaz a statikus és dinamikus nyomás összege az áramlás bármely pontjában egyenlő:

$$P_T = P_s + q$$

ahol: P_T – teljes nyomás (össznyomás);
 P_s – statikus nyomás.

Mind az össznyomás és a statikus nyomás mérhető és átvihető műszerekre, amelyek képesek ezután sebességgé, magassággá vagy függőleges sebességgé alakítani ezt. Ilyen rendszer a Pitot-statikus rendszer (26. ábra), a manometrikus rendszer vagy az air data rendszer.

⁷⁶ Instrumentation (2010) i. m.; Nemes (1979) i. m.; Békési (2016) i. m.; Pallett (1992) i. m.



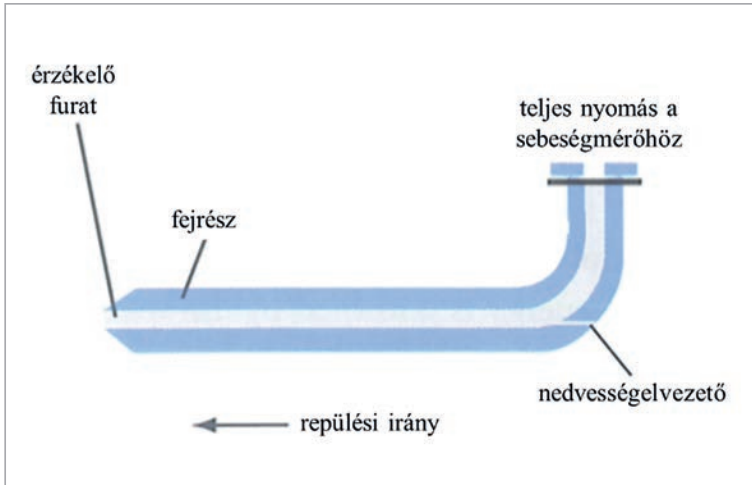
26. ábra: A Pitot-statisztikus rendszer és -műszerek

Forrás: https://miro.medium.com/max/700/0*nmRFu8brSR-V_oaA alapján a szerző szerkesztése

Össznyomás mérése

Az össznyomást Pitot-csővel mérik (lásd 27. ábra). A Pitot-cső minden esetben a levegő áramlásával párhuzamosan kerül elhelyezésre (a nyitott vége az áramlás irányába néz), olyan helyen, ahol az áramlás semmiképpen nem turbulens. Kisrepülőgépeknél a legtöbb esetben a szárnyon (a belépő élen vagy szárny alsó felületén) kap helyet, de találkozhatunk a törzs valamely pontján kiépített Pitot-csővel is. Annak érdekében, hogy biztosítani lehessen, hogy a Pitot-csőnél az áramlás zavartalan és lamináris, a szubsónikus repülőgépeken a törzsön az orr-rész közelében, a szárny alatt helyezik el. Szupersónikus repülőgépek esetén egy hosszú csőben helyezik el az orr-rész elején.⁷⁷

⁷⁷ Instrumentation (2010) i. m.; Instrumentation JAA ATPL Training. Jeppesen Sanderson Inc., 2004. Online: <http://clubaereoquillota.cl/wp-content/uploads/2015/07/instruments.pdf>; Instrumentation ATPL CAE Oxford (2014) i. m.; Aircraft general knowledge 4. Instrumentation (2008) i. m.; Fábrián András: PPL kézikönyv. Repülőgép-vezetés elmélete. Budapest, magánkiadás, 2010. 117–126.



27. ábra: Pitot-cső

Forrás: Instrumentation. Nordin AS, Sandefjord, 2010. Fig. 2.2 alapján a szerző szerkesztése

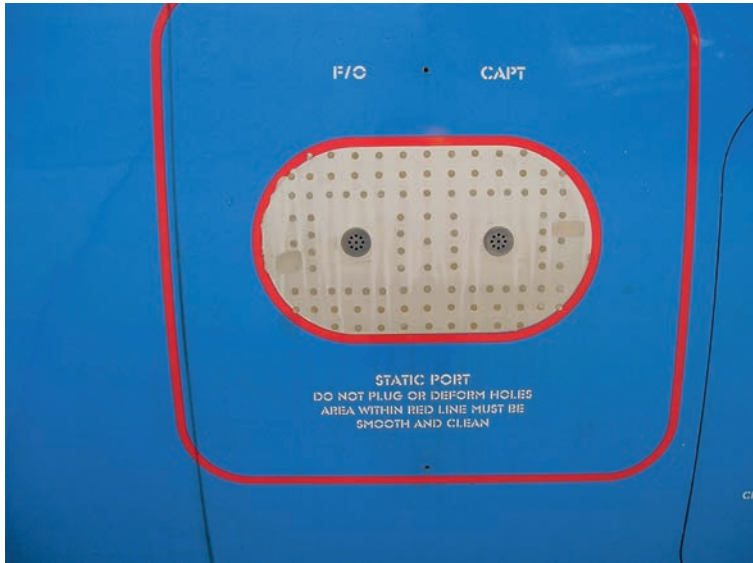
A Pitot-cső két részre tagolódik: egy csonkra és egy fejrészre. Jegesedési viszonyok esetén a jég lerakódása jelentősen ronthatja működését, de akár el is zárhatja, ezért a korszerű repülőgépeken a Pitot-cső mind a két része elektromosan fűthető. A csonk biztosítja, hogy a mérő csővezeték, amely a fejrészben található, a határrétegen kívül helyezkedjen el. A csővezeték úgy van kialakítva, hogy széles állásszögtartományban tudjon mérni. Az eszköz az össznyomást méri és vezeti el a műszerekhez. A Pitot-csőbe jutó nedvesség elvezetését egy erre kialakított nyílás biztosítja. Az apró elvezető cső a víz műszerbe való bejutását hivatott megakadályozni. Egyes repülőgépeken a rendszerbe jutott víz gyűjtésére és eltávolítására külön (általában a műszerfal mögött) beépített ülepítő rendszer található.

A fűtés bekapcsolása nem befolyásolja a mért nyomás értékét. Ha a levegő zárt térben van, és azt melegítjük, akkor a nyomás növekedni fog. A Pitot-cső nem zárt, így a fűtés általi nyomásnövekedés ki tud egyenlítődni. Érvelhetnek azzal, hogy a melegebb levegő nyomása nagyobb kell hogy legyen, és sűrűsége pedig kisebb, mint a hidegebbé, de jelen esetben a levegő szenzor előtti sűrűsége okozza a nyomásváltozást, azt pedig a fűtés nem befolyásolja.⁷⁸

Statikus nyomás mérése

A Pitot-statikus rendszer működéséhez a statikus nyomás mérésére is szükség van, amely a statikus légfelvevőn (más néven: statikus porton, nyíláson) keresztül történik (lásd 28. ábra).

⁷⁸ Instrumentation (2010) i. m.; Fábíán (2010) i. m.



28. ábra: Statikus portok

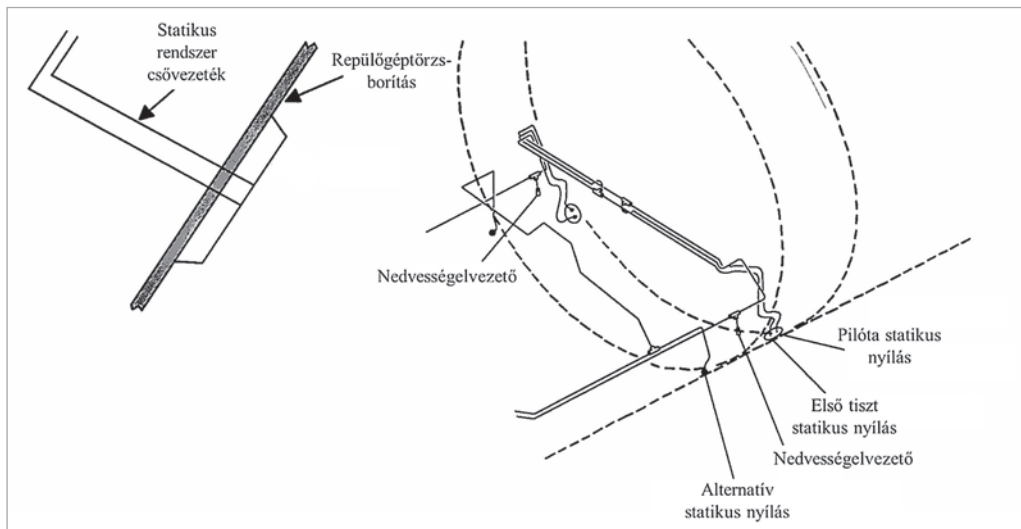
Forrás: <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-d41d22700fde5c4d5231c510cadd1c76-c>

Kisebber repülőgépeken általában csak egy, de egyébként akár több statikus port is kiépítésre kerülhet a törzsen, szintén olyan helyen, ahol az áramlás lehetőleg zavartalan és az áramlás irányára merőleges helyzetben. A statikus nyílás(ok) akkor van(ak) optimálisan elhelyezve, ha minden repülési helyzetben és minden sebességen biztosítja(ják) a pontos statikus nyomás mérését. Ez sajnos rendszerint nem lehetséges (több más hiba-lehetőség mellett), ennek köszönhető a barometrikus műszerek pontatlansága.⁷⁹

A géptörzs legelőnyösebb részein van elhelyezve, ahol az áramlás a leginkább zavartalan. FL290 és FL410 között, ahol csökkentett vertikális elkülönítési minimum (Reduced Vertical Separation Minima – RVSM) van, különleges követelmények vannak ezzel szemben. Az egyik ilyen követelmény a portok körüli felületek felületi érdességére vonatkozik. A 28. ábrán látható, hogy ezeket a négyszög alakú területeket pirossal megjelölik, és általában nem is festik le őket. Egy elektromos fűtő egység akadályozza meg a jegesedést. A repülőgépeken általában két összekapcsolt statikus port található a törzs két oldalán, ami lehetővé teszi a repülőgép csúszása által okozott nyomáskülönbség kiegyenlítését (29. ábra). A tervezők a prototípus fejlesztése alatt pontosan meghatározzák ezeknek a portoknak a helyét.⁸⁰

⁷⁹ Fábrián (2010) i. m.; Békési Bertold: Attitude instrument flying in helicopters. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 2. 209–216.

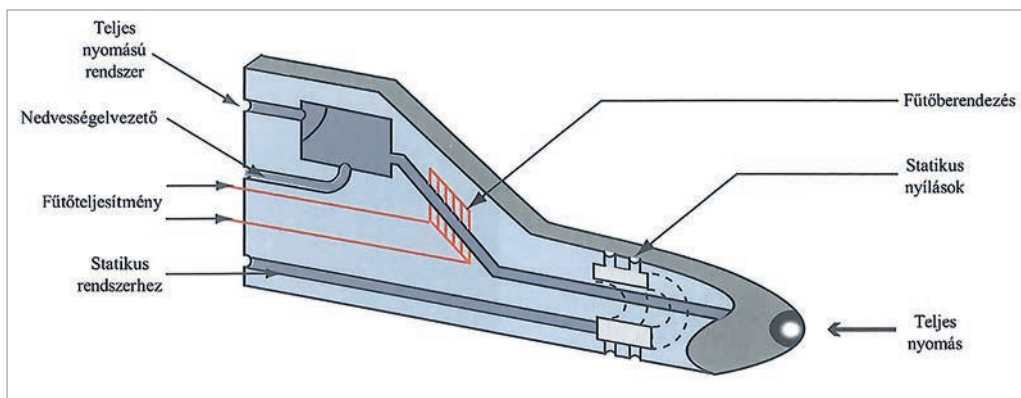
⁸⁰ Instrumentation (2010) i. m.; *Aircraft pressure measuring instruments*. Online: www.aircraftsystems-tech.com/2017/06/pressure-measuring-instruments.html



29. ábra: Összekapcsolt statikus portok

Forrás: <http://clubaereoquillota.cl/wp-content/uploads/2015/07/instruments.pdf> alapján a szerző szerkesztése

Minél több statikus nyílás kerül kiépítésre, annál nagyobb a lehetősége a pontos mérésnek. Azt a csövet, amelyen egyben megtalálható a statikus légfelvevő is Pitot-statikus csőnek nevezzük (30. ábra).



30. ábra: Pitot-statikus cső

Forrás: Instrumentation. Nordian AS, Sandefjord, 2010. Fig. 2.4 alapján a szerző szerkesztése

A fő statikus port(ok) mellett számos repülőgépen helyet kap egy, a kabinban található alternatív statikus nyílás is (31. ábra), amely a külső légfelvevő(k) meghibásodása (eldugulása) esetén biztosítja a statikus nyomást a rendszerben. A repülőgép-vezető a kabinban található csappal hozhatja működésbe. Repülés közben a kabinnyomás a külső stati-

kus nyomásnál valamivel alacsonyabb, ezért ha a rendszer az alternatív statikus porton keresztül kapja a statikus nyomást, kisebb pontosságra számíthatunk.⁸¹



31. ábra: Alternatív statikus nyílás

Forrás: www.aopa.org/-/media/Images/Legacy/AOPA/Pilot/1509p/1509p_tecnam_004.jpg?mw=1200&mh=675&as=1&hash=5D656369AF449709BEFCB8138C5C61EB

A műszerekhez tartozó csővezetékek, csatlakozók és elágazások

A teljes-statikus-cső/statikus portok és a megfelelő műszer közötti kapcsolatot rozsdamentes fém csövekkel vagy hajlékony csővezetékekkel oldják meg. A vezetékek legalacsonyabb pontjára vízleeresztő van beszerelve. Ezeket időnként meg kell nyitni, hogy a kondenzációból származó folyadék eltávozzon a vezetékekből. Csekély mennyiségű víz a rendszerben nem akadályozza a nyomás mérését. Az elektromos fűtőegység a repülőgép energiaellátó rendszerére van csatlakoztatva, annak érdekében, hogy megakadályozza a csövek eljégesedését, ami meggátolná a légáramlást.

Amikor nyomásváltozás történik a statikus portnál vagy a teljes-statikus csőnél, a változást ki kell jelezni a rendszer másik oldalán, a műszernél. Mivel a műszernél a nyomás nem fog azonnal változni, így késés lesz a rendszerben. Hogyha a statikus rendszer késése jócskán eltér a teljes rendszer késésétől, azon műszerek, amelyek egyszerre mindkét adatot használják, mint a sebességmérő, különös dolgokat produkálhatnak, amikor a statikus nyomás változik. Mivel a statikusnyomás-változást mindkét rendszer méri (össznyomás és statikus nyomás), a sebességmérő indokolatlan mozgásba kezdhet a különböző késések miatt. Némelyik nagy repülőgépen a késést úgy küszöbölik ki, hogy a pneumatikus jelet elektronikussá alakítják az érzékelő közelében, és ezt az elektronikus jelet továbbítják a műszerekhez.

A repülőgép földi tárolása során a Pitot-csövet egy arra alkalmas sapkával (takaróval) védeni kell a szennyeződésektől (por, nedvesség, rovarok stb.). A Pitot-takaró általában jól látható piros vagy sárga jelzéssel van ellátva, emlékeztetve a repülőgép-vezetőt arra, hogy repülés előtt eltávolítsa azt. A repülés előtti ellenőrzések során meg kell győződnünk arról, hogy a Pitot-cső sérülésmentes-e, valamint hogy a cső nyílása és a statikus nyílás(ok)

⁸¹ Instrumentation (2010) i. m.

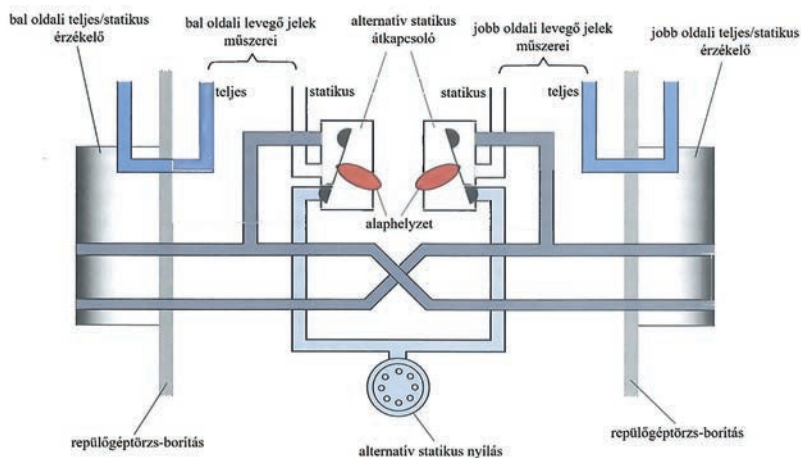
nincsenek-e eldugulva. Mindezt csak szemrevételezéssel tegyük, a Pitot-csőbe befűjteni tilos, mert a rendszerben található műszerek nagyon érzékenyek és meghibásodhatnak.⁸²

A Pitot-statikus rendszer felépítése

A kis repülőgépeken többnyire egy Pitot-statikus rendszer található, míg közepes és nagy gépeken legalább kettő van.

Kis repülőgépek Pitot-statikus rendszere

Általában egy fűtött Pitot-cső és kettő összekapcsolt, nem fűtött statikus port található (lásd 32. ábra). Egy útválasztó szelep lehetővé teszi egy pót statikus port használatát, amelyet nem túlnyomásos kabin esetén a kabinban szoktak elhelyezni. Repülés közben a kabinban lévő nyomás kissé alacsonyabb, mint a statikus nyomás, a Venturi-hatás miatt. Ha a pót statikus port kerül kiválasztásra, az összes statikus nyomást használó műszer kijelzése megváltozik. Ha a kabinnyomást alkalmazzuk statikus nyomásként, akkor a műszerekhez küldött nyomás alacsonyabb lesz, a magasságmérő többet fog mutatni, a sebességmérő többet fog mutatni, és a variométer pillanatnyi emelkedést fog mutatni. Ilyen esetben alkalmazandó korrekciós értékeket az üzemeltetési utasításban találunk. Hermetizált kabinú repülőképeknél a pót statikus nyílás az eredeti közelében helyezkedik el.⁸³



32. ábra: Kis repülőgép rendszere

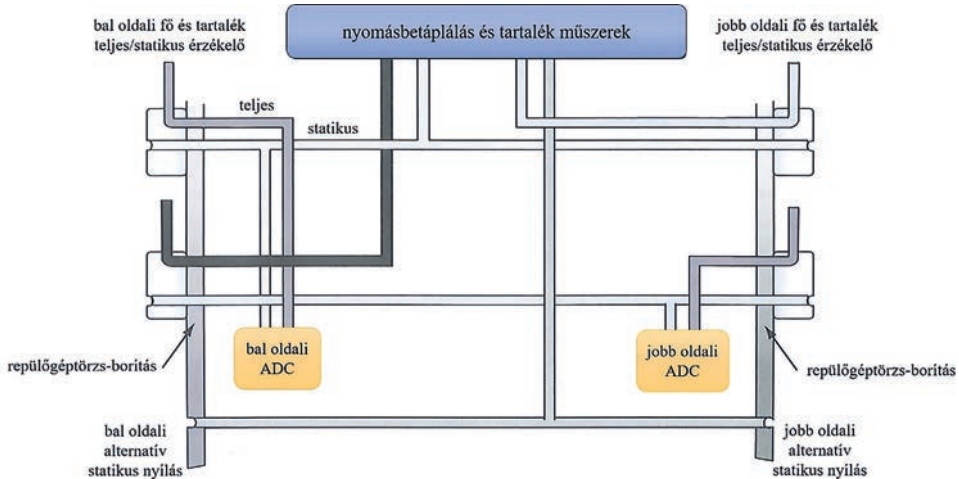
Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 2.5 alapján a szerző szerkesztése

⁸² Instrumentation (2010) i. m.

⁸³ Instrumentation (2010) i. m.

Nagy repülőgépek Pitot-statikus rendszere

A nagy utasszállító repülőgépek Pitot-statikus rendszerére példa a 33. ábrán látható. Ez a rendszer négy Pitot-statikus és egy pót statikus rendszerből áll.



33. ábra: Utasszállító repülőgép alternatív statikus porttal ellátott rendszere

Forrás: Instrumentation. Nordan AS, Sandefjord, 2010. Fig. 2.6 alapján a szerző szerkesztése

Rendszerhibák és megoldásaik

Minden műszernek négy alapvető hibája lehet:

- beépítési;
- manőverezési;
- eltömődési és szivárgási;
- műszer (mechanikai).

Beépítési (helyzeti) hiba

Ez a statikus port elhelyezéséből ered. Pontos értéket csak egyetlen repülési helyzetben biztosít. A hiba mértéke változik a Mach-szám, a sebesség (ASI^{84}), az állásszög (α), a gép konfigurációja (fékszárny, futók) és a talajhatás változásával. Az alkalmazandó korrekciót a repülőgép üzemeltetési utasításában tüntetik fel, vagy a levegő jelek számítógysége (ADC^{85}) által vannak kompenzálva.⁸⁶

⁸⁴ Airspeed indicator.

⁸⁵ Air data computer.

⁸⁶ Instrumentation (2010) i. m.

Manőverezési hiba

Hiba léphet fel manőverezés, mint magasságváltoztatás, csúszás, nem koordinált fordulózás közben, amit a statikus portban fellépő dinamikus változás okoz. A megzavart áramlás véletlenszerű kijelzéseket eredményez a műszereken, ami így megbízhatatlanná teszi azokat. Ezt a problémát, részben, a törzs mindkét oldalára helyezett statikus portok alkalmazásával lehet kiküszöbölni.⁸⁷

Eltömődés és szivárgás

A statikus nyílások és a teljes-statikus csövek eltömődhetnek, vagy szivároghatnak. A víz bejutásának káros hatását a leeresztő csap használatával lehet orvosolni, de a nagyon intenzív csapadékkal ez sem tud megbirkózni, mert ahhoz, hogy a víz távozzon a rendszerből, a leeresztőt meg kell nyitni. Kis mennyiségű víz nem okoz problémát a nyomás mérésben, de ha megfagy, gátolhatja az áramlást, és akár a csővezetékek repedését is előidézhetheti.

A vezetékekbe jutó homok, vulkáni hamu, rovarok stb. úgyszintén a rendszer eltömődéséhez vezethet, illetve a takarításnál használt takarók vagy fedők is okozhatnak problémát, ha elfelejtik eltávolítani azokat.

Az eltömődéstől a rendszerben lévő levegő beszorul, és a nyomása nem változik. Lassú nyomásváltozás bekövetkezhet szivárgás vagy a hőmérséklet változása miatt.

Apró rés a csővezeték hálózatban nem okoz változást a műszer kijelzésében, mert az ott kiszivárgó kis mennyiségű levegő pótlódik a jóval nagyobb mérőnyíláson. A szivárgásvizsgálat a karbantartás rutinfeladata.

A nagyobb rések (vagy kis rés, ha a levegő beszorult) hatása a nyomáskülönbségtől függ. Ha a szivárgás egy túlnyomásos kabinban található, a nyomáskülönbség negatív. Ez azt jelenti, hogy a csővezetékben alacsonyabb a nyomás, mint körülötte. Az össznyomás nagy magasságon, utazósebességgel haladva alacsonyabb, mint a kabinnyomás, amikor a kabinmagasság 8000 lábnak (~2440 m) felel meg.⁸⁸

Műszerhiba

Ez nem kifejezetten a Pitot-statikus rendszer hibája, hanem minden nyomásmérő műszeré. Ez a hiba a gyártási tűrések és tervezési gyengeségek miatt alakul ki. A műszerhibát a műszer kalibrálásával a legtöbbször meg lehet szüntetni.

⁸⁷ Instrumentation (2010) i. m.

⁸⁸ Instrumentation (2010) i. m.; Instrumentation. JAA ATPL (2004) i. m.

Összefoglalás

A repülés fejlődésével a rendszerek rohamosan fejlődtek funkcióikban és komplexitásukban is. Közülük is kiemelkednek az avionikai rendszerek, amelyek az alapvetően elektronikai elven működő rendszerek. Általában a repülési műszereket, kijelzőket, illetve a különböző vezérléseket, szabályzásokat megvalósító eszközöket értjük rajta.

A tanulmányban a Repülési ismeretek II., Repülőgépek műszerei és elektromos berendezései, valamint a Katonai légi járművek fedélzeti műszerrendszerei című tantárgyakon belül a műszerfalakkal, azok kialakulásával foglalkoztam, és a teljes-statisztikus nyomásrendszert érintettem. Később megjelenő tudományos cikkekben tovább folytatom a többi nagyon fontos tananyagrészt bemutatását (sebességmérő, magasságmérő, függőleges sebességmérő, Mach-mérő, giroszkóp, pörgettyűs irányjelző, műhorizont, elfordulás- és csúszásjelző, inerciális navigációs rendszer, vezérlő és kijelző egység, rádió magasságmérő, elektronikus repülési műszerrendszer, repülést vezérlő rendszer, repülésirányítás-rendszer, automatikus repülésvezérlő rendszer, repülésfigyelmeztető rendszer, hajtómű- és fedélzeti rendszerek adatkijelzését integráló és személyzetfigyelmeztető rendszer, központi elektronikus légijármű-felügyeleti rendszer stb.). Az előzőekben felsoroltakból is jól látszik, hogy milyen sokféle azon tantárgyak tananyagrésze, amellyel a BSc (légijármű-vezető, repülőműszaki) képzésben részt vevő hallgatóknak meg kell ismerkedniük az egyes szakmai tantárgyak kapcsán.

A felhasznált szakirodalmi művek tanulmányozásakor, felhasználásakor figyelembe vettem azt is, hogy a légijármű-vezetők egy esetleges ATPL⁸⁹ elméleti vizsga sikeres teljesítéséhez melyek azok a könyvek, kiadványok, amelyek ezen követelményeket lefedik, valamint szükségesek a tantárgy megértése és teljesítése szempontjából.

A repülés területén gyakran előfordulnak rövidítések, így a tananyagokban is. Annak érdekében, hogy ezeket a hallgatók hatékonyabban alkalmazhassák, az avionika szakterülethez tartozókat összegyűjtöttem és betűrendbe szedtem. A rövidítések jelentését nem oldottam fel, mivel a légi közlekedésben, a repülőműszaki szakterületen dolgozók általában a műszerek és berendezések angol elnevezéseit használják.

Felhasznált irodalom

- A folyadékkristályok. Online: www.kislexikon.hu/folyadekkristalyos_kijelzo.html#ixzz6d7tiPluN
Aircraft general knowledge 4. Instrumentation. 4th Edition. Jeppesen, Oxford Aviation Services Limited, 2008. Online: <https://kupdf.net/downloadFile/58f098e3dc0d605c43da983a>
Aircraft pressure measuring instruments. Online: www.aircraftsystemstech.com/2017/06/pressure-measuring-instruments.html
 Az EASA CS 25.773 és az FAA FAR 25.773 rendeletek. Certification specifications for large aeroplanes CS-25. European Aviation Safety Agency. 5 September 2008. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/agency-measures-docs-certification-specifications-CS-25-CS-25-Amdt-5.pdf

⁸⁹ Airline transport pilot licence – közforgalmi pilóta szakszolgálati engedély.

- Az LCD (folyadékkristályos kijelző). Online: https://forgos.uni-eszterhazy.hu/wp-content/tananyagok/tamop/mediumismeret_I/26_10/313_az_lcd_folyadkkristlyos_kijelz.html
- Békési Bertold: Attitude instrument flying in helicopters. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 2. 209–216. Online: http://epa.oszk.hu/02600/02694/00052/pdf/EPA02694_rtk_2010_2_Bekesi_Bertold_1.pdf
- Békési László: A pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos alapismeretek. *Repüléstudományi Közlemények*, 28. (2016), 3. 159–176. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-11-0354_Bekesi_Laszlo.pdf
- Beneda Károly – Gáti Balázs – Hátori György – Óvári Gyula – Rácz János: *Repülőgépek rendszerei és avionika*. Egyetemi tananyag. Budapest, Typotex, 2012.
- Bíró Zoltán – Bitay Enikő – Kakucs András – Filep Emőd: *A dilatométer korszerűsítése jel-feldolgozó rendszerrel ellátva*. Fialat műszakiak tudományos ülésszaka XVII. Kolozsvár, 2012. március 22–23. 43–46. Online: https://eda.eme.ro/bitstream/handle/10598/15480/17_FMTU2012_BIRO_Zoltan_BITAY_Eniko_KAKUCS_Andras_FILEP_Emod_43-46oldv.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Fábián András: *PPL kézikönyv. Repülőgép-vezetés elmélete*. Budapest, magánkiadás, 2010. 117–126.
- Fekete Róbert Tamás – Antal Ákos – Tamás Péter – Décsei-Paróczi Annamária: *3D megjelenítési technikák*. 5. fejezet Klasszikus és Modern megjelenítési technikák. BME MOGI, 2014. Online: http://moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha_tananyag/3D_megjelenitesi_techNIKAK/ch05.html#ch-V.4
- Instrumentation ATPL Ground Training Series*. CAE Oxford Aviation Academy (UK), 2014. Online: https://vk.com/doc295496974_438639456?hash=7ed6dbd121b9cb92dc
- Instrumentation JAA ATPL Training. Jeppesen Sanderson Inc., 2004. Online: <http://clubaereoquillota.cl/wp-content/uploads/2015/07/instruments.pdf>
- Instrumentation*. Nordian AS, Sandefjord. 6th Edition. 2010. Online: www.nordian.net/REPOSITORY/104_easa_instrumentation_demo.pdf
- Kuphaldt, Tony R.: *Electric circuits. Selsyn (synchro) motors*. Chapter 13 – AC Motors. Online: www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/selsyn-synchro-motors/
- Különbség az LVDT és az RVDT között. Online: <https://illustrationprize.com/hu/53-difference-between-lvdt-amp-rvdt.html>
- Marquet, Gilles – Vincent Sibelle – Maurice Garnier: *Are you properly seated?* Airbus S.A.S., January 2018. Online: <https://safetyfirst.airbus.com/are-you-properly-seated/>
- Moir, Ian – Allan Seabridge – Malcolm Jukes: *Civil avionics systems*. 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd., 2013.
- Nemes István: *Fedélzeti műszerek és műszerrendszerek I*. Budapest, Műszaki, 1979.
- Pallett, E. H. J.: *Aircraft instruments & integrated systems*. Prentice Hall, Pearson, 1992.
- Pokorádi László: *Áramlástan*. Elektronikus jegyzet. Debrecen, 2002. Online: <http://uni-obuda.hu/users/pokoradi.laszlo/aramlastan.pdf>
- Rotációs változó differenciál transzformátor – Rotary variable differential transformer. Online: https://hu.qaz.wiki/wiki/Rotary_variable_differential_transformer

Rövidítések⁹⁰**A**

a/c	Aircraft
A/D	Analog to Digital
A/S	Air Speed
ABAS	Aircraft-Based Augmentation System
ABS	Automatic Braking System
ABV	Above
AC	Alternating Current
ACARS	ARINC Communications and Reporting System
ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ACC	Area Control Centre
ACE	Actuator Control Electronics
ACMS	Aircraft Condition Monitoring System
ACP	Audio Control Panel
ACS	Audio Control System
ADAHRS	Air Data and Attitude Heading Reference System
ADC	Air Data Computer
ADC	Analogue to Digital Conversion/Converter
ADF	Automatic Direction Finding
ADI	Aircraft Direction Indicator
ADI	Attitude Director Indicator
ADIRS	Air Data & Inertial Reference System
ADIRU	Air Data and Inertial Reference Unit (B777)
ADM	Air Data Module
ADS	Air Data System
ADS	Automatic Dependent Surveillance
ADS-A	Automatic Dependent Surveillance-Address
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
AFCS	Automatic Flight Control System
AFD	Autopilot Flight Director
AFDC	Autopilot Flight Director Computer
AFDS	Autopilot Flight Director System
AFDX	Aviation Full Duplex
AFIS	Airborne Flight Information System
AFIS	Automatic Flight Information Service
AFM	Aircraft Flight Manual
AFS	Automatic Flight System
AGACS	Automatic Ground-Air Communications System
AGC	Automatic Gain Control

⁹⁰ Moir (2013) i. m.; Instrumentation (2010) i. m.; Pallett (1992) i. m.; saját jegyzetek.

AGDL	Air-Ground Data Link
AGL	Above Ground Level
AGS	Automatic Gain Stabilization
AH	Artificial Horizon
AHC	Attitude Heading Control
AHRS	Attitude and Heading Reference System
AI	Attitude Indicator
AIDS	Aircraft Integrated Data System
AIMS	Aircraft Information Management System (B777)
ALC	Automatic Level Control
ALS	Automatic Landing System
ALT Hold	Altitude Hold Mode
ALT	Altimeter
ALT	Altitude (Barometric)
ALTS	Altitude Select
ALU	Arithmetic Logic Unit
AM	Amplitude Modulation
AMLCD	Active Matrix Liquid Crystal Display
AMS	Air Management System
AMSL	Above Mean Sea Level
ANC	Active Noise Cancellation
ANN	Annunciator (caution warning system normally containing visual and audio alerts to the pilot)
ANR	Active Noise Reduction
ANT	Antenna
AoA	Angle of Attack
AOC	Aeronautical Operational Control
AOM	Aircraft Operating Manual
AOP	Airport Operating Plan
AP	Automatic Pilot
APC	Auto Pilot Computer
APFDS	Auto Pilot and Flight Director System
APM	Aircraft Personality Module
APMS	Automatic Performance and Management System
APP	Approach
APS	Auto Pilot System
APU	Auxiliary Power Unit
AR	Authorisation Required
AR	Authority Requirements
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated
ASA	Autoland Status Annunciator
ASCB	Avionics Standard Communications Bus (Honeywell)
ASCI	American Standard Code for Information Interchange

ASD	Aircraft Situation Display
ASDL	Aeronautical Satellite Data Link
ASI	Airspeed Indicator
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
ASPCU	Air Supply and Pressure Control Unit
ASR	Airport Surveillance Radar
ASU	Avionics Switching Unit
AT	Auto-throttle
AT/SC	Auto Throttle/Speed Control
ATA	Air Transport Association
ATC	Air Traffic Control
ATCRBS	Air Traffic Control Radar Beacon System
ATCT	Air Traffic Control Tower
ATCSS	Air traffic Control Signalling System
ATE	Automatic Test Equipment
ATI	Air Transport Indicator
ATIS	Automated Terminal Information Service
ATM	Air Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunications Network
ATPL	Airline Transport Pilot Licence
ATR	Air Transport Radio
ATS	Air Traffic Services
ATS	Auto Throttle System
ATSU	Air Traffic Storage/Service Unit – Airbus unit to support FANS
AUT	Automatic
AUX	Auxiliary
AWACS	Airborne Warning and Control System

B

BAR	Barometric indication, setting or pressure
BAT	Battery
BC	Bus Controller
BCD	Binary Coded Decimal
BDI	Bearing Distance Indicator
BGAN	Broadcast Global Area Network
BIT	Built-in-test
BITE	Built in Test Equipment
BLC	Battery Line Contactors
BPCU	Bus Power Control Unit
bps	bits per second
BRG	Bearing
BRNAV	Basic Area Navigation
BTB	Bus Tie Breaker

BTC Bus Tie Contactor

C

C	Centre
CAA	Civil Airworthiness Authority (UK)
CADC	Central Air Data Computer
CAI	Caution annunciator indicator
CANbus	a widely used industrial data bus developed by Bosch
CAPS	Collins Adaptive Processor System
CAWP	Caution and Warning Panel
CAS	Crew Alerting System
CAS	Calibrated Airspeed
CBB	Collective Bar Bias
CCD	Cursor Control Device
CCS	Communications Control System
CCW	CounterClockWise
CDA	Continuous Descent Approach
CDI	Course Deviation Indicator
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information
CDU	Control and Display Unit
CDR	Critical Design Review
CF	Constant Frequency
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
CFR	Code of Federal Regulations
CG	Centre of Gravity
CHAN	Channel
CLB	Configurable Logic Block
CMCS	Central Maintenance Computing System (Boeing)
CMF	Communication Management Function
CMS	Central Maintenance System (Airbus)
CNS	Communication, Navigation, Surveillance
CNS/ATM	Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management
CODEC	Coder/decoder
COM	Command
COMM	Communications Receiver
CONT	Controller
COTS	Commercial Off-the-Shelf Systems
CP	Control Panel
CPIOM	Central Processor Input/Output Module
CPDLC	Controller-Pilot Data Link Communications
CPL	Commercial Pilot Licence
CPS	Cycles per Second
CPU	Central Processing Unit

CRC	Cyclic Redundancy Check
CRDC	Common Remote Data Concentrator (A350)
CRI	Configuration Reference Item
CRT	Cathode Ray Tube
CS	Certification Specification
CSD	Constant Speed Drive
CSDB	Commercial Standard Data Bus
CSEU	Control Systems Electronic Unit
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
CT	Control Transformer
CTAF	COMMON Traffic Advisory Frequency
CTC	Cabin Temperature Controller
CU	Control Unit
CV/DFDR	Cockpit Voice and Digital Flight Data Recorder
CVR	Cockpit Voice Recorder
CVS	Combined Vision System
CW	Clockwise/ Carrier Wave/Continuous Wave/Caution and Warning
CW/FM	Continuous Wave/Frequency Modulated
CWS	Control Wheel Steering

D

DA	Decision Altitude
DA	Drift Angle
D/A	Digital to Analog
DAC	Digital to Analogue Conversion/Converter
DAD	Data Acquisition Display
DADC	Digital Air Data Computer
DAIS	Digital Avionics Information System
DAP	Downlink of Aircraft Parameters
DCDU	Data Link Control and Display Unit
DC	Direct Current
DCDU	Data-Link Control & Display Unit (Airbus)
DDI	Dual Distance Indicator
DDS	Digital Display System
DEG	Degree
DEV	Deviation
DFCS	Digital Flight Control System
DFDAU	Digital Flight Data Acquisition Unit
DFDR	Digital Flight Data Recorder
DFDRS	Digital Flight Data Recording System
DG	Directional Gyroscope
DGPS	Differential GPS

DH	Decision Height
DI	Digital Interface
DIFCS	Digital Integrated Flight Control System
DISC	Disconnect
DISPL	Displacement
DLR	Data link recorder
DME	Distance Measuring Equipment
DMLS	Doppler Microwave Landing System
DMM	Digital Multi-Meter
DMUX	Demultiplexer
DMU	Data Management Unit
DNC	Direct Noise Cancelling
DoD	Department of Defense (US)
DP	Departure Procedures
DR	Decision Range
DRAM	Dynamic Random Access Memory
DRC	Dual Remote Compensator
DRMC	Direct Reading Magnetic Compass
DTED	Digital Terrain Elevation Data
DSP	Digital Signal Processing
D to A	Digital to Analogue
DTSA	Dynamic Time-Slot Allocation
DU	Display Unit
DUAT	Direct User Access Terminal
DVE	Degraded Visual Environment
DVM	Digital Volt-Meter
DVOR	Doppler VOR

E

E	East
EADI	Electronic Attitude Director Indicator
EAI	Electronic Attitude Indicator
EAS	Equivalent Air Speed
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAM	Electronic Centralised Aircraft Monitor
ECB	External Power Contactor
ECC	Error Correcting Code
ECCM	Electronic Counter-Counter Measures
ECM	Electronic Counter Measures
ECS	Environmental Control System
E/D	End of Descent
EDPS	Electronic Data Processing System
E/E	Electrical/ Electronic

EE	Electrical Equipment
EEC	Electronic Engine Control
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EFB	Electronic Flight Bag
EFCU	Electronic Flight Control Unit
EFD	Electronic Flight Display
EFIS	Electronic Flight Instrument System
EFVS	Enhanced Flight Vision System
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System
EGT	Exhaust Gas Temperature
EHF	Extremely High Frequency
EHS	Enhanced Surveillance
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator
EHSV	Electro-Hydraulic Servo Valve
EICAS	Engine Indicating & Crew Alerting System (Boeing)
EIS	Electronic Instrument System
EL	Elevator
ELAC	Elevator/Aileron Computer (A320)
ELCU	Electrical Load Control Unit
ELEV	Elevation
ELINT	Electronic Intelligence
ELMS	Electrical Load Management System
ELT	Emergency Locator Transmitter
EM	Electromagnetic
EMA	Electromechanical Actuator
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
EMP	Electrical Motor Pump
EMP	Electromagnetic Pulse
EMR	Electromagnetic Radiation
ENC	Electronic Noise Cancelling
ENG	Engine
ENG-CAS	Engine and Crew Alerting System
ENR	Electronic Noise Reduction
EOF	End of Frame
EPC	Electrical Power Contactor
EPLD	Electrically Programmable Logic Device
EPR	Engine Pressure Ratio
EPROM	Electrically Programmable Read Only Memory
EQUIP	Equipment
ERP	Eye Reference Point
ESA	European Space Agency
ESM	Electronic Support Measures

ESS	Essential
ESS	Environmental Stress Screening
ET	Elapsed Time
ETA	Estimated Time of Arrival
ETE	Estimated Time En-route
ETOP	Extended-range Twin-engine Operation
EU	Electronic Unit
EU	European Union
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
EVS	Enhanced Vision System (EASA nomenclature)
EXT	Extend
EW	Electronic Warfare

F

F	Fahrenheit
FAA	Federal Aviation Administration
FAC	Flight Augmentation Computer (Airbus)
FADEC	Full Authority Digital Engine Control
FAF	Final Approach Fix
FANS	Future Air Navigation System
FAR	Federal Airworthiness Requirements
FAT	Free Air Temperature
FAWP	Final Approach Waypoint
FBW	Fly-by-wire
FCB	Flight Control Bus
FCC	Flight Control Computer
FCDC	Flight Control Data Concentrator
FCES	Flight Control Electronic System
FCEU	Flight Control Electronics Unit
FCP	Flight Control Panel
FCPC	Flight Control Primary Computer (A330/340)
FCS	Flight Control System
FCSC	Flight Control Secondary Computer (A330/340)
FCU	Flight Control Unit
FD	Flight Director
FDAU	Flight Data Acquisition Unit
FDDI	fibre-Distributed Data Interface
FDEP	Flight Data Entry Panel
FDM	Flight Data Monitoring
FDPS	Flight plan Data Processing System
FDR	Flight Data Recorder
FDRS	Flight Data Recorder System
FDS	Flight Director System

FDU	Flux Detector Unit
F/E	Flight Engineer
FET	field Effect Transistor
FFT	Fast Fourier Transform
FF	Fuel Flow
FG	Flight Guidance
FGS	Flight Guidance System
FGMC	Flight Management & Guidance Computer – Airbus terminology for FMS
FHA	Functional Hazard Assessment
FIFO	First-In, First-Out
FIS-B	Flight Information Services – broadcast
FIM	Fault Isolation Monitoring
FIS	Flight Instrument System
FL	Flight Level
FL CH	Flight Level Change
FLD	Field
FLIR	Forward-Looking Infra-Red
FLTA	Forward-Looking Terrain Avoidance
FMA	Flight Mode Annunciator
FMC	Flight Management Computer
FMCS	Flight Management Computer System
FMCU	Flight Management Computer Unit
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	Failure Mode Effects and Criticality Analysis
FMES	Failure Modes and Effects Summary
FMGC	Flight Management Guidance Computer
FMGS	Flight Management & Guidance System
FMGEC	Flight Management Guidance & Envelope Computer (A330/340)
FMGU	Flight Management Guidance Unit
FMCP	Flight Mode Control Panel
FMS	Flight Management System
FMSP	Flight Mode Selector Panel
FMW	Flight Management System Window
F/O	First Officer
FOB	Fuel On-Board
FODTS	Fibre-Optic Data Transmission System
FOG	Fibre-Optic Gyroscope
FOV	Field of View
FPC	Fuel Performance Computer
FPGA	Field Programmable Gate Array
FPM	Flap Position Module
FPM	Ft per minute

FQMS	Fuel Quantity Management System
FREQ	Frequency
FSD	Full Scale Deflection
FSEU	Flap/Slat Electronic Unit
FSF	Flight Safety Foundation
FSK	Frequency Shift Key
FSS	Flight Service Station
FTA	Fault Tree Analysis
FTE	Flight Technical Error
FTP	Foil Twisted Pair
FVC	Frequency-to-Voltage Converter
FWC	Flight Warning Computer
FWS	Flight Warning System
FYDS	Flight director/Yaw damper system

G

GA	General Aviation
GAL	Gallon
Galileo	European equivalent of GPS
GAMA	General Aviation Manufacturer's Association
GBAS	Ground-Based Augmentation System
GB(s)	Generator Breaker(s)
GCAS	Ground Collision Avoidance System
GCB	Generator Control Breaker
GCU	Generator Control Unit
GE	General Electric
GEOS	Geostationary Satellite
GHz	Gigahertz
GIDS	Ground Ice Detection System
GLC	Generator Line Contactor
GLNS	GPS Landing and Navigation System
GLNU	GPS Landing and Navigation Unit
GLONASS	Russian equivalent of GPS (GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
GLS	GPS Landing System
GLU	GPS Landing Unit
GMT	Greenwich Mean Time
GND	Ground
GNSS	Global Navigation Satellite System
GO	Go Around
GP	Guidance Panel
GPM	Gallons per Minute
GPM	General Processing Module

GPS	Global Positioning System
GPWC	Ground Proximity Warning Computer
GPWS	Ground Proximity Warning System
GS	Ground Speed
G/S	Glide slope
H	
H	Earth's magnetic field
HARS	Heading and Attitude Reference System
HDD	Head-Down Display
HDG	Heading
HDG HOLD	Heading Hold
HDG SEL	Heading Select
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HF	High Frequency
HFDL	High-Frequency Data Link
HFDS	Head-up Flight Display System (Thales)
HGS	Head-up Guidance System (Rockwell Collins)
HI	Heading Indicator
HIRF	High-Intensity Radiated Field
HLD	Hold
HMD	Helmet Mounted Display
HMI	Human–Machine Interface
HOOD	Hierarchical Object-Oriented Design
HPR	High Pressure Rotor
HSD	High-Speed Data
HSI	Horizontal Situation Indicator
HTR	Heater
HUD	Head-Up Display
HVGS	Head-Up Display Visual Guidance System
HVP	Hardware Verification Plan
HVPS	High Voltage Power Supply
H/W	Hardware
I	
IAS	Indicated Airspeed
IAWG	Industrial Avionics Working Group
IAPW	Initial Approach Waypoint
IC	Integrated Circuit
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICD	Interface Control Document
ICU	Instrument Comparator Unit
ID	Identifier

IDG	Integrated Drive Generator
IDENT	Identify/identifier
IDS	Information Display System vagy Integrated Display System
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineers
IFE	In-flight Entertainment
IFF	Identification Friend or Foe
IFF/SSR	Identification Friend or Foe/Secondary Surveillance Radar
IFOG	Interferometric Fibre Optic Gyro
IFOV	Instantaneous field of View
IFR	Instrument Flight Rules
IFU	Interface Unit
IGSO	Inclined Geostationary Orbit
ILS	Instrument Landing System
IMA	Integrated Modular Avionics
IMC	Instrument Meteorological Conditions
IMU	Inertial Measuring Unit
IN	Inertial Navigation
INCR	Increase
IND	Indicator
InHg	Inches of Mercury
INS	Inertial Navigation System
INV	Static Inverter
I/O	Input/Output
IOM	Input/Output Module
IP	Internet Protocol
IPFD	Integrated Primary Flight Display (Honeywell)
IR	Infra-Red
IRMP	Inertial Reference Mode Panel
IRS	Inertial Reference System
IRU	Inertial Reference Unit
ISIS	Integrated Standby Instrument System
ISA	International Standard Atmosphere
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Integrated Switching Panel
ISS	Inertial Sensing System
ITT	Interstage Turbine Temperature
IVS	Instantaneous Vertical Speed
IVSI	Instantaneous Vertical Speed Indicator

J

JAA	Joint Airworthiness Authority
JAR	Joint Airworthiness Requirement
JTIDS	Joint Tactical Information Distribution System

K

KEAS	Knots Equivalent Airspeed
KIAS	Knots Indicated Airspeed
kpbs	kilobits per second

L

LAAS	Local Area Augmentation System
LADGPS	Local Area Differential GPS
LAN	Local Area Network
LAU	Linear Accelerometer Unit
LB(s)	Pound(s)
LBS	Lateral Beam Sensor
LCD	Liquid Crystal Display
LDGPS	Local Area Differential Global Positioning Satellite
LE	Leading Edge
LED	Light Emitting Diode
LF	Low Frequency
LG	Landing Gear
LH	Left Hand
LIM	Limit
LMM	Localizer Middle Marker
LNAV	Lateral Navigation
LPV	Localiser Performance with Vertical Guidance
L/R DVT	Linear/Rotary Differential Variable Transformer
LOC	Localizer
LOM	Localizer Outer Marker
LORAN	Long-Range Navigation
LOS	Line of Sight
LPR	Low Pressure Rotor
LPV	Localizer Performance with Vertical Guidance
LRG	Laser Ring Gyro
LRM	Line-Replaceable Module
LRNS	Long Range Navigation System
LROPS	Long-Range Operations
LRRA	Low Range Radio Altimeter
LRU	Line-Replaceable Unit
LSB	Lower Side Band
LSU	Logic Switching Unit
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
LX	Lightning
LWIR	Long Wave Infra-Red

M

M	Mach number
MALU	Mode Annunciation Logic Unit
MAN	Manual
MAP	Manifold Absolute Pressure
MAP	Missed Approach Point
MAP	Mode Annunciator Panel
MAPS	Minimum Aviation Performance Standards
MAT	Maintenance Access Terminal
MAU	Modular Avionics Unit
MB	Marker Beacon
Mbps	Megabits per second
MCBF	Mean Cycles Between Failures
MCDP	Maintenance Control Display Panel
MCDU	Multi-Function Control and Display Unit
MCP	Mode Control Panel
MCT	Maximum Continuous Thrust
MCU	Modular Concept Unit
MDA	Minimum Descent Altitude
MDH	Minimum Descent Height
MDU	Multifunctional Display Unit
MEA	More-Electric Aircraft
MEL	Minimum Equipment List
MEMS	Micro Electro-Mechanical Systems
MEOS	Medium Earth Orbit Satellite
MF	Medium Frequency
MFD	Multifunction Display
MFDS	Multifunction Display System
MHRS	Magnetic Heading and Reference System
MHz	Megahertz
MIC	Microphone
MIDS	Multifunctional Information Distribution System
MILSPEC	Military specification
MIL-STD	Military Standard
MIP	Maintenance Information Printer
MIPS	Million instructions per second
MKB	Multi-function Keyboard
MKP	Multi-function Keypad
MLS	Microwave Landing System
MM	Middle Marker
MMD	Moving Map Display
MMEL	Master Minimum Equipment List
MMR	Multi-Mode Receiver

MNPS	Minimum Navigation Performance Specifications
MOPS	Minimum Operational Performance Standards
MPCD	Multipurpose Control and Display
MPU	Microprocessor Unit
MSA	Minimum Safe Altitude
MSG	Message
MSL	Mean Sea-Level
MSU	Mode Selector Unit
MTBF	Mean Time Between Failures
MTBR	Mean Time Between Removals
MTOM	Maximum Take-off Mass
MTOW	Maximum Take-off Weight
MTP	Maintenance Test Panel
MTTF	Mean Time to Failure
MUX	Multiplexer
MVFR	Marginal Visual Flight Rules
MWIR	Medium Wave Infra-Red
MWS	Master Warning System

N

N/A	Not Applicable
NAS	National Airspace System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATS	National Air Transport System
NAV	Navigation Mode
NCU	Navigation Computer Unit
ND	Navigation Display
NDB	Non-Directional radio Beacon
NextGen	Next Generation Air Transport System (USA)
NIC	Network Interface Controller
NiCd	Nickel Cadmium (Battery)
nm	nautical mile – (1 nm is equivalent to 6070 feet)
NOTAM	Notice to Airmen
NPA	Non-Precision Approach
NRZ	Non-Return-to-Zero
NVD	Night vision device
NVG	Night Viewing/Vision goggles
NVRAM	Non-Volatile Random Access Memory

O

OAT	Outside Air Temperature
OBS	Omni-Bearing Selector
OEW	Operating Empty Weight

OBOGS	On-Board Oxygen Generation System
O-LED	Organic Light Emitting Diode
OM	Operations Manual
OMG	Object Management Group

P

PAL	Pilot Activated Lighting
PAPI	Precision Approach Path Indicator
PAR	Precision Approach Radar
PASS	Passenger
PBN	Performance Based Navigation
PC	Personal Computer
PCA	Power Control Actuator
PCB	Printed Circuit Board
PCL	Pilot Controlled Lighting
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCU	Power Control Unit
PCWS	Pitch Control Wheel Steering
PD	Profile Descent
PDCS	Performance Data Computer System
PDR	Preliminary Design Review
PDU	Primary Display Unit
PED	Personal Electronic Device
PES	Passenger Entertainment System
PEV	Position Error Vector
PFC	Primary Flight Control Computer
PFCA	Primary Flight Control Actuator
PFCS	Primary Flight Control System
PFD	Primary Flight Display
PFD	Primary Flight Director
PIU	Peripheral Interface Unit
PLD	Programmable Logic Device
PMA	Permanent Magnet Alternator
PMAT	Portable Maintenance Access Terminal
PMG	Permanent Magnet Generator
PMS	Performance Management System
PNCS	Performance Navigation Computer System
PND	Primary Navigation Display
PNR	Passive Noise Reduction
POF	Phase of Flight
POS	Position
PRIM	Primary
PRNAV	Precision Area Navigation

PROM	Programmable Read Only Memory
Ps	Static Pressure
PSA	Power Supply Assembly
PSEU	Proximity Switch Electronic Unit
PSR	Primary Surveillance Radar
PSSA	Preliminary System Safety Assessment
PSM	Power Supply Module
PSO	Phase Shift Oscillator
PSU	Power Supply Unit
PSU	Passenger Service Unit
Pt	Total Pressure
PTT	Push-to-talk
Q	
q	Dynamic Pressure
QAR	Quick Access Recorder
QFE	Atmospheric pressure (Q) at Field elevation (Ground pressure)
QNH	Barometric Altitude (Mean sea level pressure)
QRH	Quick Reference Handbook
Quadrax	Data Bus Wiring Technique Favoured by Airbus
R	
RA	Resolution Advisory
R&D	Research and Development
RAI	Radio Altimeter Indicator
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RALT	Radar or radio altimeter
RALU	Register and Arithmetic Logic Unit
RAM	Random Access Memory
RAT	Ram Air Turbine
R/A	Radio Altimeter
RBA	Radio Bearing Annunciator
RCR	Reverse Current Relay
RCVR	Receiver
RCWS	Roll Control Wheel Steering
RDC	Remote Data Concentrator
RDMI	Radio Distance Magnetic Indicator
RDP	Radar Data Processing System
RDR	Radar
REC	Recorder
REF	Reference
REIL	Runway end identifier lights
REL	Relative

RES	Reserve
REV	Reverse
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interference
RFU	Radio Frequency Unit
RH	Right Hand
RHSM	Reduced Horizontal Separation Minimal
RIU	Remote Interface Unit
RLG	Ring Laser Gyro
RLY	Relay
RMI	Radio-Magnetic Indicator
RMP	Radio Management Panel
RNAV	Area Navigation
RNG	Range
RNP	Required Navigation Performance
ROC	Rate of Climb
ROD	Rate of Descent
ROM	Read Only Memory
ROT	Rate of Turn Indicator
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPC	Remote Power Controller
RPDU	Remote Power Distribution Unit
RPM	Revolutions per minute
RSAS	Roll Stability Augmentation System
RST	Reset
RSU	Remote Switching Unit
RT	Radio Telephony
RT	Remote Terminal
RTE	Route
RTCA	Radio Technical Committee Association
RTOS	Real Time Operating System
RTR	Remote Transmission Request
RTZ	Return-To-Zero
RUD	Rudder
RVDT	Rotary Variable Differential Transformer
RVR	Runway Visual Range
RVSM	Reduced Vertical Separation Minimum
R/W	Read/Write
RX	Receiver
RX	Torque Receiver
S	
SAARU	Secondary Attitude & Air Data Reference Unit (B777)

SAE	Society of Automotive Engineers
SAHRU	Secondary Attitude and Heading Reference
SAI	Stand-by Attitude Indicator
SAM	Stabilizer Aileron Module
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAS	Standard Altimeter Setting
SAT	Static Air Temperature
SATCOM	Satellite Communications
SATNAV	Satellite Navigation
SB	Sideband
SBAS	Space-Based Augmentation System
SCM	Spoiler/Speed brake Control Module
SD	Secure Digital
SDR	System Design Review
SDU	Satellite Data Unit
SEC	Secondary
SEC	Secondary Elevator Computer
SEL	Select
SELCAL	Selective Calling
SENS	Sensitivity
SFCC	Slat/flap Control Computer (A330/340)
SG	Symbol Generator
SG	Synchronisation Gap
SGU	Symbol Generator Unit
SH	Sample and Hold
SHF	Super High Frequency
SID	Standard Instrument Departure
SIGINT	Signals Intelligence
SIM	Serial Interface Module
SIU	Satellite Interface Unit
SGU	Symbol Generator Unit
SLR	Sideways-Looking Radar
SMD	Surface-Mount Device
SMS	Short Messaging Service
SMS	Safety Management System
SMT	Surface-Mount Technology
SNR	Signal-to-noise ratio
SOF	Start of Frame
SOIC	Small Outline Integrated Circuit
SNMP	Simple Network Management Protocol
Sp	Static Pressure
SPC	Statistical Process Control
SPD	Speed (Airspeed or Mach hold)

SPKR	Speaker
SPS	Standard Positioning Service (GPS)
SQ or SQL	Squelch
S-RAM	Static Random Access Memory
SRS	Speed Reference System
SRP	Selected Reference Point
SRR	System Requirements Review
SSA	System Safety Assessment
SSB	Single Side Band
SSCV/DR	Solid-State Cockpit Voice/Data Recorder
SSCVR	Solid-State Cockpit Voice Recorder
SSD	Solid State Device
SSEC	Static Source Error Correction
SSFDR	Solid-State Flight Data Recorder
SSI	Small-Scale Integration
SSPC	Solid State Power Controller
SSR	Secondary Surveillance Radar
SSR	Software Specification Review
SSTP	Shielded Screen Twisted Pair
STAB	Stabiliser
STAR	Standard Terminal Arrival Requirements
STARS	Standard Terminal Automation Replacement System
STBY	Standby
STC	Supplementary Type Certificate
STCA	Short-Term Conflict Alert
STCM	Stabilizer Trim Control Module
STP	Standard Temperature and Pressure
STP	Screened Twisted Pair
SUA	Special Use Airspace
S/UTP	Shielded Unscreened Twisted Pair
SV	Servo-Valve
SVS	Synthetic Vision System
SYNC	Synchronous
S/W	software
SWIR	short wave infra-red
SWS	Stall Warning System
T	
TA	Traffic Advisory
TACAN	Tactical Air Navigation
TACH	Tachometer
TAD	Terrain Awareness Display
TAF	Terminal Area Forecast

TAS	True Airspeed
TAT	Total Air Temperature
TAT	True Air Temperature
TAWS	Terrain Awareness Warning System
TAWS	Terrain Avoidance Warning System
TB	Time Before Overhaul or Time Between Overhaul
TCA	Throttle Control Assembly
TCA	Terminal Control Area
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TCC	Thrust Control Computer
TCN	TACAN
TCU	TACAN Control Unit
TDMA	Time Division Multiplex Allocation
TDR	Transponder
TDR	Torque Differential Receiver
TDX	Torque Differential Transmitter
TFR	Transfer
TFR	Temporary Flight Restrictions
TFT	Thin-Film Transistor
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TG	Terminal Gap
TGT	Turbine Gas Temperature or Target
THDG	True Heading
THR HOLD	Thrust Hold
THS	Tailplane Horizontal Stabiliser
TI	Terminal Interval
TIS	Traffic Information Service
TK	Track angle
TKE	Track-angle error
TLA	Thrust Lever Angle
TMC	Test and Maintenance Channel
TMS	Thrust Management System
TMSP	Thrust Mode Select Panel
TOD	Top of Descent point
TOGA	Takeoff/Go-around switch
TOT	Turbine Outlet Temperature
Tp	Total Pressure
TPMU	Tyre Pressure Monitoring Unit
TR	Transmitter Receiver
TR	Torque Receiver
TRK	Track
TRN	Terrain referenced navigation
TRP	Thrust Rating Panel

TRU	Transformer Rectifier Unit
TSO	Technical Standards Order
T/R	Thrust Reverser
TTL	Transistor-Transistor Logic
TTP	Time Triggered Protocol
TWDL	Terminal Weather Data Link
TWDR	Terminal Doppler Weather Radar
TWIP	Terminal Weather Information for Pilots
TWR	Terminal Weather Radar
Tx	Transmitter
TX	Torque Transmitter
U	
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UAV	Unmanned Air Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
ULB	Underwater Locator Beacon
ULD	Underwater Locating Device
UPR	Upper
USB	Upper Side Band
USMS	Utility Systems Management System
UTC	Universal Time Coordinate
UTIL	Utility
UTP	Unshielded Twisted Pair
UTC	Universal Time Coordinate
UV	UltraViolet
V	
VAR	Variable
VDL	VHF Data Link
VDR	VHF digital radio
VDU	Visual Display Unit
VERT	Vertical
VF	Variable Frequency
VFO	Variable Frequency Oscillator
VFR	Visual Flight Rules
VG/DG	Vertical Gyroscope/Directional Gyroscope
VGA	Video Graphics Adapter
VGS	Visual Guidance System (Honeywell/BAE Systems)
VGU	Vertical Gyro Unit

VHF	Very High Frequency
VHFDL	Very High Frequency Data Link
VL	Virtual Link
VLf	Very Low Frequency
VLSI	Very Large Scale Integration
VMC	Visual Meteorological Condition
VMS	Vehicle Management System
VNAV	Vertical Navigation
VNE	Never exceed speed
VNO	Maximum structural cruising speed
VNR	VHF navigation receiver
VOR	Very high frequency Omni-directional Radio Range
VORTAC	VOR and TACAN combination
VOX	Voice transmission
VPA	Vertical Path Approach
VPATH	Vertical path
VS	Vertical Speed
VSCF	Variable Speed Constant Frequency
VSCU	Vertical Signal Conditioner Unit
VSI	Vertical Speed Indicator
VSD	Vertical Situation Display
VSM	Vertical Separation Limit
VSO	Stall Speed in landing configuration
VSWR	Voltage-Standing Wave Ratio
V/UHF	Very/Ultra High Frequency
VX	Speed for best angle of climb
VY	Speed for best rate of climb

W

WAAS	Wide Area Augmentation System
WARN	Warning
WCD	Warning and Caution Display
W/V	Wind Vector
WD	Wind Direction
WINDR	Wind Direction
WMS	Wide-area Master Station
WMSC	Weather Message Switching Center
WMSCR	Weather Message Switching Center Replacement
WPT	WayPoint
WX	Weather
WXR	Weather Radar System
WYPT	Waypoint

X

X X axis

XTR Transmitter

Y

Y Y axis

YD or Y/D Yaw Damper

YDM Yaw Damper Module

Z

Z Z axis

A Covid-19-járvány hatásai a repülési ágazatra

Bevezetés

A Five Aero tanácsadó csoport¹ felmérése szerint 2020 első fél évében több mint 350 ezer ember vesztette el a munkáját világszerte a légi közlekedés ágazatban. A légitársaságoknál eddig 220 000, a repülőgépgyártóknál 60 000, a légi kiszolgálás területén 46 ezer, a repülőtereken pedig 29 ezer állás szűnt meg. Az ágazatban a legtöbb leépítésre Európában (129 000) és Észak-Amerikában (150 000) került sor, de az év végére akár fél-millióra is nőhet a leépítések száma, valamint további 25 000 olyan ember veszítheti el az állását a szektorban, akik nem légitársaságnál, reptérnél vagy repülőgépgyártónál dolgoznak. Az eddig bejelentett munkahelycsökkentések több mint 80%-a Európában és Észak-Amerikában történt, annak ellenére, hogy a két régióban az összes utasforgalom 49%-a realizálódott 2019-ben a Five Aero tanulmánya szerint. Az eltérést egyrészt indokolja, hogy a legnagyobb repülőgép-tervezők és kulcsfontosságú szállítók e két régióban találhatók. Másrészt az ázsiai-csendes-óceáni térségben a hivatalosan közzétett adatok meglehetősen kevésnek tűnnek, és azok több mint fele Ausztráliát és Új-Zélandot érinti. Az ázsiai légi közlekedési vállalatok és repülőterek sorra csökkentik a béreket és a létszámot, azonban mindezt nem hozzák nyilvánosságra. Az olyan vezető légitársaságok, mint például a Cathay Pacific Airways Ltd. és a Singapore Airlines Ltd. még egyáltalán nem jelentettek be létszámleépítést, miközben jelentős állami támogatásokat kaptak a járvány okozta jelentős veszteségeik csökkentésére. Az már jelenleg is jól látható, hogy a járvány hatalmas hosszú távú károkat okoz a repülési iparban.²

A Covid-19 gazdasági hatásai a polgári repülésre

A gyorsan terjedő Covid-19-járvány miatt a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) is aktívan figyelemmel kíséri a polgári repülésre gyakorolt gazdasági hatásait, és rendszeresen frissített jelentéseket és kiigazított előrejelzéseket tesz közzé.

¹ A Five Aero egy a repülési ágazat a Covid-19-járvány utáni helyreállításának elősegítésére létrejött szakmai szervezet. Lásd részletesebben online: www.fiveaero.com/the-new-normal

² Christopher Jasper – Richard Weiss: Aviation job losses could approach a half-million by year's end. *Bloomberg, Business*. 2020. szeptember 1.

A Covid-19-járvány gazdasági hatásainak elemzése

A polgári repülésre gyakorolt gazdasági hatások felmérésekor az ICAO sokféle forgatókönyvvel dolgozik annak érdekében, hogy tükrözze a jelenlegi helyzet nagyon bizonytalan jellegét és a gyorsan változó környezetet. A tényleges hatások számos különféle tényezőtől függnék, többek között a járvány lezajlásának időtartamától, kilengéseitől, a kormányzati intézkedésektől, a fogyasztók bizalmának változásaitól és több gazdasági feltétel alakulásától is.³

1. Kiindulási helyzet. Hipotetikus helyzet a Covid-19 kitörése nélkül, az eredetileg tervezett előrejelzésekkel.
2. Indikatív forgatókönyv. „V alakú”, a recesszió normális alakját követi, ahol egy rövid visszaesési periódust gyors/zökkenőmentes helyreállítás követ; a legoptimistább utat jelzi.
3. Indikatív forgatókönyv. „U alakú”, hosszan tartó visszaesést és lassú helyreállást jelez azzal a lehetőséggel, hogy nem lehet visszatérni a növekedés eredeti trendvonalához (L alakú); a legpesszimistább utat jelenti.

Az analitikai fókuszban az utóbbi két forgatókönyv szerepel, amelyek nem tekinthetők a várható események előrejelzésének, hanem csupán a sok lehetséges út vagy következmény kimenetelének mutatói. Mindegyik forgatókönyv 4 különböző utat vesz figyelembe, és együttesen mutatja be a kínálat (kibocsátás) és a kereslet (kiadások) differenciált feltételrendszereit. Az elemzési időkeretet 2021. márciusig meghosszabbították, ezért 2020 teljes évére és 2021 első negyedévére vonatkozik. Az ICAO az Airport Council Internationalle (ACI) szorosan együttműködve dolgozik a fejlemények figyelemmel kísérésében, valamint a Covid-19 repülőterekre gyakorolt gazdasági hatások elemzésében.

1. táblázat: A hatások globális becslése röviden

	2020. teljes év		2021. első negyedév		
	Optimista	Pesszimista	Optimista	Pesszimista	
Utas férőhelyek kapacitása		–45%	–51%	–20%	–40%
Utasforgalom	–2 579 000 000 000	–2 893 000 000 000	–312 000 000	–590 000 000	
Légitársaságok bevételi vesztesége	345 000 000 000 USD	386 000 000 000 USD	46 000 000 000 USD	83 000 000 000 USD	

Forrás: ICAO⁴

A Covid-19-vírus határok nélkül terjedt el világszerte. Pusztító gazdasági és pénzügyi veszteségeket és jelentős bizonytalanságokat okozva az iparágak, minden ágazatot és az élet minden aspektusát érintve. Az alábbi táblázat összegezve mutatja be az érintett ágazatokat képviselő nemzetközi szervezetektől származó adatokat a járvány okozta hatásokról. Ezek az adatok az idő előrehaladásával folyamatosan, gyakran változnak, ezért érdemes újból és újból meglatogatni az egyes szervezetek hivatalos weboldalát a legfrissebb adatok megtekintéséhez.

³ ICAO: *Economic impacts of COVID-19 on civil aviation*.

⁴ ICAO: *Economic impacts of COVID-19 on civil aviation*.

2. táblázat: A COVID-19-járvány hatása az egyes ágazatokra az egyes nemzetközi szervezetek becslései szerint

		Optimista becslés	Pesszimista becslés
ICAO	Nemzetközi légi utasforgalom*	-57%	-60%
ACI	Repülőterek bevételei*	-61% vagy 97 4 000 000 000 USD	
IATA	Légitársaságok bevétel/km adata (RPK)	-54,7%/314 000 000 000 USD	
UNWTO	Nemzetközi idegenforgalmi bevételek	-910 000 000 000 USD	-1170 000 000 000 USD
WTO	Globális kereskedelem volumene	-13%	-32%
IMF	Globális gazdaság	-4,9%	-5,2%

Forrás: ICAO⁵

Az adatok a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezettől (ICAO), a Nemzetközi Légi Közlekedési Szövetségtől (IATA), a Nemzetközi Repülőtéri Tanácstól (ACI), az ENSZ Turisztikai Világszervezetétől (UNWTO), a Világkereskedelmi Szervezettől (WTO) és a Nemzetközi Valutaalaptól (IMF) származnak. Minden adat a 2019-es adatokkal összehasonlítva, kivéve a csillaggal (*) jelölt számokat, amelyek a 2020-as alapadatokkal összehasonlítva szerepelnek.

Covid-19 légi forgalmi irányítópult⁶

Az ICAO és a török polgári repülési hivatal az SHGM (Sivil Havacilik Genel Müdürlüğü), angol megnevezése DGCA (Directorate General of Civil Aviation) interaktív irányítópultokat fejlesztett ki a Covid-19 polgári repülésre gyakorolt hatásai négy fő szempontjának nyomon kísérésére – működési, gazdasági, repülőgép-felhasználási és az országpárok közötti forgalomra gyakorolt hatások folyamatos követésére.⁷ A Covid-19-vírusjárvány jelentős hatást gyakorol a légi fuvarozók, a repülőterek és a légi navigációs szolgáltatók (Air Navigation Service Providers [ANSPs]) működésére egyaránt. A manapság és az elkövetkező hónapokban hozott döntések ezért komoly hatással lesznek az egész iparág jövőjére. Az egyes államok, az érintett iparágak és az összes érdekelt fél számára ezért elengedhetetlen, hogy megbízható információkkal és eszközökkel rendelkezzenek a Covid-19-vírusjárvány változó hatásainak nyomon követésére és értékelésére, annak érdekében, hogy a kulcsfontosságú mutatók alakulására támaszkodva hozhassák meg döntéseiket. Ezért az ICAO a repülési (ADS-B Flight)⁸ és a vállalati (Enterprise Data Management [EDM]) adatbázisainak felhasználásával a török Polgári Repülési

⁵ ICAO: *Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation*.

⁶ Az irányítópult kifejezés a kontrolling szakmában elterjedt fogalom. Lásd részletesebben: Novoszát Péter: Az irányítópultok (dashboardok) néhány lehetséges alkalmazása a közsférában. *Controller Info*, 8. (2020), 1. 31–33.

⁷ ICAO: *COVID-19 air traffic dashboard*.

⁸ ADS-B (automatic dependent surveillance – broadcast). Lásd részletesebben: ICAO: *ADS-B implementation and operations guidance document*.

Főigazgatósággal (SHGM – DGCA) együttműködve interaktív irányítópultokat fejlesztett ki a Covid-19-vírusjárvány polgári repülésre gyakorolt hatásainak bemutatására. Mindazonáltal az ICAO-irányítópulton szereplő adatok felhasználása során figyelemmel kell lenni az alábbiakra:⁹

1. Az ICAO-irányítópulton található összes tartalom csak tájékoztató jellegű. A bemutatott információk a FlightAware ADS-B adatain alapulnak, és nem a pontos tényleges forgalmi adatokon.¹⁰
2. Az itt szereplő információk mind az eredeti ADS-B-adatokat, mind a becsléseket tartalmazzák, és további információkkal frissítésre, javításra és felülvizsgálatra szorulnak.
3. Eltérések lehetnek az ezen irányítópulton található információk és az ICAO által készített egyéb elemzések, tanulmányok, cikkek és publikációk között, mivel az információk különböző célok szerinti feldolgozásának időzítése és módszertana eltérő lehet. Például a Covid-19-vírusjárvány az ICAO gazdasági hatáselemzése során kiegészíti az eredeti ADS-B-adatokat más légi közlekedési adatokkal. Az információk következetességének biztosítása érdekében folyamatosan megfelelő és észszerű erőfeszítéseket tesznek azok pontosítására.
4. Az információk megjelenítése a térképeken nem mindig hibamentes, és egyáltalán nem jelenti az ICAO véleménynyilvánításának bármely ország, terület vagy terület, illetve hatóságainak jogállására, illetve a körülhatárolásra vonatkozóan.

Operatív üzemeltetési hatások

A koronavírus-járvány rendkívüli hatást gyakorol a nemzetközi és belföldi repülési műveletekre az utas- és teherszállítási járatok számára, valamint a kínált férőhelyekre egyaránt.

3. táblázat: Operatív üzemeltetési hatás a légi forgalom alakulására 2020. január 1. és szeptember 30. között (utasforgalomban részt vevő járatok)

Származási régió	2019	2020	Eltérés	Eltérés %
Afrika	696 136	317 319	-378 817	-54,42%
Ázsia/Óceánia	9 456 513	5 496 005	-3 960 508	-41,88%
Európa	6 811 938	3 204 590	-3 607 348	-52,96%
Latin-Amerika	2 225 403	1 059 159	-1 166 244	-52,41%
Közel-Kelet	846 471	348 934	-515 537	-59,64%
Észak-Amerika	13 611 062	10 934 198	- 676 864	-19,67%
Összesen	33 665 523	21 360 205	-12 305 318	-36,55%

Forrás: ICAO¹¹

⁹ ICAO: COVID-19 air traffic dashboard disclaimer.

¹⁰ ICAO: COVID-19 air traffic dashboard disclaimer.

¹¹ ICAO: Operational impact on air traffic.

Gazdasági hatások

Hatás a légi fuvarozók, a repülőterek és a légi navigációs szolgáltatók bevételeire.

4. táblázat: *Kiesett bevételek főbb régiók szerint a légitársaságok által megadott adatok alapján USA-dollárban 2020. január 1. és szeptember 30. között*

Főbb régiók	Kiesett bevételek
Ázsia/Óceánia	–90 288 934 665
Európa	–79 499 652 312
Észak-Amerika	–61 658 728 529
Közel-Kelet	–20 637 512 131
Latin-Amerika	–15 652 762 521
Afrika	–7 724 399 829
Összesen	–275 461 989 988

Forrás: ICAO¹²

5. táblázat: *Kiesett bevételek főbb régiók szerint a repülőterek által megadott adatok alapján USA-dollárban 2020. január 1. és szeptember 30. között*

Főbb régiók	Kiesett bevételek
Európa	–30 125 621 142
Ázsia/Óceánia	–23 026 510 331
Észak-Amerika	–18 524 907 977
Közel-Kelet	–6 311 546 474
Latin-Amerika	–5 344 720 912
Afrika	–2 067 079 910
Összesen	–85 400 386 746

Forrás: ICAO¹³

6. táblázat: *Kiesett bevételek főbb régiók szerint a légi navigációs szolgáltatók által megadott adatok alapján USA-dollárban 2020. január 1. és szeptember 30. között*

Főbb régiók	Kiesett bevételek
Európa	–5 685 688 846
Ázsia/Óceánia	–2 505 906 677
Észak-Amerika	–659 986 590
Latin-Amerika	–533 676 184
Afrika	–516 600 627
Közel-Kelet	–381 122 384
Összesen	–10 282 981 308

Forrás: ICAO¹⁴

¹² ICAO: *Economic impact – Air carriers.*

¹³ ICAO: *Economic impact – Airports.*

¹⁴ ICAO: *Economic impact – ANSP.*

Repülőgép-kihasználtságra vonatkozó hatások

A járatokat teljesítő repülőgépek kihasználtsága és a földre kényszerült repülőgépek száma, repülőgép-kategóriák szerint.

7. táblázat: Aktív flotta összehasonlítása főbb repülőgéptípusok szerint 2020. január 1. és szeptember 30. között

Hó	Cargó gépek			Regionális gépek			Keskeny törzsű gépek			Széles törzsű gépek		
	2019	2020	%	2019	2020	%	2019	2020	%	2019	2020	%
01.	546	550	+0,7	2863	2902	+1,4	11 863	12 238	+3,2	4082	4204	+3,0
02.	541	519	-4,1	2844	2858	+0,5	11 990	10 323	-13,9	4079	3606	-11,4
03.	522	558	+6,9	2593	2314	-10,8	10 901	7 743	-29,0	3712	2378	-35,9
04.	564	576	+2,1	2919	686	-76,5	12 300	2 201	-82,1	4162	588	-85,9
05.	556	581	+4,5	2933	657	-77,6	12 343	2 433	-80,3	4135	777	-81,2
06.	557	613	+10,1	3041	839	-72,4	13 064	3 568	-72,7	4330	902	-79,2
07.	556	600	+7,9	3087	1240	-59,8	13 574	5 501	-59,5	4441	1106	-75,1
08.	592	578	+4,7	3087	1402	-54,6	13 506	6 464	-52,1	4448	1274	-71,4
09.	548	585	+6,8	2945	1475	-49,9	12 864	6 114	-52,5	4292	1396	-67,5

Forrás: ICAO¹⁵

Országpárok forgalmára vonatkozó hatások

Országpárok közötti járatok szintjének alakulása heti rendszerességgel.

A Magyarországról 2020. július 1. és augusztus 31. között közlekedett repülőgép-járatok célállomásait és az új járatok száma alakulásának trendjét mutatja be az ábra az 1. Appendixben.

Az irányítópultokon bemutatott megbízható és időszerű elemzések jelentős értéket jelentenek az egyes államok, az iparág és az összes érdekelt fél számára a járvány utáni újrakezdés és az általa okozott válságból való kilábaláshoz szükséges döntések megtervezésében és meghozatalában.

A Covid-járvány hatásai a légitársaságokra

Több tízezer munkahely szűnt már meg eddig is, és van még veszélyben, amíg a világ legnagyobb légitársaságai megbirkóznak a koronavírus-járvány következményeivel. A négy legnagyobb amerikai légitársaság összesen több mint 10 milliárd dollárt veszített csak 2020 második negyedében.¹⁶ A szakértők szerint Észak-Amerikában történtek eddig is a legnagyobb létszámleépítések, és várhatóan további tízezrek veszíthetik el állásukat.

¹⁵ ICAO: *Active fleet comparisons by aircraft types*.

¹⁶ Leslie Josephs: *A flood of job losses looms as airline industry struggles in pandemic*. 2020. augusztus 16.

Az amerikai United Airlines 2020. július elején már arra figyelmeztetett, hogy 36 000 alkalmazottat, vagyis teljes személyzetének 45%-át fenyegeti az állásuk elvesztésének veszélye, mivel a fuvarozó a járvány okozta pénzügyi nehézségei miatt leépítésre készül.¹⁷ Az Egyesült Államok más légi fuvarozói eddig kevésbé voltak ennyire egyértelműek a munkahelyek csökkentésére vonatkozó terveik esetében, de a legtöbb már előrevetítette, hogy a legrosszabb még várat magára. Az Alaska Airlines, az American Airlines, a Delta Air Lines, a JetBlue Airways és a Southwest Airlines több tízezer alkalmazottja kényszerült már eddig is fizetés nélküli szabadság igénybevételére az elmúlt hónapokban, vagy vett részt más, a költségek csökkentését célzó programokban.¹⁸

Kanadában a WestJet 2020. június 24-én jelentette be, hogy további 3000 munkahelyet szüntet meg, aminek következtében ennek a társaságnak csak 5 ezer alkalmazottja marad a koronavírus előtti, 14 000 fős összes munkavállalójából.¹⁹ Az Air Canada légitársaság eddig már mintegy 20 000-rel, az összes alkalmazottainak 60%-ával csökkentette a foglalkoztatottjainak létszámát.²⁰ A légitársaságok legsúlyosabban a latin-amerikai régióban érintettek, mivel ebben a régióban a kormányok nagyrészt megtagadták az üzemeltetők megmentését. Ennek eredményeként több ezer munkahely van veszélyben, mivel a légitársaságok gyorsan kifogynak a likvid pénzeszközöikből. A súlyos helyzet egyik látványos következménye, hogy az Aeromexico, az Avianca és a LATAM Airlines mindegyike csődvédelmet kért.²¹

Az európai légitársaságok mentőakciók és rövidesen lejáró támogatási rendszerek közepette csökkentették a munkahelyeik számát. Az Air France 2020. július 4-én közölte, hogy 2022 végéig 6560 munkahelyet kell megszüntetnie a jelenlegi 41 000 fős létszámából.²² Mindez akkor következett be, amikor a holland KLM az Air France legfőbb szövetségese és partnere éppen több milliárdos támogatást kapott egy kormányzati mentőakcióból. Ezt a támogatást a költségek 15%-os csökkentéséhez köthették, habár a holland üzemeltető hivatalosan eddig még nem jelentett be munkahelycsökkentést.²³ A Lufthansa Csoport 2020. július 7-én jelentette be, hogy a jelenlegi kritikus helyzetben mintegy 22 000 teljes munkaidős munkavállalója vált feleslegessé, és felszólította a szakszervezeteket és más, a munkavállalókat képviselő testületeket, hogy állapodjanak meg a vezetőséggel sürgősen a válsággal kapcsolatos szükséges intézkedésekről, a tömeges elbocsátások elkerülése érdekében. A németországi székhelyű csoport több mint 135 000 alkalmazottat foglalkoztatott a válság kitörése előtt. Jelentős állami pénzügyi

¹⁷ Pilar Wolfsteller: United warns 36,000 employees their jobs are danger. *Flight Global Strategy*, 2020. július 8.

¹⁸ Lewis Harper: How many jobs are airlines cutting due to corona virus? *Flight Global Strategy*, 2020b július 15.

¹⁹ Pilar Wolfsteller: WestJet permanently cuts more than 3,000 jobs. *Flight Global Strategy*, 2020d június 24.

²⁰ Pilar Wolfsteller: Air Canada raises additional C\$1.23bn in cash. *Flight Global Strategy*, 2020a június 22.

²¹ Pilar Wolfsteller: IATA re-ups calls on Latin American governments to support airlines. *Flight Global Strategy*, 2020b június 15.

²² Max Kingsley-Jones: Air France to shed over 7,000 jobs as part of €7 billion bail-out. *Flight Global Strategy*, 2020a július 4.

²³ Cirium: European Commission gives KLM state financing the go-ahead. *Flight Global Strategy*, 2020. július 13.

támogatást kapott a kereslet-visszaesés túlélése érdekében.²⁴ A British Airways mintegy 12 000 munkahely megszüntetését tervezi, és további 35 000 alkalmazott javadalmazását kívánja csökkenteni. Az Egyesült Királyság meghatározó légi fuvarozójának körülbelül 45 ezer alkalmazottja volt koronavírusjárvány-válságot megelőzően.²⁵ A rivális brit légitársaság a Virgin Atlantic már 2020. május elején bejelentette, hogy háromezer ötszáz munkavállalóval, a jelenlegi létszámának mintegy egyharmadával csökkenti a foglalkoztatottjainak a számát.²⁶ A skandináv SAS légitársaság 2020. április végén közölte, hogy alkalmazottaiból 5000 embert, vagyis a 11 000 fős vírus előtti foglalkoztatottjainak közel felét véglegesen elbocsátják.²⁷ A TAP Air Portugal légitársaság 2020. március végén „ideiglenesen” elbocsátotta munkavállalóinak 90%-át. A koronavírus-járvány előtt a portugál légitársaságnak még mintegy 14 000 alkalmazottja volt.²⁸

Már 2020. március közepén a Norwegian légitársaság felfüggesztette szolgáltatásainak többségét, és elbocsátott 7300 alkalmazottat, az összes munkavállalójának mintegy 90%-át, és végül „hibernált állapotba” került.²⁹ Európa legnagyobb fapados szolgáltatói közül a Ryanair arra törekszik, hogy elkerülje a mintegy 19 000 fős alkalmazottjából 3000 munkahely megszüntetését. Ezért újratárgyalta a pilótákkal és a személyzettel kötött szerződéseit.³⁰ Ezzel szemben az EasyJet 2020. május végén bejelentette, hogy az alkalmazottainak mintegy 30%-át tervezi elküldeni, mintegy 4500 főt.³¹ A Wizz Air 2020 áprilisában közölte, hogy létszámának mintegy ötödével, nagyjából ezer fővel csökkenti az alkalmazottainak számát.³² Oroszországban a munkahelyek védelmét célzó kormányzati támogatási csomag azt eredményezte, hogy az orosz légi fuvarozók, köztük az Aeroflot is, eddig még nem épített le véglegesen munkahelyeket a légitársaságnál.³³

Tim Clark, az Emirates Airline elnöke 2020. július 11-én a BBC World News-nak mondta el, hogy a légitársaság a foglalkoztatottjainak számát várhatóan mintegy 15%-kal csökkenti a koronavírus-válság következtében. Ez körülbelül 9000 munkahelyet jelent az Emirates által foglalkoztatott 60 000 főből, akik még a világjárvány előtt kerültek a légitársasághoz. Ez 3000-rel több annál a 6000 főnél, amelyről a légitársaság már korábban bejelentette, hogy meg kíván válni.³⁴ A Qatar Airways 2020 májusában a közel-keleti légitársaság munkavállalóinak mintegy ötödét, 9000 fő elküldését jelentette be az általa

²⁴ Lewis Harper: Lufthansa halves new-aircraft intake and cuts jobs. *Flight Global Strategy*, 2020c július 7.

²⁵ David Kaminski-Morrow: Committee accuses BA of 'calculated' bid to shed staff during crisis. *Flight Global Strategy*, 2020a június 13.

²⁶ Graham Dunn: Virgin Atlantic eyes profit from 2022 after sealing vital £1.2bn refinancing. *Flight Global Strategy*, 2020c július 14.

²⁷ Graham Dunn: SAS initiates work on cutting up to 5,000 jobs. *Flight Global Strategy*, 2020a április 28.

²⁸ Cirium: TAP to cut more aircraft as losses mount. *Flight Global Strategy*, 2020. június 30.

²⁹ Cirium: Norwegian to cancel 85% of flights and temporarily lay off 90% of staff. *Flight Global Strategy*, 2020. március 16.

³⁰ Cirium: UK cabin crew join Ryanair pilots in accepting temporary pay cuts. *Flight Global Strategy*, 2020. július 8.

³¹ Graham Dunn: European carriers aim to cut their way through the crisis. *Flight Global Strategy*, 2020b június 2.

³² Harper (2020b) i. m.

³³ David Kaminski-Morrow (2020b) i. m.

³⁴ Jonathan Josephs: Corona virus: Emirates set to cut 9,000 jobs citing pandemic. BBC News, 2020. július 10.

foglalkoztatott 45 000 alkalmazottból.³⁵ Más jelentések szerint az Etihad légitársaság több 100 alkalmazottat bocsátott el eddig.³⁶ Ezzel szemben a Turkish Airlines egyelőre még nem jelentett be jelentős létszámleépítést.³⁷

A legnagyobb ausztráliai légitársaságok közül a Qantas 2020. június végén jelentette be, hogy a vállalatcsoport átszervezésével 6000 alkalmazottja kerül elbocsátásra. A Qantas emellett további 15 000 olyan alkalmazottját tette átmenetileg parkolópályára, akiknek többsége a nemzetközi műveletekhez kapcsolódik, amíg a repülés újra nem indul. A csoportnak valamivel több mint 30 000 alkalmazottja volt még a járványválság előtt.³⁸ Az Air New Zealand 2020. június elejéig mintegy 4000 alkalmazottal csökkentette létszámát a válság előtti mintegy 12 500 főről. A társaság további munkahelyek megszüntetésére számít, de nem feltétlenül kényszerű elbocsátásokkal kívánja azokat végrehajtani.³⁹ Jelenleg még nem világos, hogy Virgin Australia légitársaság eladása a Bain Capital befektetőcsoport számára további munkahelyek elvesztését eredményezi-e a túlélésért küzdő csoportnál, amely 2020. áprilisában lépett „önkéntes csökkentett üzemmódba”.⁴⁰

Az ázsiai légitársaságoknál sokkal kevesebben jelentettek be leépítéseket, a főbb szereplők közül a Singapore Airlinesnál és a Cathay Pacificnél például eddig csupán csak annyit közöltek, hogy egyelőre más költségmegtakarító intézkedésekkel, például fizetés nélküli szabadságra küldéssel és ideiglenes bércsökkentésekkel kívánják elkerülni a kötelező elbocsátásokat.⁴¹ Számos esetben a régió fuvarozóinak a kormányaik nyújtottak segítséget, sokszor jelentős pénzügyi támogatást is adva a légitársaságoknak a válsághelyzetből való kilábalásukhoz.⁴² Valójában a régió többi nagy fuvarozója, köztük az ANA, a China Airlines, a Garuda Indonesia, a Japan Airlines, a Korean Air és a Malaysia Airlines is számos intézkedést vezetett már be eddig is a munkával kapcsolatos költségeik csökkentése érdekében, de mindezeket nem tették nyilvánossá. Hasonlóan történt ez Indiában is, ahol a légi fuvarozók, köztük az Air India, az IndiGo és a SpiceJet, eddig a fizetések csökkentését és a fizetés nélküli szabadságot választották megoldásul a válság kezelésére, és nem pedig a személyzet elbocsátását.⁴³ Egyelőre nem tudni azt sem, hogy a Thai Airways által végrehajtott „üzleti rehabilitáció” munkahelyek megszüntetéséhez fog-e vezetni, vagy sem.⁴⁴ Kínában a nagy szolgáltatók, köztük az Air

³⁵ Max Kingsley-Jones: Qatar plans near 20% staff and fleet cuts; pledges support for investments. *Flight Global Strategy*, 2020b május 13.

³⁶ Aziz El Yaakoubi – Alexander Cornwell: Abu Dhabi's cuts hundreds of jobs: sources. *Reuters*, 2020. május 19.

³⁷ Harper (2020b) i. m.

³⁸ Alfred Chua: Qantas to retire 747s immediately, axe 6,000 staff in three year recovery plan. *Flight Global Strategy*, 2020b június 25.

³⁹ Greg Waldron: Air New Zealand dubious about long-haul flights before 2021. *Flight Global Strategy*, 8 June 2020.

⁴⁰ Cirium: Bain Capital wins bid for Virgin Australia. *Flight Global Strategy*, 26 June 2020.

⁴¹ Alfred Chua: Cathay shareholders approve HK\$39 billion bailout plan. *Flight Global Strategy*, 2020a július 13.

⁴² Cirium: Assessing government support for Asia-Pacific carriers. *Flight Global Strategy*, 17 June 2020.

⁴³ Harper (2020b) i. m.

⁴⁴ Cirium: Assessing government support for Asia-Pacific carriers. *Flight Global Strategy*, 17 June 2020.

China, a China Eastern, a China Southern és a HNA Group, mindeddig még nem hoztak nyilvánosságra létszámcsökkentést. A magántulajdonban lévő AirAsia Group azonban komoly kihívásokkal néz szembe,⁴⁵ amikor túl akarja élni a válságot, és emiatt a 23 000 alkalmazottjának körülbelül 7,5%-ától kellett már eddig is megválnia.⁴⁶

Végül Afrika legnagyobb légitársasága, az Ethiopian Airlines 2020. április elején közölte, hogy az állandó alkalmazottaik elbocsátásáról szóló hírek tévesek voltak. A régóta szenvedő South African Airways pedig szerkezetátalakításra készül, amely mindössze ezer alkalmazottat fog érinteni, a korábban közölt közel 5000 alkalmazottal szemben. Ennek a légitársaságnak a pénzügyi problémái azonban már jóval a koronavírus kitörése előtt elkezdtek.⁴⁷

Még legalább három vagy négy évnek kell eltelnie, mire az iparág a legtöbb előrejelzés alapján újra elérheti a kereslet 2019-es szintjét, és rendkívül bizonytalanok a rövid távú kilátások, mivel a koronavírus-esetek ma még folyamatosan nőnek az egész világon. Jelenleg még nem lehet tudni, hogy milyen drasztikus intézkedések fognak történni ezután az ágazatban dolgozó alkalmazottak további leépítésére, illetve a bérük csökkentésére vonatkozóan az egyes régiókban.

A Covid-járvány hatásai a repülőterekre

Az Airports Council International (ACI) World 2020. augusztus 31-én publikált elemzése szerint a repülőtéri iparban 2020-ra 59,6%-os csökkenés várható az utasok mennyiségében a tervezett kiindulási ponthoz képest (Covid előtti előrejelzés 2020-ra), és az utasok 58,4%-os csökkenése várható 2019-hez képest. Ez egyenértékű az utasok számának évi 5,6 milliárd fős csökkenésével. Az ACI által végzett elemzés megállapította azt is, hogy a Covid-19-járvány hatására az iparág példátlan, 104,5 milliárd dolláros bevételcsökkenést szenvedhet el 2020-ig.⁴⁸ A világ repülőtereiről gyűjtött legátfogóbb forgalmi adatok azt mutatják, hogy a Covid-19-járvány légi közlekedésre gyakorolt hatása már januárban megjelent. A globális utasforgalom csak +2,1%-kal nőtt 2020 januárjában, 1,6 százalékponttal volt alacsonyabb az előző havi +3,7%-nál, és elmaradt az előző hat hónap átlagos növekedési ütemétől (+2,6%). A regisztrált utasforgalom szintén több mint egy százalékponttal (-1,2%) volt alacsonyabb a korábbi havi előrejelzéshez képest. Február volt az első hónap, amikor a globális utasforgalom volumene éves szinten már 13,9%-kal csökkent, ez volt az első kétszámjegyű csökkenés a 2001. szeptember 11-ei terrortámadások óta.⁴⁹

⁴⁵ Greg Waldron: Auditor questions AirAsia Group's survival. *Flight Global Strategy*, 2020b július 8.

⁴⁶ The Asean Post: *Air Asia to emerge stronger for pandemic: Fernandes*. 2020. július 13.

⁴⁷ Lewis Harper: Creditors approve South African Airways Rescue Plan. *Flight Global Strategy*, 2020a július 14.

⁴⁸ ACI: *ACI analysis shows vanishing traffic, collapsing revenues, and rising risk*. 2020. Augusztus 31.

⁴⁹ ACI: *The impact of Covid-19 on the airport business*. ACI Advisory Bulletin. Montreal, 2020. Augusztus 31.

8. táblázat: Havi repülőtéri forgalmi adatok 2020 januárjától júniusig 2019-hez képest (millió)

	Jan.	Febr.	Márc.	1. n év	Ápr.	Máj.	Jún.	2. n év
Utasforgalom 2019 (fő)	697	653	743	2093	747	766	802	2 315
Utasforgalom 2020 (fő)	711	562	322	1595	47	74	126	247
Éves változás	2,1%	-13,9%	-56,7%	-23,8%	-93,7%	-90,3%	-84,3%	-89,3%
Eltérés a korábbi előrejelzéstől	-1,2%	-17,2%	-58,2%	-26,4%	-93,9%	-90,7%	-84,6%	-89,6%
Áruforgalom 2019 (t)	9,7	8,4	10,9	28,9	9,8	10,1	9,6	29,5
Áruforgalom 2020 (t)	9,3	8,3	9,0	26,6	7,5	8,3	8,5	24,3
Éves változás	-4,4%	-0,4%	-16,9%	-7,9%	-23,8%	-17,3%	-11,3%	-17,5%
Eltérés a korábbi előrejelzéstől	-3,3%	-1,6%	-14,8%	-7,1%	-24,3%	-17,5%	-13,4%	-18,4%

Forrás: ACI⁵⁰ alapján a szerző szerkesztése

Ahogy a Covid-19-járvány gyorsan előrehaladt, az utazási korlátozások és a nemzeti utazási szabályok szigorításának bevezetése hatására március végéig az utasforgalom kevesebb mint a felére esett vissza a 2019. évihez képest. Globális szinten az utasforgalom éves összehasonlításban 56,7%-kal csökkent március hónapban, és 58,2%-kal a szokásos üzletmenet szerinti (BAU – business-as-usual) paradigma alapján készített előrejelzéshez képest. A két szám közötti különbség a válság előtt elképzelt, még nem realizált növekedési potenciált tükrözi. Áprilisban az utasforgalom globális szinten 93,7%-kal csökkent 2019 áprilisához képest, és mélypontot ért el. Európában ekkor a polgári repülési tevékenység gyakorlatilag leállt, mivel az utasforgalom mennyisége 98,4%-kal csökkent éves szinten.

Május kis mértékű fellendülést jelentett a kereskedelmi polgári repülési tevékenységben az előző havihoz képest. Számos piacon, különösen azokon, amelyek jelentős hazai bázissal rendelkeznek – jellemzően nagy népességű és hatalmas földrajzú kiterjedésű országokban –, megkezdődött a belföldi útvonalak fokozatos újranyitása. Május hónapban az utasforgalom a becslések szerint 90,3%-kal csökkent az előző évhez képest. Júniusban folytatódott az enyhe gyógyulási tendencia. Ekkor több ország kezdte meg újranyitni a kiválasztott nemzetközi útvonalait is. A forgalom ebben a hónapban 84,3%-kal csökkent a megelőző évhez képest. Az utasforgalom volumene 2020 második negyedévében összességében 89,3%-kal csökkent a 2019. évihez képest, és 89,6%-kal a 2020-ra tervezett alap (BAU) előrejelzéshez mérten. Abszolút értékben az utasforgalom csökkenése 2020 első két negyedévében az ACI becslései szerint 2,6 milliárd fő volt.⁵¹

Az áruforgalom sem volt mentes a globális egészségügyi válságtól. Annak ellenére, hogy az egyéni védőeszközök (Personal Protective Equipment [PPE]) szállítása iránti kereslet miatt jelentős légi közlekedési igény jelentkezett, különösen március, április és május hónapokban, a hatás rövid életű volt, és nem tudta ellensúlyozni a nagyobb és hosszabb csökkenő tendenciákat.

⁵⁰ ACI: *The impact of Covid-19 on the airport business*. (2020) i. m. 5.

⁵¹ ACI: *The impact of Covid-19 on the airport business*. ACI Advisory Bulletin. Montreal, 31 August 2020. 4.

Még a globális járvány kezdete előtti 2019 volt a legrosszabb év a légi áru fuvarozási üzletág számára a nagy recesszió és különösen a 2009-es év óta. A nemzetközi kereskedelem marginálisan, 0,9%-kal nőtt 2019-ben, ami a gazdaságok GDP-jének lassuló növekedését tükrözte. A kereskedelmi háborúk fokozódásával, a fogyasztói és vállalati bizalom csökkenésével, valamint az exportrendelések csökkenésével a légi áruszállítás iránti kereslet is lelassult. A légi áruk értéke a világ árukereskedelmének több mint egyharmadát teszi ki, ezáltal a légi áru fuvarozás szintje a gazdasági tevékenységek széles körben figyelt és számon tartott kulcsfontosságú mutatója. Hagyományosan a légi teherszállítás erősebb kapcsolatot mutat a GDP-vel, mint az utasforgalom. Ezért is lényeges, hogy abszolút értékben a légi áru mennyisége becslések szerint 7,5 millió t-val csökkent 2020. első felében, ami 12,8%-os csökkenésnek felel meg az előző évhez képest.

A légi forgalom a repülőtéri üzletág létfontosságú eleme. A repülőterek az összes bevételük több mint 95%-át két működési forrásból – a két elsődleges üzleti tevékenységükből –, azaz a repülési és az ezekhez kapcsolódó kereskedelmi szolgáltatásokból nyerik. A jövedelmük fennmaradó 5%-a nem üzemeltetési jellegű forrásokból származik, és nem függ össze közvetlenül a repülőterek által lebonyolított forgalom mennyiségével.

Gyakorlatilag azonban az összes légi közlekedési bevételük a forgalom alakulásának közvetlen függvénye: az utasok által fizetett és a repülőgép-üzemeltetők által fizetett díjak. A repülési bevételek további része a légi közlekedéshez kapcsolódó járulékos szolgáltatások nyújtásából származik, mint például a földi kiszolgálások esetében. Ahogy a forgalom csökkent, az ezekből származó bevételek is csökkentek. A válság előtt a repülőtéri ágazat várható termelése mintegy 172 milliárd dollár volt. Összhangban a korábbi szezonális mintákkal a forgalom nagy része a második és a harmadik negyedévre koncentrálódott, normál körülmények között a világ repülőterei az éves bevételük zömét áprilistól szeptemberig termelték ki. Ezzel szemben jelenleg éppen ellenkezőleg, a becslések szerint ezt a két negyedévet rekord veszteségek sújtották, 39,5, illetve 33,6 milliárd dolláros veszteséget szenvedtek el a repülőterek ebben az időszakban 2020-ban.

9. táblázat: A Covid-19-járvány-válság hatása a negyedéves repülőtéri bevételekre régióként 2020-ban (millió USA-dollár)

Régió	1. n. év	2. n. év	3. n. év	4. n. év	2020
Járvány előtti becslés					
Afrika	1 000	1 000	1 200	1 100	4 300
Ázsia/Oceánia	12 400	12 200	12 600	12 700	49 900
Európa	11 600	15 700	18 500	13 500	59 300
Latin-Amerika	2 700	2 500	2 700	2 600	10 500
Közel-Kelet	3 300	3 100	3 600	3 200	13 200
Észak-Amerika	8 900	9 000	9 100	8 600	34 700
Világ	39 000	43 500	47 700	41 700	171 900

Régió	1. n. év	2. n. év	3. n. év	4. n. év	2020
A járványhatással korrigált becslés					
Afrika	800	30	300	600	1 730
Ázsia/Óceánia	7 800	2 100	4 900	7 500	22 300
Európa	8 800	600	4 600	6 500	20 500
Latin-Amerika	2 200	200	700	900	4 000
Közel-Kelet	2 700	100	800	1 600	5 200
Észak-Amerika	6 400	1 000	2 800	3 500	13 700
Világ	28 700	4 030	14 100	20 600	67 430
Változás					
Afrika	-200	-970	-900	-500	-2 570
Ázsia/Óceánia	-4 600	-10 100	-7 700	-5 200	-27 600
Európa	-2 800	-15 100	-13 900	-7 000	-38 800
Latin-Amerika	-500	-2 300	-2 000	-1 700	-6 500
Közel-Kelet	-600	-3 000	-2 800	-1 600	-8 000
Észak-Amerika	-1 600	-8 000	-6 300	-5 100	-21 000
Világ	-10 300	-39 470	-33 600	-21 100	-104 470

Forrás: ACI⁵² alapján a szerző szerkesztése

Az európai és az ázsiai-csendes-óceáni repülőtereket különösen súlyosan érintette a Covid-19-járvány által kiváltott légi közlekedési ágazat válsága, amely csak a harmadik negyedévben 13,9, illetve 7,7 milliárd dollárt veszített rajta. A három fő légi közlekedési piac, az európai, ázsiai és csendes-óceáni, illetve észak-amerikai repülőterek a teljes 2020-as évben várhatóan 38,8, 27,6, illetve 21,0 milliárd dolláros bevételkieséssel számolhatnak. A többi légi közlekedési piacnak, nevezetesen a közel-keletinek, a latin-amerikainak és az afrikainak 8,0; 6,5, illetve 2,6 milliárd dolláros bevételkieséssel kell kalkulálnia 2019-hez képest.

A Covid-járvány hatásai a légi forgalmi irányításra

Az európai légi forgalom koordinálásáért és szervezéséért felelős szervezet az EUROCONTROL folyamatosan, hathetente értékeli a járvány hatásait, és összegzi a járványból való kilábalás útjaira vonatkozó javaslatokat. Ennek során 350 légitársaság, 68 területi irányítóközpont (ACC), 55 repülőtér és 43 ország adatait összesítik. Az ez alapján létrehozott aktuális hálózati helyreállítási tervet ezt követően minden érdekelt fél felülvizsgálja, és az esetleges javaslatait, megjegyzéseit eljuttatja az EUROCONTROL hálózatmenedzserének összesítésre.⁵³ Az EUROCONTROL hálózatmenedzserének folyamatosan aktualizált helyreállítási terve fontos szerepet játszik az európai repülés ismételt fellendítésében azáltal, hogy a repülés kulcsfontosságú szereplőinek átfogó képet nyújt a haté-

⁵² ACI: *The impact of Covid-19 on the airport business*. ACI Advisory Bulletin. Montreal, 2020. Augusztus 31.

⁵³ EUROCONTROL: *Charting the latest network status: EUROCONTROL NM publishes latest Network Recovery Plan*. 2020. október 16.

kony tervezéshez. Ennek során az EUROCONTROL gyakorlatilag a légitársaságokkal van kapcsolatban, akik hathetente közzétesznek egy olyan „wishlist”-et, vagyis várható menetrendi tervet, amely az egyes országok NOTAM-jában⁵⁴ közzétett korlátozásokat tartalmazza. Ez a hathetes terv az idő előrehaladásával folyamatosan aktualizálódik, a tervezett repülések végrehajtásával.⁵⁵

A 2020. október 24-i helyreállítási terv előrejelzése szerint a forgalmi kilátások a nyári menetrendidőszak végéig (2020. október 24-ig) általában stabil forgalmi szintet mutatnak, a csúcnapokon elérte a 16 ezer járatot – a forgalom körülbelül 45%-át 2019 hasonló időszakához képest. Október utolsó hetétől kezdődően a kereslet várhatóan az ilyenkor szokásos szezonális visszalépést mutatja. Számos repülőtér november közepéig frissítette a résidőkre vonatkozó információkat, a nagyobb fuvarozók és több helyi üzemeltető pedig már közzétette téli menetrendjét. Ugyanakkor ma még mindig kevés olyan légitársaság van, amelyik teljes mértékben tisztázta volna a téli terveit. A forgalmi kilátások azonban nagymértékben függenek az állami korlátozások alakulásától, valamint a légitársaságok menetrendjének későbbi frissítésétől is.

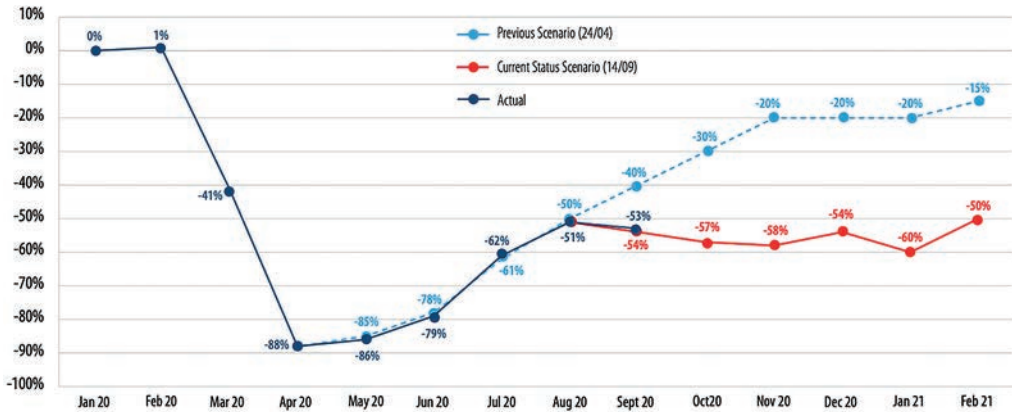
Annak ellenére, hogy a téli forgalom iránti kereslet ma még nem világos, az kijelenthető, hogy az európai repülőterek kapacitása elegendőnek tekinthető. A Covid egészségügyi intézkedéseknek nem volt észrevehető hatása a repülőterek kapacitására. A helyreállítási terv fő kérdése továbbra is az utasok és a fuvarozók bizalmának alakulása maradt a Covid-19-járványra adott különböző és koordinálatlan állami válaszokkal kapcsolatban.

Lényegesen kisebb forgalomra számít az EUROCONTROL a 2020. szeptember 14-én publikált előrejelzése szerint a járvány miatt bevezetett újabb utazási korlátozások miatt. Az EUROCONTROL ennek megfelelően lefelé módosította 2021 februárjáig szóló korábbi forgalmi forgatókönyv tervezetét. Az új „Jelenlegi státusz-forgatókönyve” alapján az Európában várható összes járatok száma 55%-kal lesz alacsonyabb, mint 2019-ben, tehát mintegy 6 millió járattal kevesebbel számol az új előrejelzés. Az elkövetkező hat hónapban pedig a korábban vártnál 1 millióval lesz kisebb a légi forgalom az európai járatoknál.

Az EUROCONTROL korábban 2020. április 24-én készítette el a forgalmi forgatókönyv tervezeteit, az „összehangolt intézkedések forgatókönyve” néven, amely április és augusztus vége között nagyon pontos maradt, és az áprilisi –89%-ról augusztusban –50%-ra történő fokozatos helyreállást jósolt. Ez az előrejelzés helyes volt ($\pm 1\%$ minden hónapban). Ez a forgatókönyv 45%-kal, vagyis 5 000 000-val kevesebb járatot jelzett előre. Ez a forgatókönyv azt is feltételezte, hogy ha a tendencia pozitív marad, akkor a fokozatos fellendülés folytatódhat 2020 hátralévő részében is, és egyes kontinentális műveletek helyreállítását feltételezte.

⁵⁴ NOTAM: bármely légi forgalmi berendezés, szolgálat, eljárás létesítéséről, állapotáról, változásáról vagy veszély fennállásáról szóló értesítés, amelynek idejében való ismerete elengedhetetlenül szükséges a repülésben érdekelt személyzet részére. Lásd <https://lisztferihegy0.webnode.hu/a-repulesrol/a-repuloteren/alapismmeretek-i/>

⁵⁵ EUROCONTROL: *European Network Operations Plan 2020 Recovery Plan. Edition 1.24.* 2020. október 16.



1. ábra: Forgalmi forgatókönyvek tervezete – 2020. szeptember 14. (2019/2020 bázisév)

Forrás: EUROCONTROL⁵⁶

Mindazonáltal a Covid-19-járvány második hullámára reagálva 2020. augusztus közepe óta Európában, az egyes államok egyedi és koordinálatlan nemzeti korlátozásokat, karanténkövetelményeket és vizsgálati intézkedéseket vezettek be, amelyek elsősorban a nemzeti járványügyi értékeléseknek és a nemzeti egészségügyi intézkedéseknek felelnek meg. Ezeket az intézkedéseket gyakran csak bevezetésük előtt nagyon rövid időn belül jelentik be. Az államok ezen „összehangolatlan megközelítése” sok zavart idézett elő eddig is, és jelentősen hozzájárult az utasok bizalmának nagyfokú csökkenéséhez. Az elkövetkező hónapokban a légitársaságoknak növekvő kihívásokkal kell számolniuk, mivel az előre történő foglalások rendkívül alacsonyak voltak. Szeptember 13-ig a forgalom már 53%-kal csökkent ebben a hónapban 2019 azonos időszakához képest, ami már 13%-kal alacsonyabb volt, mint az előző „Koordinált intézkedések forgatókönyvének” megfelelő EUROCONTROL teljes hónapra vonatkozó előrejelzés szerinti értéke szeptemberre.

Mindezeket figyelembe véve a „Jelenlegi helyzet forgatókönyv” feltételezi annak valószínűségét, hogy:

- az államok továbbra is koordinálatlanul reagálnak a határokon átnyúló légi utazásokra;
- a Covid-19-járvány bizonytalansága, kiszámíthatatlansága következtében a szabadidős és üzleti utasszállítási igény továbbra is rendkívül alacsony és bizonytalan marad az állami korlátozások/karanténintézkedések miatt;
- a légitársaságok tovább csökkentik a kapacitásaikat az előre történő foglalások összeomlására reagálva; és
- a kontinentális műveletek helyreállítása továbbra is nagyon korlátozott marad.

⁵⁶ EUROCONTROL: *EUROCONTROL Revises Downwards Draft Traffic Scenarios for September to February 2021*. Brussels, 2020. szeptember 14.

A fentieket figyelembe véve a légitársaságok, a repülőterek és a légi navigációs szolgáltatók (Air Navigation Service Providers [ANSPs]) esetében megközelítőleg 140 milliárd euró bevételkiesés várható Európában 2020-ban, az április 24-én becsült 110 milliárd eurós veszteséghez képest.⁵⁷

A Covid-járvány hatása más, a repülési iparághoz kapcsolódó ágazatra

A légitársaságok problémái mára áttérjedtek számos, a repülési ágazathoz kapcsolódó vállalkozásra, a repülőgépgyártókra és a beszállítóik ezreit tömörítő hálózatokra is, mivel a koronavírus-járvány lecsökkentette az új repülőgépek iránti keresletet is. Ezért a két legnagyobb repülőgépgyártó az Airbus és a Boeing egyaránt úgy döntött, hogy drasztikusan mérsékli az általa gyártani tervezett repülőgépek számát. Az Aerospace Industries Association becslése szerint a repülőgépgyártó ágazatban több mint 200 000 munkahely került veszélybe. A Boeing és az Airbus repülőgépeihez egyaránt motorokat gyártó General Electric eddig a munkahelyek negyedét építette le, azaz 13 000 embert küldött el az ohioi székhelyű repülési egységéből. A kanadai Wichitában található Spirit Aerosystems 2020. augusztus elején közölte, hogy több mint ezer további munkahelyet szüntet meg, miután a Boeing csökkentette tervezett termelési céljait. Így a vállalatnál a munkahelycsökkentések száma mintegy 8000-re nőtt 2020-ban. A repülési iparág mintegy 10 millió munkahelyet tart fenn, az Egyesült Államok legnagyobb légitársaságait is képviselő Airlines for America kereskedelmi érdekvédelmi csoport szerint. Ezek közül több mint 6 millió munkahely az idegenforgalomban és a vendéglátásban található.⁵⁸

Az alábbiakban bemutatok néhány példát arra, hogy különféle turisztikai szervezetek milyen módon támogatták az egyes európai uniós országok, amelyből kitűnik, hogy az utazási korlátozások nemcsak a légitársaságokra, hanem az idegenforgalomban működő szolgáltatókra is súlyos csapást mértek.

Az Európai Bizottság 2020. július 24. hagyott jóvá egy 28 millió eurós (55 millió BGN) bolgár programot, amely a koronavírus kitörésével összefüggésben bevezetett korlátozások miatt korlátozott vagy tevékenységüket felfüggeszteni kényszerített utazásszervezőket támogatja.⁵⁹ A program közvetlen támogatás formájában valósul meg. Az intézkedés minden utazásszervező és fuvarozó előtt nyitva áll, a regisztráció országtól függetlenül, és minden utazó előtt, származási országától függetlenül elérhető. Az intézkedés célja a bejövő turizmus ösztönzése.⁶⁰ Az Európai Bizottság 2020. szeptember 11-én hagyta jóvá azt az egymillió eurós litván támogatási rendszert, amely a litván állampolgárok a koronavírus kitörése miatt szükségessé vált hazatelepítésének támogatására jött létre.⁶¹

⁵⁷ EUROCONTROL: *EUROCONTROL revises downwards draft traffic scenarios for September to February 2021*. (2020) i. m.

⁵⁸ Josephs (2020) i. m.

⁵⁹ European Commission: *Competition. SA.58050 State aid for tour operators*.

⁶⁰ European Commission: *Daily News 27. 07. 2020. State aid: Commission approves €28 million Bulgarian scheme in support of tour operators affected by the corona virus outbreak*.

⁶¹ European Commission: *Competition. SA.58476 Covid-19 compensation for tour operators*.

Az állami támogatás közvetlen támogatások formájában valósult meg, és az utazásszervezők azon költségeinek 75%-a tette ki, amelyek a litván állampolgárok külföldről történő hazaszállításával kapcsolatosan 2020. február 26. és március 31. között felmerült.⁶² Az Európai Bizottság 2020. szeptember 21-én hagyta jóvá a koronavírus kitörése által érintett turisztikai és kulturális ágazatban működő vállalatok támogatására szolgáló 193 millió eurós lengyel programot.⁶³ A közvetlen támogatások formájában nyújtott támogatás azokat az idegenforgalmi és kulturális ágazatban működő vállalkozásokat támogatja, amelyeknek a koronavírus kitörése miatt meg kellett szakítaniuk tevékenységüket. Azoknak az idegenforgalmi és kulturális ágazatban tevékenykedő vállalatoknak a járulékfizetési kötelezettség alóli mentességét támogatja, amelyek a járvány kitörése miatt bevételeik több mint 80%-át elvesztették.⁶⁴ Az Európai Bizottság 2020. október 9-én hagyta jóvá a brüsszeli szállodák és apart-hotelek koronavírus-kitörésével összefüggő 15,8 millió euró értékű belga támogatási programját.⁶⁵ Az állami támogatás közvetlen támogatás formájában történik, minimum 20 000 euró vagy maximum 200 000 euró lehet szállodánként vagy apart-hotelenként. E támogatások célja az érintett szállodák és apart-hotelek támogatása az elmaradt jövedelmeik és a folyamatos működési költségeik, például a biztosítás, a karbantartás és a biztonság költségei miatt.⁶⁶

Állami intézkedések a Covid-járvány negatív hatásainak mérséklésére

Az Egyesült Államokban egyre növekvő koronavírus-esetek és a szövetségi CARES – Coronavirus Aid, Relief, and Economic Security – törvény 2020. októberi lejárata miatt akár több tízezer is elveszíthetik az állásukat az amerikai légitársaságoknál a negyedik negyedévben.⁶⁷ Ezt a több mint 2 billió dolláros gazdasági segélycsomagot a Trump-kormány az amerikai nép a Covid-19 közegészségügyi és gazdasági hatásaitól való védelme érdekében hozta létre.⁶⁸ Az Egyesült Államok munkavállalói, ezen belül a légitársaságai a bértámogatásért cserébe vállalták, hogy nem építik le a járvány miatt feleslegessé vált munkavállalóikat. A törvény hatálya azonban 2020 októberében lejárt, és habár történtek próbálkozások egy újabb mentőcsomag létrehozásáról, ez azonban nem járt sikerrel. Az amerikai légitársaságok több mint 75 000 alkalmazottat figyelmeztettek

⁶² European Commission: *Daily News*, 14. 09. 2020. *State aid: Commission approves €1 million Lithuanian scheme to support tour operators repatriating travelers in context of corona virus outbreak.*

⁶³ European Commission: *Competition*. SA.58102 COVID-19 support to tour operators and other undertakings active in tourism and culture.

⁶⁴ European Commission: *Daily News* 22. 09. 2020. *State aid: Commission approves €193 million Polish scheme to support companies operating in the tourism and cultural sector affected by coronavirus outbreak.*

⁶⁵ European Commission: *Competition*. SA.58763 Belgium – COVID-19: Aid to hotels and apart hotels.

⁶⁶ European Commission: *Daily News* 09. 10. 2020. *State aid: Commission approves €15.8 million Belgian scheme to support hotels and apart hotels in Brussels in context of corona virus outbreak.*

⁶⁷ Harper (2020b) i. m.

⁶⁸ Mint ismeretes, a koronavírus-segélyekről, -könnyítésekről és gazdasági biztonságról szóló CARES-(Coronavirus Aid, Relief, and Economic Security) törvényt az amerikai kongresszus elsőprő, kétpárti támogatással fogadta el, és Trump elnök 2020. március 27-én írta alá. Lásd <https://home.treasury.gov/policy-issues/cares>

arra, hogy munkahelyük veszélyben van október 1-jén, amikor lejár egy 25 milliárd dolláros szövetségi segélycsomag, amely védi az utasszállító munkavállalók fizetését és munkahelyeit. A légitársaságok szakszervezetei és később a cégvezetői kérésére egy további 25 milliárd dollár nagyságú segélycsomag is kétpárti támogatást nyert el a törvényhozóktól és Donald Trump elnöktől is a munkahelyek megtartása érdekében. De az amerikai kongresszusnak és a Fehér Háznak nem sikerült mindeddig megállapodnia az új nemzeti segélycsomagról, amely magában foglalná a légitársaságok további támogatását. A légi közlekedés nehézségei és az új segélycsomag hiánya miatt az alkalmazottak kétségbeestek. Az amerikai személy- és teherszállítók együttesen mintegy 700 000 embert foglalkoztatnak, de más munkahelyek is veszélybe kerülhetnek.⁶⁹

A Covid-járvány drámai módon megnövelte az állami támogatásokat néhány európai légitársaság számára is. A Lufthansa és leányvállalatai mellett az állami támogatások legjelentősebb kedvezményezettjei az Air France – KLM, a Norwegian, az Alitalia, a TAP Air Portugal, az airBaltic és a SAS voltak. A hitelek és hitelgaranciák tették ki az állami támogatások egy részét, de több légitársaság, mint a Lufthansa, az Alitalia, az airBaltic, a SAS és a Finnair tőkejuttatásban is részesült. Horvátország, Lengyelország, Románia és Szerbia kormánya is a nemzeti légitársasága állami támogatása mellett döntött, de amíg Horvátország egyúttal stratégiai partnert is keres a nemzeti légitársasága megtámogatásához, addig a szerb kormány éppen ellenkezőleg, nemzeti légitársasága, az Air Serbia újraállamosításáról döntött, és arra adott utasítást, hogy az Etihad légitársaság kezében lévő 49%-os tulajdoni rész visszavásárlásra kerüljön.⁷⁰

Az állami támogatások torzíthatják a versenyt, de egyúttal korlátozhatják a kedvezményezetteket is. A támogatások feltételei sokszor a visszatérítés szükségessége és gyakran a költségek és a kapacitások csökkentése, a szigorúbb környezetvédelmi normák betartása, valamint az alkalmazottak bérének felső korlátozása.

Az Európai Bizottság 2020. június 23-án hagyta jóvá azokat a német terveket, amelyek keretében 6 milliárd euróval kívánnak hozzájárulni a Lufthansa csoport anyavállalatának, a Deutsche Lufthansa AG (DLH) feltőkésítéséhez. Az intézkedést az Európai Bizottság az általa 2020. március 19-én elfogadott és 2020. április 3-án, illetve 2020. május 8-án módosított állami támogatási ideiglenes keret alapján hagyta jóvá.⁷¹ A feltőkésítési intézkedés egy nagyobb támogatási csomag része, amely állami garanciát is tartalmaz egy 3 milliárd eurós hitelre, amelyet Németország egyedi támogatásként tervez nyújtani a Lufthansának.⁷²

⁶⁹ J. Josephs (2020) i. m.

⁷⁰ Centre of Aviation (CAPA): *COVID-19 prompts dramatic increase in state aid to (some) European airlines*. 2020. Szeptember 08.

⁷¹ EUR-Lex: *Communication from the Commission. Temporary framework for state aid measures to support the economy in the current COVID-19 outbreak* (2020/C 91 I/01); illetve *Communication from the Commission. Amendment to the temporary framework for state aid measures to support the economy in the current COVID-19 outbreak* (2020/C 112 I/01); valamint *Communication from the Commission. Amendment to the temporary framework for state aid measures to support the economy in the current COVID-19 outbreak*.

⁷² European Commission: *Competition. SA.57153 COVID-19 – Aid to Lufthansa*.

Németország az ideiglenes keret keretében bejelentette a Bizottságnak a Lufthansa-csoport 6 milliárd eurós feltőkésítését. Az Európai Bizottságnak benyújtott terv a következőket tartalmazta:⁷³

- 300 millió euró részvénytőke-részesedés az állam részvényeinek új jegyzésével, amely a DLH alaptőkéje 20%-ának felel meg;
- 4,7 milliárd euró csendes részesedés egy nem átváltható tőkeinstrumentum jellemzőivel; és
- 1 milliárd euró csendes részesedés egy átváltható adósságinstrumentum jellemzőivel. A feltőkésítést a Gazdasági Stabilizációs Alap (Wirtschaftsstabilisierungsfond) finanszírozza, amely speciális alapot Németország alapított annak érdekében, hogy pénzügyi támogatást nyújtson a koronavírus kitörése által érintett német vállalatoknak. Az EU tagállamai és harmadik országok 2020. második negyedévében olyan utazási korlátozásokat hajtottak végre, amelyek szükségesek az egészségügyi vészhelyzet kezeléséhez. Ez az utazások súlyos visszaesését eredményezte, amely jelentős hatással volt az egész légi közlekedési ágazatra, beleértve a Lufthansa-csoport fuvarozóit is: a Deutsche Lufthansát, a Swiss Internationalt, a Brussels Airline-t, az Austrian Airline-t, az Air Dolomiti-t, az Eurowingset, a Germanwingst, az Edelweiss Airt és a SunExpress Deutschlandot. A DLH fontos szerepet játszik a német gazdaságban. Főleg azért, mert kiterjedt hazai hálózatán keresztül biztosítja a nélkülözhetetlen légi szolgáltatásokat Németországon belül. Emellett biztosítja a nemzetközi összeköttetést olyan hálózati légitársaságokon keresztül, amelyek olyan nagy központokban találhatók, mint a müncheni és a frankfurti repülőtér. A DLH légi szállításai jelentősen hozzájárulnak a külkereskedelemhez is, a német áruexport lebonyolításához, és garantálja az állampolgárok számára az áruk folyamatos áramlását ezekben a nehéz időkben.

Az Európai Bizottság a benyújtott kérelemmel kapcsolatos eljárás során többek között megállapította, hogy

- az intézkedés nem haladja meg a DLH életképességének biztosításához szükséges minimumot, és nem lépi túl a koronavírus kitörése előtti tőkehelyzet helyreállítását. A feltőkésítési intézkedés arányosságának értékelésekor a Bizottság csoportszinten figyelembe vette a DLH tőke- és likviditási szükségleteit.
- A feltőkésítési támogatás megakadályozza a DLH fizetéseképtelenségét, amelynek súlyos következményei lennének a német foglalkoztatásra, az ország nemzetközi kapcsolataira és a külkereskedelme volumenére. Az állam megfelelő díjazásban részesül a beruházásért, és további mechanizmusok vannak arra, hogy ösztönözzék a DLH-t az állam tőkerészesedésének és csendes részesedésének visszavásárlására;
- Németország benyújtotta az Európai Bizottságnak a DLH által kidolgozott üzleti tervet, amelyben az szerepel, hogy a társaság 2026-ig visszaváltja mind a hitelt, mind a feltőkésítési eszközöket. Németország azt is vállalta, hogy hiteles kilé-

⁷³ European Commission: *State Aid: Commission approves €6 billion German measure to recapitalise Lufthansa.*

pési stratégiát dolgoz ki a támogatás odaítélését követő 12 hónapon belül, kivéve azt az esetet, ha az állam beavatkozása addigra a DLH saját tőkéjének 25%-a alá csökkenne. Ha a feltőkésítési támogatás kézhezvétele után hat évvel az állam kilépése kétséges lenne, a DLH-nak új szerkezetátalakítási tervet kell benyújtania az Európai Bizottságnak.

- Amíg az állam nem lép ki teljes mértékben a DLH-ból, addig osztalékok kifizetése és a részvények visszavásárlása tilos. Ráadásul mindaddig, amíg a feltőkésítés legalább 75%-át nem fizetik vissza, a társaság vezetésének javadalmazását illetően szigorú korlátozást kell alkalmazni, ideértve a bónuszkifizetések tilalmát is. Ezeknek a feltételeknek az a célja is, hogy ösztönözzék a DLH-t és tulajdonosait, hogy amint a gazdasági helyzet azt lehetővé teszi, vásárolják majd vissza az állam tulajdonában lévő részvényeket.⁷⁴

Az Air France – KLM-csoport szintén jelentős kormányzati támogatást kapott. Az Európai Bizottság az EU állami támogatási szabályai alapján 2020. július 13-án jóváhagyott egy 3,4 milliárd eurós holland támogatási intézkedést, amely állami hitelgaranciát és alárendelt állami kölcsönt tartalmaz a KLM részére a koronavírus kitörése kapcsán a vállalat súlyos likviditási helyzetének javítása érdekében.⁷⁵ Az Európai Bizottság a benyújtott kérelemmel kapcsolatos eljárás során többek között megállapította, hogy

- a KLM Hollandiában működő jelentős járáshálózattal rendelkező légitársaság. Az Air France – KLM-csoport tagja, amelyben a holland állam részesedéssel rendelkezik. A KLM Hollandia második legnagyobb munkaadója, több mint 36 000 alkalmazottal. A KLM a holland gazdaság számára is nagyon fontos vállalat, mivel biztosítja Hollandia összekapcsolhatóságát számos európai célállomással, a tengerentúli holland régiókkal és a világ többi részével. A koronavírus-járvány kitörésének kezdete óta a KLM alapvető szerepet játszik az állampolgárok hazaszállításában és az orvosi berendezések szállításában is.
- Hollandia és számos célország által a koronavírus terjedésének korlátozása érdekében bevezetett utazási korlátozások eredményeként a KLM szolgáltatásainak jelentős csökkenését szenvedte el, ami jelentős működési veszteségeket eredményezett. A korlátozó intézkedések fokozatos enyhítése óta, 2020 júniusának kezdetétől a légi utasforgalom lassan helyreállt. Ugyanakkor a KLM nem rendelkezik elegendő likviditással ahhoz, hogy finanszírozza tevékenységeit. Ezért a holland állam támogatása elengedhetetlen a létfontosságú likviditás eléréséhez, hogy szembenézzon ezzel a nehéz időszakkal. Hollandia azt is bebizonyította, hogy a piacon a likviditás megszerzésének minden más lehetséges módját már feltárták és kimerítették.
- Hollandia az uniós állami támogatási szabályok alapján bejelentette a Bizottságnak a KLM részére nyújtott támogatási intézkedést, amely lehetővé teszi a társaság szá-

⁷⁴ European Commission: *State Aid: Commission approves €6 billion German measure to recapitalise Luthansa.*

⁷⁵ European Commission: *Competition. Competition. SA.57116 COVID-19: State loan guarantee and State loan for KLM.*

mára a koronavírus-járvány negatív következményeinek enyhítését. Az intézkedés, amelynek teljes költségvetése 3,4 milliárd euró, a következő formákban valósulhat meg: i. állami garancia a bankok konzorciuma által nyújtott kölcsönökre, és ii. a holland állam által a társaságnak nyújtott alárendelt kölcsön.⁷⁶

Az Európai Bizottság az uniós állami támogatási szabályok alapján 2020. május 4-én jóváhagyott egy 7 milliárd eurós francia támogatási intézkedést, amely állami hitelgaranciából és részvényesi kölcsönből áll az Air France számára a koronavírus kitörése kapcsán a vállalat súlyos likviditási helyzetének javítása érdekében.⁷⁷

Az Európai Bizottság a benyújtott kérelemmel kapcsolatos eljárás során többek között megállapította, hogy

- az Air France jelentős hálózati légitársaság, amely Franciaországban működik. Az Air France – KLM-csoport tagja, amelyben a francia állam részt vesz. A több mint 300 repülőgépből álló flottával az Air France nagyon fontos vállalat a francia gazdaság számára, a foglalkoztatás és a nemzetközi kapcsolatok szempontjából sok francia régióban, beleértve a tengerentúli régiókat is (Départements et Régions d'outre-mer "DOM-TOM"). A koronavírus-járvány kitörésének kezdete óta az Air France is alapvető szerepet játszik az állampolgárok hazaszállításában és az orvosi berendezések szállításában.
- A koronavírus terjedésének korlátozása érdekében Franciaország és számos célország által bevezetett utazási korlátozások eredményeként az Air France jelentősen csökkentette szolgáltatásait, ami magas működési veszteségeket eredményezett.
- Franciaország az EU állami támogatási szabályai alapján bejelentette az Európai Bizottságnak a koronavírus kitörése kapcsán az Air France számára nyújtott támogatási intézkedést, amely lehetővé teszi a társaság számára a koronavírus negatív következményeinek enyhítését. Az intézkedés, amelynek teljes költségvetése 7 milliárd euró, állami hitelgarancia és a társaságnak a francia állam által alárendelt részvényesi kölcsön formájában valósulhat meg.
- Az Air France pénzügyi helyzete megkövetelte a további működése érdekében, hogy az állam által támogatott garanciát és részvényesi kölcsönt kapjon, ezzel létfontosságú likviditáshoz jusson ebben a nehéz időszakban, mielőtt a korlátozások fokozatos megszüntetésével az értékesítés várhatóan helyreállna. Franciaország azt is bebizonyította, hogy a piacon a likviditás megszerzésének minden más lehetséges módját már feltárták és kimerítették.⁷⁸

Az Európai Bizottság 2020. július 20-án megállapította, hogy az Alitalia javára nyújtott 199,45 millió eurós olasz állami támogatás összhangban áll az uniós állami támogatási

⁷⁶ European Commission: *State aid: Commission approves Dutch plans to provide €3.4 billion in urgent liquidity support to KLM.*

⁷⁷ European Commission: *Competition. SA.57082 COVID-19 – Cadre temporaire 107(3)(b) – Garantie et prêt d'actionnaire au bénéfice d'Air France.*

⁷⁸ European Commission: *State aid: Commission approves French plans to provide €7 billion in urgent liquidity support to Air France.*

szabályokkal. Az intézkedés célja a légitársaságnak a koronavírus kitörése miatt elszenvedett károk megtérítése.⁷⁹ Az Európai Bizottság a benyújtott kérelemmel kapcsolatos eljárás során többek között megállapította, hogy

- az Alitalia jelentős hálózattal rendelkező légitársaság, amely Olaszországban üzemel. A több mint 95 repülőből álló flottával a társaság 2019-ben több 100 úti célt szolgált ki a világ minden táján, és mintegy 20 millió utast szállított a római fő csomópontjából és más olasz repülőterekről különböző nemzetközi úti célok irányába. A koronavírus-járvány kitörése kezdete óta az Alitalia szolgáltatásainak jelentős csökkenését szenvedte el, ami magas működési veszteségeket eredményezett.
- Olaszország bejelentette az Európai Bizottságnak, hogy 199,45 millió euró közvetlen állami támogatást nyújt az Alitalia azon kárának megtérítésére, amelyet 2020. március 1. és 2020. június 15. között az Olaszország és más rendeltetési országok a koronavírus terjedésének korlátozása érdekében bevezetett utazási és más korlátozó intézkedéseinek hatására szenvedett el. E támogatás összege megfelel a légitársaságnak abban az időszakban közvetlenül okozott becsült kárának.
- Az Európai Bizottság úgy vélte, hogy a koronavírus kitörése olyan kivételes, rendkívüli, előre nem látható eseménynek minősül, amelynek jelentős gazdasági kihatásai vannak. Ennek eredményeként a tagállam rendkívüli beavatkozásai a járvány kitörésével összefüggő károk megtérítésére indokoltak.
- Az Európai Bizottság megállapította azt is, hogy az olasz intézkedés kompenzálja az Alitalia által elszenvedett károkat, amelyek közvetlenül összefüggenek a koronavírus kitörésével. Azt is megállapította, hogy az intézkedés arányos, mivel a kártérítés nem haladja meg a kár megtérítéséhez szükséges mértéket.
- Fentiek alapján az Európai Bizottság arra a következtetésre jutott, hogy az olasz kártérítési intézkedés összhangban áll az állami támogatásokra vonatkozó uniós szabályokkal.⁸⁰

Az Európai Bizottság jóváhagyta azokat a dán és a svéd terveket is, amelyek akár 11 milliárd svéd koronával (körülbelül 1 milliárd euró) is hozzájárulnak a SAS skandináv légitársaság feltőkésítéséhez.⁸¹ A feltőkésítési intézkedések egy nagyobb feltőkésítési csomag részei, amelyek a magánbefektetők jelentős részvételével történik, ideértve a fennálló magántulajdonban lévő hitelviszonyt megtestesítő instrumentumok tőkévé történő átalakítását.⁸²

Az Európai Bizottság az EU állami támogatási szabályai alapján 2020. június 4-én jóváhagyta Portugália 1,2 milliárd eurós megmentési kölcsönének odaítélését, a Trans-

⁷⁹ European Commission: *Competition. SA.58114 Alitalia damage COVID 19 – new.*

⁸⁰ European Commission: *State aid: Commission approves €199.45 million Italian support to compensate Alitalia for damages suffered due to corona virus outbreak.*

⁸¹ European Commission: *Competition. SA.57543 Denmark – COVID19 recapitalisation of SAS, and SA.58342 Sweden – COVID19 recapitalisation of SAS.*

⁸² European Commission: *State aid: Commission approves €1 billion Danish and Swedish measure to recapitalise SAS.*

portes Aéreos Portugueses SGPS S. A. (TAP) javára.⁸³ Az EU Bizottság megítélése szerint e támogatás biztosítja a TAP számára azokat a szükséges forrásokat, amelyek az azonnali likviditási igényeinek kielégítéséhez szükségesek, anélkül, hogy indokolatlanul torzítnák a versenyt az egységes piacon.⁸⁴

Az Európai Bizottság 2020. július 1-jén jóváhagyta azokat a finn terveket, amelyek hozzájárulnak a Finnair feltőkésítéséhez azáltal, hogy az állam új részvényeket jegyez a részvénykibocsátásában, amelyet a Finnair 2020. június 10-én indított a koronavírus kitörése kapcsán.⁸⁵ Finnország a részvények 55,8%-ával a Finnair legnagyobb részvényese. A teljes tőkeemelés várhatóan körülbelül 500 millió euró lesz. Az állam a tervek szerint 286 millió euró összegű jogot kap új részvények jegyzésére, amely megfelel a jelenlegi részesedési szintnek. A fennmaradó részvényeket a piacon fogják eladni, más meglévő részvényesek elsőbbségi jegyzési jogára is figyelemmel.⁸⁶

Az Európai Bizottság 250 millió eurós lett intézkedést hagyott jóvá a lett airBaltic légitársaság feltőkésítésére a koronavírus-járvány kitörése kapcsán.⁸⁷ Lettország legnagyobb légitársasága az airBaltic rigai bázis repülőtérrel. A lett légitársaság fő részvényese a lett állam, amely jelenleg korábban mintegy 80%-os tulajdonrésszel rendelkezett a légitársaságban. A feltőkésítés után, amelyet 2020 júliusában hajtottak végre, az állam részvétele 96% fölé emelkedett. Az állami támogatás melletti döntést elsősorban az indokolta, hogy az airBaltic 2020 második negyedében jelentős veszteségeket szenvedett a koronavírus kitörése után az utazási korlátozások miatt, amelyeket Lettországnak és más országoknak a koronavírus terjedésének korlátozása érdekében kellett bevezetniük. Ennek eredményeként az airBaltic jelenleg is a fizetéseképtelenség akut kockázatával néz szembe. Az Európai Bizottság megállapította, hogy a Lettország által bejelentett intézkedés összhangban van az ideiglenes keretszabályban meghatározott feltételekkel.⁸⁸

Az Európai Bizottság az EU állami támogatási szabályai alapján 2020. október 2-án jóváhagyta Románia azon tervét, hogy mintegy 36,7 millió euró (kb. 176 millió RON) ideiglenes kölcsönt nyújt az állami tulajdonban lévő TAROM nemzeti légitársaságnak.⁸⁹ Az Európai Bizottság megállapította, hogy az intézkedés elősegíti a repülési szolgáltatások rendezett folytatását a légi utasok érdekében, és fenntartja a regionális összeköttetést azon számos útvonalon, ahol a TAROM jelenleg az egyetlen szolgáltató. Ugyanakkor a kölcsönhöz kapcsolódó szigorú feltételek és annak hat hónapra korlátozott időtartama minimálisra csökkenti az állami támogatás által esetlegesen kiváltott verseny torzulását.⁹⁰

⁸³ European Commission: *Competition. SA.57369 COVID 19 – Aid to TAP.*

⁸⁴ European Commission: *State aid: Commission approves €1.2 billion Portuguese urgent liquidity support to TAP.*

⁸⁵ European Commission: *State aid: SA.57410 COVID – recapitalisation of Finnair.*

⁸⁶ European Commission: *State aid: Commission approves €286 million Finnish measure to recapitalise Finnair.*

⁸⁷ European Commission: *Competition. SA.56943 COVID-19: Recapitalization of Air Baltic – Latvia.*

⁸⁸ European Commission: *State aid: Commission approves €250 million Latvian measure to recapitalise airBaltic.*

⁸⁹ European Commission: *Competition. SA.56810 COVID-19 – Aid to TAROM*

⁹⁰ European Commission: *State aid: Commission approves around €36 million Romanian rescue aid to state-owned flag carrier TAROM.*

De nemcsak légitársaságok kértek állami segítséget, hanem repülőterek is. Erre példa a lengyel repülőterek támogatása. Az Európai Bizottság az uniós állami támogatási szabályok alapján 142 millió PLN (kb. 32 millió euró) állami támogatási programot hagyott jóvá 2020. július 31-én a lengyel repülőterek számára a koronavírus kitörése miatt elszenvedett káraik megtérítésére.⁹¹ A koronavírus terjedésének korlátozása érdekében Lengyelország 2020. március 15-én betiltott minden nemzetközi és belföldi légi személyszállítást a lengyel repülőtereken. A repülési korlátozásokat fokozatosan feloldották 2020. június 1-jétől, de bizonyos utazási figyelmeztetések, utazási tilalmak és korlátozó intézkedések 2020 júniusának végéig érvényben maradtak.⁹²

A Covid-járvány hatásai Magyarországra

Magyarországon a légi személyszállítás gyakorlatilag majdnem teljes egészében leállt. A légi árufuvarozás tovább működik, de a kereslet itt is jelentősen visszaesett. Egyedül a gyógyszerek és az orvosi eszközök forgalma nőtt meg, ezek fuvarozására több, egyébként a személyszállításban tevékenykedő légitársaság is átállt. A légi árufuvarozás összességében azonban messze elmaradt a légi személyszállítás volumenétől, ennek következtében a repülési ágazatban erőteljes visszaesés következett be.⁹³

Az európai légi forgalom az elmúlt években folyamatosan bővült, ezzel párhuzamosan nőtt a Magyarország légterében közlekedő járatok száma is. A koronavírus globális terjedése miatt azonban jelentős visszaesés kezdődött meg a repülési ágazatban. Ez a tendencia várhatóan még a jövő évben is folytatódni fog. A koronavírus-járvány következtében a HungaroControl adatai szerint 2020. március 9-től mutatkozott először csökkenés a budapesti nemzetközi repülőtér le- és felszálló forgalmában. Ekkor még csak 10 géppel kezelték kevesebbet a HungaroControl légi forgalmi irányítói az előző év azonos időszakához képest. Március 10-én már majdnem kétszer ennyivel, 19 járatral csökkent a gépmozgások száma. A forgalom mérséklődése március 11-én tovább folytatódott, ekkor 20-szal, majd március 12-én pedig 13-mal csökkent a HungaroControl légi forgalmi irányítói által regisztrált járatok száma. A forgalom csökkenése 2020. április 20-án érte el a mélypontját, majd júniusig stagnált, amikor kisebb emelkedésnek indult szeptember 1-ig, amikor ismét csökkenni kezdett. A forgalom alakulását mutatja be az Appendix 2-ben található grafikon. A megmaradt járatok országpáronkénti megoszlását mutatják be az Appendix 1.-ben megtalálható ábra és az adatok. A repülőtéri fel- és leszálló forgalom mellett jelentősen csökkent a Magyarország légterén áthaladó repülőgépek száma is. Januárban mintegy 3 ezer járatral kevesebb repült át hazánk felett az előző év azonos időszakához képest, és ez a csökkenés azután egész évben tovább folytatódott.⁹⁴ Több

⁹¹ European Commission: *Competition SA.58212 Covid 19 – Aid scheme for Polish airports*.

⁹² Eureporter: *Commission approves €32 million Polish aid scheme to compensate airports for damage suffered due to corona virus outbreak*.

⁹³ Zsoldos Ákos: Koronavírus-válság Magyarországon: az ország vérkeringését is megbénította a járvány. *Portfolio, Gazdaság*, 2020. április 22.

⁹⁴ HungaroControl: *A koronavírus jelentős visszaesést hozott a légi közlekedésben*. 2020. március 13.

mint felére csökkent a 2020. január és szeptember között Magyarország légterén átrepülő járatok száma, de közel ugyanilyen mértékű visszaesés következett be a budapesti repülőtér érkező és induló forgalmában is. A budapesti repülőtér forgalmában az eddigi legnagyobb visszaesést 2020. májusban regisztrálta a HungaroControl. Május 2-án csupán 15 érkező és induló repülőgép vette igénybe a nemzetközi repülőteret, 95%-kal kevesebb, mint 2019-ben, amikor ugyanezen a napon 283 repülőgépet fogadott vagy indított a repülőtér. Habár nyár elején lassú, de reményteli növekedés indult, július második felétől stagnált a forgalom. A járványidőszak eddig legkiemelkedőbb napja augusztus 22-e volt, amikor közel 2000 repülőgépet kezeltek a HungaroControl távolkörzeti, közel körzeti és repülőtéri irányítói. Egy évvel korábban, ugyanezen a napon a járatszám kis híján elérte a 4000-et.⁹⁵

A Budapest Airport a 2019-es utasforgalmi rekord után 2020-ban újabb rekordévre számított, több mint 17 millió utassal. Ehhez képest a repülőtér augusztus végéig összesen csak 3,5 millió utast kezel, szemben a 2019. év augusztus végéig fogadott 10,6 millió utassal. Az áprilisi mélypont után – lassú emelkedést követően – augusztusban az utasszám elérte a 393 665 főt, azonban ez is messze elmarad a tavaly augusztusi 1,6 milliós utasszámtól. A budapesti nemzetközi repülőtér 2020-as forgalmi adatainak alakulását mutatja be a 2019. évihez képest a 3. Appendix. A Budapest Airport szerint a Magyar Kormány által 2020. szeptembertől bejelentett beutazási korlátozások várhatóan hasonlóképpen fogják befolyásolni az utasforgalmat, mint ahogyan az március közepe és június között történt. A Wizz Air és a Ryanair már bejelentette járat törléseit a következő időszakra, a többi légitársaság pedig a napokban dönt a menetrend újratervezéséről és járataik törléséről. A légitársaságokkal folytatott megbeszélések alapján a Budapest Airport úgy látja, hogy a következő napokban jelentős mennyiségű járat törlését jelenthetik be, és várhatóan a hét második felére alakul ki az a végleges menetrend, amely a rendelet érvényességéig elérhető lesz Budapestről. Várhatóan főképp a nagy európai csomópontokba – London, Berlin, Párizs stb. – indulnak majd ezt követően is járatok, hogy a rendelet által engedélyezett üzleti utasforgalmat ki tudják szolgálni.

A várható járat törlések és utasszámcsökkenés alapján a Budapest Airport arra számít, hogy a következő időszakban legfeljebb napi 3000 utas várható, az ilyenkor szokásos napi 45-50 ezer helyett. Ezért a 2020-as éves utasszám a tervezett maximum egyharmada, legfeljebb 5,5 millió utas lehet. Ez egyben azt is jelenti, hogy a Budapest Airport 2020-as, még a koronavírus-járvány előtti üzleti terve sem az utasszám, sem pedig a pénzügyi mutatók terén nem fog teljesülni. A vállalat március óta a leálló légi közlekedés következtében szinte minden bevételétől elesett, ami a 2020-as pénzügyi eredményekre is jelentős hatással lesz. A Budapest Airport ezért számos költségcsökkentő intézkedést vezetett be, és a következő hónapokban kizárólag a repülőtér biztonságos üzemeltetése érdekében szükséges kiadásokra fog költeni. Ez a beruházások számának erőteljes csökkentését, szerződések újratárgyalását vagy megszüntetését, és a repülőtér biztonságos üzemeltetéséhez nem szükséges költségek redukálását jelenti, a meglévő források felelősségteljes, az alapvető repülőtér-üzemeltetésre és a bérekre történő megőrzése érdek-

⁹⁵ HungaroControl: *Továbbra is mélyrepülésben a légi közlekedés*. 2020. október 5.

ben.⁹⁶ A budapesti nemzetközi repülőtéren a várható éves forgalom a 17 évvel ezelőtti szintre csökkent, és a repülőtér üzemeltető Budapest Zrt. arra számít, hogy az őszi és téli hónapokban is 90% körüli visszaesés következik be. Ezért a társaság a megmaradó munkahelyek védelme érdekében 2020. szeptemberben jelentős létszámcsökkentést jelentett be.⁹⁷ A jelenlegi helyzetben egyre többen vetik fel a budapesti repülőtér tulajdonváltásának a szükségességét a sikeres újrainduláshoz. „Egy nemzeti tulajdonú repülőtér, erős és professzionális menedzsmenttel biztosíthatja a légi közlekedés és így a turizmus zökkenőmentes újraindulását” nyilatkozta például Galgóczy Ferenc, a Budapest Handling ügyvezetője a Magyar Nemzetnek.⁹⁸ Ismét az érdeklődés középpontjában került a ferihegyi Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér, amely a Bloomberg értesülése szerint újra magyar kézbe kerülhet. Ugyanis egy hazai vállalatokból és üzletemberekből álló konzorcium visszavásárolná a repteret üzemeltető céget. Ezt a magyar befektetői konzorcium egyik tagja, az ingatlanbefektetésekkel foglalkozó Indotek-csoport vezérigazgatója, Jellinek Dániel a sajtónak megerősítette, hogy üzleti tárgyalásokat folytat a Budapest Airport megvásárlásáról, ám további tájékoztatást nem adott.⁹⁹

Több a légijármű-iparban tevékenykedő vállalkozás közterheit csökkentette a Magyar Kormány a koronavírus világjárvány nemzetgazdaságot érintő hatásainak enyhítése érdekében. A kormány 209/2020 (V. 15.) rendelete szerint a légi- és úrjárműgyártás, a repülőgép- és űrhajójavítás, valamint a légi személyszállítás valamelyikét főtevékenységként végző vállalkozások részére köztehermentességet hirdetett meg.¹⁰⁰ Amennyiben az átlagos állományi létszámuk a veszélyhelyzet kihirdetését megelőző 12 hónapban legalább 10 fő volt, és a koronavírus-járvány miatt a főtevékenységükből származó értékesítésük nettó árbevétele 2020. január 1. és 2020. május 31. között időarányosan legalább 25%-kal visszaesett.

A légi közlekedést sújtó környezetvédelmi adó bevezetésével kapcsolatos törekvések és annak lehetséges hatásai

Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében a légi közlekedés költségeinek jelentős növelését javasolja egy francia állampolgári kezdeményezés. Az ökoadó bevezetése lenne az egyike annak a nyolc intézkedésnek, amelyet a francia „polgári egyezmény az éghajlatért”¹⁰¹ csoport 150 résztvevője ajánlott a francia kormány figyel-

⁹⁶ Budapest Airport: *5,5 millió utasra számít idén a Budapest Airport*. 2020. szeptember 07.

⁹⁷ Budapest Airport: *Budapest Airport: továbbra is 90% feletti az utasforgalmi visszaesés, elkerülhetlenné vált az újabb létszámcsökkentés*. 2020. szeptember 21. Online: www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlemenyek/budapest_airport_tovabbra_is_90_feletti_az_utasforgalmi_visszaeses_elkerulhetlenné_vált_az_újabb_létszámcsökkentés.html

⁹⁸ Thurzó Katalin: Magyar tulajdonban sikeres lehet a légiközlekedés újraindulása. *Magyar Nemzet Online*, 2020. október 15.

⁹⁹ Bódy Géza: *A repterek visszaállamosításának korszakát éljük*. 2020. október 20.

¹⁰⁰ A 209/2020. (V. 15.) Korm. rendelet a 2020. május 15-i *Magyar Közlönyben* jelent meg.

¹⁰¹ Convention citoyenne pour le climat.

mébe.¹⁰² Ez az intézkedés is e csoport az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását célzó 149 javaslata közé tartozik, amelyek közül 8 kifejezetten a légi közlekedésre vonatkozik. Az egyezmény aláírói arra szeretnék kötelezni a légitársaságokat, hogy teljes mértékben kompenzálják CO₂-kibocsátásukat a „szén-dioxid-elnyelők” finanszírozásával, az európai és a globális kompenzációs programokhoz való hozzájárulásuk mellett. Az ökoadó mellett azt szeretnék a polgári kezdeményezés tagjai, hogy a légitársaságok 2025-ig szüntessék meg a belföldi járatokat, és a francia kormány tiltsa meg új repülőterek építését és a meglévők bővítését. Emellett még a reklám- és szabadidős repülések betiltása is szerepel a javaslatukban. A legnagyobb vitát az öko hozzájárulásiadó-javaslat váltotta ki. A francia közlekedési miniszter által bejelentett 1,5 és 18 euró közötti öko-hozzájárulás kabinkategóriák (turista, üzleti) függvényében minden Franciaországból induló repülőjáratra kiterjedne, Korzika és a tengerentúli járatok kivételével. A fizetendő hozzájárulás 1,50 euró lesz a turistaosztályon a belföldi és az Európán belüli járatokon, és 9 euró az üzleti osztályokon. Míg 3 euró az Európán kívüli turistaosztályú járatokon, illetve 18 euró az üzleti osztályokon. A francia közlekedési minisztérium tervei szerint ennek az új adónak 2020-tól évente 180 millió euró bevételt kellene eredményeznie. Az új adóból befolyó bevételt a miniszter szerint a „környezetbarát” közlekedési infrastruktúra fejlesztésére kívánják fordítani, amely elsősorban vasúti és közúti fejlesztéseket jelentene.

A francia közlekedési miniszter már 2019 júniusában kiállt a francia kormány nevében az európai légi közlekedési adó mellett. Az Európai Unió Közlekedési Miniszteri Tanácsa ülésén Franciaország hivatalosan is az új légi közlekedési adó mellett foglalt állást, amelynek célja az „ökológiai átmenet” finanszírozása.¹⁰³ Éles fordulat volt ez a francia kormány álláspontjában, miután ezt megelőzően egy éven át adócsökkentéseket hajtott végre a francia légi közlekedés versenyképességének helyreállítása érdekében.¹⁰⁴ Az IATA (Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség) szakemberei ekkor egy ezzel kapcsolatos szakmai konferencián úgy foglaltak állást, hogy a franciaországi légi szállítást hátrányos helyzetben tartják a túlzott adók, a túlságosan szigorú szabályozások és a bonyolult munkaerőpiac. Az IATA szakértőinek véleménye szerint a francia repülési ágazat 89,4 milliós utasforgalom mellett 1,1 millió munkahelyet tart fenn, és éves szinten mintegy 100,1 milliárd euróval járul hozzá a francia GDP-hez. Ugyanakkor a túl magas adózási szint, a túlságosan szigorú szabályozások, a sztrájkokkal és szociális terhekkel sújtott munkaerőpiac feltételek nélkül az ágazat akár fél millióval több embert is foglalkoztathatna, és 60 milliárd euróval is többel járulhatna hozzá az ország GDP-jéhez. Az IATA elemzői szerint Franciaország lemaradt Európában, mivel az általuk megállapított 17 európai országra vonatkozó versenyképességi mutató szerint a szabályozások szerint a 14. míg a munkaerőpiac versenyképessége szerint csupán a 12. helyet érte el

¹⁰² Bruno Trévidic: Le transport aérien menacé d'une écotaxe à 4,2 milliards d'euros. *Les Echos*, 2020. szeptember 11.

¹⁰³ Bruno Trévidic – Derek Perrotte: La France veut désormais une taxe européenne sur le transport aérien. *Les Echos*, 2019. június 6.

¹⁰⁴ Trévidic–Perrotte (2019) i. m.

az országok rangsorában. Míg e felmérés megerősíti, hogy Franciaország az egyike azoknak az országoknak, ahol legmagasabb a repülőtéri és az utasdíjak Európában.¹⁰⁵

A légi közlekedésre kivetett környezetvédelmi adó ötletének Franciaország mellett vannak más támogatói is Európában. Ilyen Svédország is, amely 2019 elején 60–400 korona (4–40 euró) adót vezetett be a svéd repülőterekről induló összes járatra, és Belgium is és Hollandia is bejelentette tervét a légi közlekedést sújtó környezetvédelmi adó bevezetésére. Hollandia is szeretné elérni, hogy Európa megadóztassa a légi közlekedést. Meg akarja győzni európai partnereit és az Európai Bizottságot is a légi közlekedés szigorúbb megadóztatásáról. Az európai szintű lobbikampányban a holland kormány azt kívánja elérni, hogy az európai partnerei több olyan projektet is elfogadjanak, amelyek büntetik a légitársaságokat. A repülőjegyekre kivetendő adó mellett javasolják a kerozin megadóztatását az Európán belüli járatokon. Érvelésük szerint a kerozin az egyetlen fosszilis üzemanyag, amely mentes az adók és a jövedéki adók megfizetése alól. Egy másik holland javaslat a kerozin áfájának bevezetésére vonatkozik. Hollandia a légitársaságok szén-dioxid-kibocsátásnak csökkentése céljából 2021-től számos adót kíván bevezetni, amelyek az utasszállítási és az áru fuvarozási tevékenységet egyaránt érintik.¹⁰⁶

Az új adó ellenzői elsősorban annak versenyt torzító hatásaira hívják fel a figyelmet. A nemzeti adók bevezetése esetén a bevezető ország egyértelműen hátrányba kerül azokkal az országokkal szemben, amelyek nem vezetik be, vagy még hezitálnak a bevezetésén. Ebből a szempontból kétségtelenül előnyösebb lenne egy közös európai szabályozás, amely elkerülhetővé tenné az európai vállalatok közötti verseny torzulását. Ugyanakkor a nemzetközi vonalakon az európai fuvarozók az új adóval egyértelműen büntetést kapnának az Európán kívüli versenytársaikkal szemben. Ugyanez a probléma merül fel az Európában betöltött kerozinra kivetett adónál, ez ugyanis azzal a kockázattal járna, hogy egyes vállalatok Európán kívül újratöltik magukat, vagy ott több üzemanyagot vesznek fel. De az összes Európában működő vállalat számára a legnagyobb kockázat az, hogy a jegy árának növekedése alacsonyabb forgalmat és/vagy alacsonyabb árrejt jelentene. Ez történt Svédországban.¹⁰⁷

A francia nemzeti légitársaság, az Air France szerint az új adó 60 millió euró többletköltséggel járna részükre, mivel a légitársaság tevékenységének 50%-át Franciaországban végzi. Az Air France jelenleg is már évi 616 millió euró adót fizet a francia költségvetésbe, miközben a légitársaság veszteségei 2018-ban meghaladták a 180 millió eurót. Az új adó bevezetésével való elégedetlenségüket fejezték ki a francia utazásszervezők is, beleértve azokat is, amelyek nyíltan ökológiai érzékenységet mutatnak. Véleményük szerint ennek az adónak semmi köze a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéséhez, „túl alacsony a légi közlekedés csökkentéséhez, ezért a kibocsátás tovább fog növekedni”.¹⁰⁸

Az új adó bevezetése ellen tiltakozott a Francia Repülőtéri Unió (Union des Aeroports Francais [UAF]) elnöke, Thomas Juin is. Véleménye szerint az új adó Franciaországban

¹⁰⁵ IATA: *France. Air Transport Regulatory Competitiveness Indicators 2019*.

¹⁰⁶ Didier Burg: Les Pays-Bas veulent amener l'Europe à taxer le transport aérien. *Les Echos*. 2019. június 23..

¹⁰⁷ Trévidic–Perrotte (2019) i. m.

¹⁰⁸ Christophe Palierse – Lionel Steinmann – Bruno Trévidic: Le gouvernement crée une éco taxe sur les billets d'avion dès 2020. *Les Echos*, 2020. július 10.

történő bevezetése veszélyeztetni fogja a francia légi közlekedést és egyúttal az országon belüli legelszigeteltebb területek elérhetőségét is. Az adó bevezetése tisztán nemzeti keretek között gyengítené a francia regionális légi közlekedést és egyes elszigetelt területek elérhetőségét anélkül, hogy a környezetre jelentős hatással lenne. A francia légi közlekedés liberalizált, erősen versenyt támogató európai keretek között működik, amelyben a légitársaságokat ugyanakkor egy-egy országban sokszor nagyon eltérő adók terhelik. Egy új adó bevezetése tovább torzítaná a meglévő versenyfeltételeket a francia légi közlekedés kárára, amely már így is kimagaslóan magas adót fizet. A társaságok által befizetett adókból fizetik a francia légi közlekedés költségeinek nagy részét, az infrastruktúra-fejlesztések érdekében indított beruházásokat a repülőtéri díjakból, a polgári repülés adminisztrációját a polgári repülési adókból, a környezetvédelmi kiadásokat a zajszennyezési díjakból, valamint a légi forgalmi irányítás költségeit a légi navigációs díjakból.¹⁰⁹

A francia Polgári Repülési Főigazgatóság (Direction Générale de l'Aviation Civile [DGAC]) által készített hatástanulmány szerint a franciaországi légi közlekedésre jellemző adók összege (a HÉA – hozzáadott érték adó, az ETS – Emissions Trading System¹¹⁰ és a CORSIA¹¹¹ kötelező szén-dioxid-kibocsátás ellensúlyozó programok díjai és költségei nélkül) a 2020-as 440 millió euróról 2021-ben 4,2 milliárd euróra nőne. Az Air France esetében a környezetvédelmi hozzájárulás költségeit, amelyet 2020-ra 60 millió euróra becsültek 20-szal kellene megszorozni. Az ilyen fiskális sokk legfőbb következményei a DGAC becslése szerint a forgalom 14% és 19% közötti csökkenése, mintegy 120 000 és 150 000 közötti munkahely elvesztése lehet, miközben Franciaországban az üvegházhatások csupán 4%-ért felelős a repülés, szemben a közút 90%-ával.¹¹²

A légitársaságok egy cselekvési program keretében vállalták a CO₂-kibocsátásuk csökkentését. A francia belföldi és Európán belüli járatokra vonatkoznak az Európai Unió CO₂-kvótákról szóló rendelkezései. A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet keretében létrejött megállapodás révén a légi közlekedés elkötelezte magát az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentése érdekében. Az ICAO Közgyűlés 2019. évi 40. ülészakán fogadta el az A40-18. számú határozatát az ICAO környezetvédelemmel kapcsolatosan folytatott politikájáról és gyakorlatáról a klímaváltozás vonatkozásában.¹¹³ Ez a határozat valójában megismételte a nemzetközi légi közlekedési ágazat két globális törekvését: az üzemanyag-hatékonyság 2050-ig történő évi 2%-os javítását, és 2020-tól kezdődően a szén-dioxid-semleges növekedésre vonatkozó elvárását, amelyeket még az ICAO 37. közgyűlése fektetett le 2010-ben.

E globális törekvések elérése és a nemzetközi légi közlekedés fenntartható növekedésének elősegítése érdekében az ICAO egy intézkedés csomagot (CORSIA) fogadott

¹⁰⁹ Thomas Juin: Taxe kérosène: attention aux effets pervers! *Les Echos*, 2019. március 29.

¹¹⁰ EU Emissions Trading System (EU ETS). Lásd https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

¹¹¹ CORSIA – Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation. Lásd www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx

¹¹² Trévidic (2020) i. m.

¹¹³ ICAO: Resolution A-40-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change.

el, amely magába foglalja a repülőgép technológiák fejlesztését, az üzemeltetési fejlesztéseket, a fenntartható repülőgép-üzemanyagokat és a piaci alapú intézkedéseket. A repülőtér-üzemeltetők is már régóta elkötelezettek a szén-dioxid-kibocsátásuk csökkentésében az ACI által 2009-ben elindított ACA (Airport Carbon Accreditation¹¹⁴) program keretében.

Összefoglaló megállapítások

A Covid-19-vírus térdre kényszerítette Európa gazdaságait, és a légi közlekedési ágazatot különösen súlyos csapás érte. Ez a válsághelyzet Európa-szerte több mint hat millió munkahelyet veszélyeztet különösen a légitársaságoknál és a repülés által támogatott vállalkozások esetében. A légi forgalom leállása miatt már munkahelyek ezrei szűntek meg eddig is. Jövőbeni jólétünk érdekében elengedhetetlen, hogy a repülési ipar mielőbb helyreálljon. Mindenekelőtt arra lenne szükség, hogy az egyes kormányok összehangolják a légi összeköttetések újraindítását nemzetközi bevált gyakorlattal összhangban. Olyan stratégiát kellene megvalósítani, amely ötvözi a légi közlekedésre vonatkozó összehangolt, nemzetközileg következetes egészségügyi intézkedéseket a Covid-19-járvány kezelésének hatékony nemzeti terveivel. Megfelelő egyensúlyt teremtve a közegészségügy védelme és az életképes légi szolgáltatások nyújtása között. Számos európai kormány felismerte repülési ipara és a hozzá ezer szállal szervesen kapcsolódó vállalkozások stratégiai jelentőségét, és támogatást nyújtott számukra ebben a nehéz helyzetben. Ezek az intézkedések munkahelyek ezreit mentették meg már eddig is, és lehetővé teszik a légitársaságok számára a kapcsolatok fenntartását. De nagyon valószínű, hogy a legrosszabb még hátra van. A nyár tovatűnt, és most az egyébként is nehezebb téli időszak következik. Az európai légitársaságok mintegy 21 milliárd dollárt veszítenek idén. A folyamatos segélyezési intézkedések elengedhetetlenek a munkahelyek elvesztésének minimalizálása és a közlekedési kapcsolatok fenntartása érdekében. Fontos lenne az is, hogy az európai szabályozók ne újabb adókkal terheljék és tegyék még nehezebbé az ágazat kilábalását ebből a válságból.

Felhasznált irodalom

- ACI: *ACI analysis shows vanishing traffic, collapsing revenues, and rising risk*. 2020. augusztus 31. Online: <https://aci.aero/news/2020/08/31/aci-analysis-shows-vanishing-traffic-collapsing-revenues-and-rising-risk/>
- ACI: *The impact of Covid-19 on the airport business*. ACI Advisory Bulletin. Montreal, 2020. Augusztus 31. Online: <https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2020/08/COVID19-4th-Economic-Impact-Advisory-Bulletin.pdf>
- Bódy Géza: *A repterek visszaállamosításának korszakát éljük*. 2020. október 20. Online: <https://novekedes.hu/elemzesek/a-repterek-visszaallamositasanak-korszakat-eljuk>

¹¹⁴ Airport Carbon Accreditation. Online: www.airportcarbonaccreditation.org/

- Burg, Didier: Les Pays-Bas veulent amener l'Europe à taxer le transport aérien. *Lés Echos*. 2019. június 23. Online: www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/les-pays-bas-veulent-amener-leurope-a-taxer-le-transport-aerien-1031574
- Budapest Airport: 5,5 millió utasra számít idén a Budapest Airport. 2020. szeptember 7. Online: www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlemenyek/5_5_millio_utasra_szamit_iden_a_budapest_airport.html
- Budapest Airport: A repülésről a repülőtéren. Alapismertetek. Online: <https://lisztfერიhegy0.webnode.hu/a-repulesrol/a-repuloteren/alapismertetek-i/>
- Budapest Airport: Budapest Airport: továbbra is 90% feletti az utasforgalmi visszaesés, elkerülhetetlenné vált az újabb létszámcsökkentés. 2020. szeptember 21. Online: www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlemenyek/budapest_airport_tovabbra_is_90_feletti_az_utasforgalmi_visszaeses_elkerulhetetlenne_valt_az_ujabb_letszamsokkentenes.html
- Centre of Aviation (CAPA): COVID-19 prompts dramatic increase in state aid to (some) European airlines. 2020. szeptember 08. Online: <https://centreforaviation.com/analysis/airline-leader/covid-19-prompts-dramatic-increase-in-state-aid-to-some-european-airlines-536591>
- Jasper, Christopher – Richard Weiss: Aviation Job Losses Could Approach a Half-Million by Year's End. *Bloomberg, Business*, 2020. szeptember 1. Online: www.bloomberg.com/news/articles/2020-09-01/aviation-job-losses-could-approach-a-half-million-by-year-s-end
- Chua, Alfred: Cathay shareholders approve HK\$39 billion bailout plan. *Flight Global Strategy*, 2020a július 13. Online: www.flightglobal.com/airlines/cathay-shareholders-approve-hk39-billion-bailout-plan/139260.article
- Chua, Alfred: Qantas to retire 747s immediately, axe 6,000 staff in three year recovery plan. *Flight Global Strategy*, 2020b június 25. Online: www.flightglobal.com/airlines/qantas-to-retire-747s-immediately-axe-6000-staff-in-t hree-year-recovery-plan/138993.article
- Cirium: Norwegian to cancel 85% of flights and temporarily lay off 90% of staff. *Flight Global Strategy*, 2020. március 16. Online: www.flightglobal.com/strategy/norwegian-to-cancel-85-of-flights-and-temporarily-lay-off-90-of-staff/137307.article
- Cirium: Assessing government support for Asia-Pacific carriers. *Flight Global Strategy*, 17 June 2020. Online: www.flightglobal.com/strategy/assessing-government-support-for-asia-pacific-carriers/138866.article
- Cirium: Bain Capital wins bid for Virgin Australia. *Flight Global Strategy*, 2020. június 26. Online: www.flightglobal.com/strategy/bain-capital-wins-bid-for-virgin-australia/139012.article
- Cirium: TAP to cut more aircraft as losses mount. *Flight Global Strategy*, 2020. június 30. Online: www.flightglobal.com/fleets/tap-to-cut-more-aircraft-as-losses-mount/139067.article
- Cirium: UK cabin crew join Ryanair pilots in accepting temporary pay cuts. *Flight Global Strategy*, 2020. július 8. Online: www.flightglobal.com/strategy/uk-cabin-crew-join-ryanair-pilots-in-accepting-temporary-pay-cuts/139204.article
- Cirium: European Commission gives KLM state financing the go-ahead. *Flight Global Strategy*, 2020. július 13. Online: www.flightglobal.com/strategy/european-commission-gives-klm-state-financing-the-go-ahead/139261.article
- Dunn, Graham: SAS initiates work on cutting up to 5,000 jobs. *Flight Global Strategy*, 2020a április 28. Online: www.flightglobal.com/strategy/sas-initiates-work-on-cutting-up-to-5000-jobs/138108.article?adredir=1
- Dunn, Graham: European carriers aim to cut their way through the crisis. *Flight Global Strategy*, 2020b június 2. Online: www.flightglobal.com/airlines/european-carriers-aim-to-cut-their-way-through-the-crisis/138337.article

- Dunn, Graham: Virgin Atlantic eyes profit from 2022 after sealing vital £1.2bn refinancing. *Flight Global Strategy*, 2020c július 14. Online: www.flightglobal.com/strategy/virgin-atlantic-eyes-profit-from-2022-after-sealing-vital-12bn-refinancing/139281.article
- El Yaakoubi, Aziz – Alexander Cornwell: Abu Dhabi's cuts hundreds of jobs: sources. *Reuters*, 2020. május 19. Online: <https://uk.reuters.com/article/us-health-coronavirus-etihad/abu-dhabis-etihad-cuts-hundreds-of-jobs-sources-idUKKBN22V12C>
- EUR-Lex: *Communication from the commission. Temporary Framework for State aid measures to support the economy in the current COVID-19 outbreak* (2020/C 91 I/01) Online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOC_2020_091_I_0001
- EUR-Lex: *Communication from the commission. Amendment to the Temporary Framework for State aid measures to support the economy in the current COVID-19 outbreak* (2020/C 112 I/01) Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.CI.2020.112.01.0001.01.ENG&toc=OJ:C:2020:112:TOC>
- EUROCONTROL: *EUROCONTROL Revises Downwards Draft Traffic Scenarios for September to February 2021*. Brussels, 2020. szeptember 14. Online: www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-09/eurocontrol-draft-traffic-scenarios-14092020.pdf
- EUROCONTROL: *Charting the latest network status: EUROCONTROL NM publishes latest Network Recovery Plan*. 2020. október 16. Online: www.eurocontrol.int/news/eurocontrol-nm-publishes-network-recovery-plan
- EUROCONTROL: *European Network Operations Plan 2020 Recovery Plan. Edition 1.24*. 2020. október 16. Online: www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-10/nop-2020-recovery-plan-1-24-16102020.pdf
- European Commission: *Competition. SA.56810 COVID-19 – Aid to TAROM*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_56810
- European Commission: *Competition. SA.56943 COVID-19: Recapitalization of Air Baltic – Latvia*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_56943
- European Commission: *Competition. SA.57082 COVID-19 – Cadre temporaire 107(3)(b) – Garantie et prêt d'actionnaire au bénéfice d'Air France*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57082
- European Commission: *Competition. SA.57116 COVID-19: State loan guarantee and State loan for KLM*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57116
- European Commission: *Competition. SA.57153 COVID-19 – Aid to Lufthansa*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57153
- European Commission: *Competition. SA.57369 COVID 19 – Aid to TAP*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57369
- European Commission: *State aid: SA.57410 COVID – recapitalisation of Finnair*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57410
- European Commission: *Competition. SA.57543 Denmark – COVID19 recapitalisation of SAS*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_57543
- European Commission: *Competition. SA.58342 Sweden – COVID19 recapitalisation of SAS*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58342
- European Commission: *Competition. SA.58050 State aid for tour operators*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58050

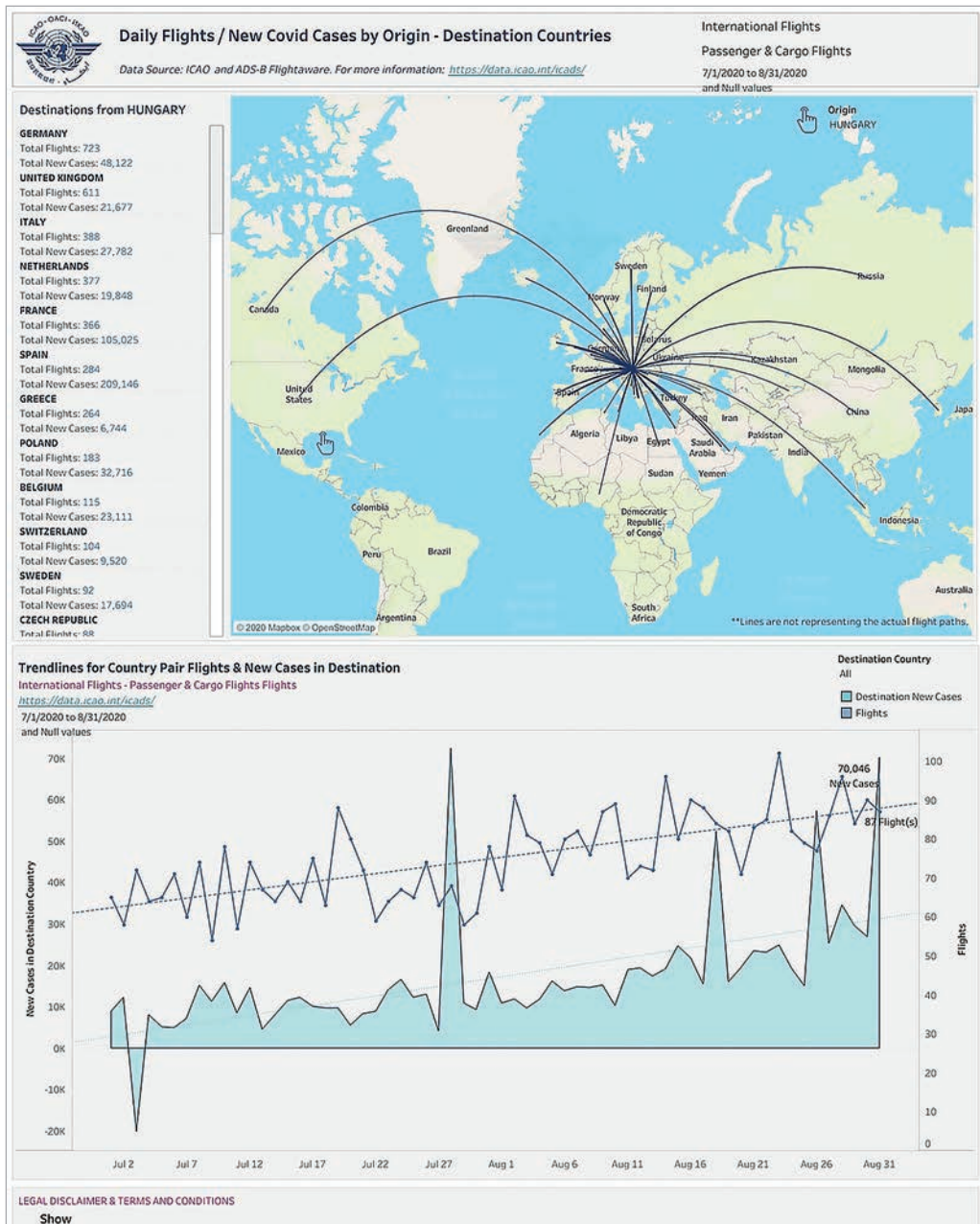
- European Commission: *Competition. SA.58102 COVID-19 support to tour operators and other undertakings active in tourism and culture*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58102
- European Commission: *Competition. SA.58114 Alitalia damage COVID 19 – new*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58114
- European Commission: *Competition. SA.57543 Denmark – COVID19 recapitalisation of SAS, and SA.58342 Sweden – COVID19 recapitalisation of SAS*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58342
- European Commission: *Competition. SA.58212 COVID-19 - Aid scheme for Polish airports*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58212
- European Commission: *Competition. SA.58476 Covid-19 compensation for tour operators*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58476
- European Commission: *Competition. SA.58763 Belgium – COVID-19: Aid to hotels and apart hotels*. Online: https://ec.europa.eu/competition/elojade/isef/case_details.cfm?proc_code=3_SA_58763
- European Commission: *State aid: Commission approves €1 billion Danish and Swedish measure to recapitalise SAS*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1488
- European Commission: *State aid: Commission approves €1.2 billion Portuguese urgent liquidity support to TAP*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1029
- European Commission: *State Aid: Commission approves €6 billion German measure to recapitalise Luthansa*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1179
- European Commission: *State aid: Commission approves €250 million Latvian measure to recapitalise airBaltic*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1274
- European Commission: *State aid: Commission approves €286 million Finnish measure to recapitalise Finnair*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1032
- European Commission: *State aid: Commission approves around €36 million Romanian rescue aid to state-owned flag carrier TAROM*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_312
- European Commission: *State aid: Commission approves Dutch plans to provide €3.4 billion in urgent liquidity support to KLM*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1333
- European Commission: *State aid: Commission approves French plans to provide €7 billion in urgent liquidity support to Air France*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_796
- European Commission: *State aid: Commission approves €199.45 million Italian support to compensate Alitalia for damages suffered due to corona virus outbreak*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1538
- European Commission: *Daily News 27. 07. 2020. State aid: Commission approves €28 million Bulgarian scheme in support of tour operators affected by the corona virus outbreak*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_20_1415
- European Commission: *Daily News, 14. 09. 2020. State aid: Commission approves €1 million Lithuanian scheme to support tour operators repatriating travelers in context of corona virus outbreak*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_20_1642
- European Commission: *Daily News 09. 10. 2020. State aid: Commission approves €15.8 million Belgian scheme to support hotels and apart hotels in Brussels in context of corona virus outbreak*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_20_1869

- European Commission: *Daily News* 22. 09. 2020. *State aid: Commission approves €193 million Polish scheme to support companies operating in the tourism and cultural sector affected by coronavirus outbreak*. Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_20_1724
- Eureporter: *Commission approves €32 million Polish aid scheme to compensate airports for damage suffered due to corona virus outbreak*. Online: www.eureporter.co/frontpage/2020/10/01/commission-approves-e32-million-polish-aid-scheme-to-compensate-airports-for-damage-suffered-due-to-coronavirus-outbreak/
- Five Aero: *Helping aviation recover post Covid-19*. Online: www.fiveaero.com/the-new-normal
- Harper, Lewis: *Creditors approve South African Airways Rescue Plan*. *Flight Global Strategy*, 2020a július 14. Online: www.flightglobal.com/strategy/creditors-approve-south-african-airways-rescue-plan/139282.article
- Harper, Lewis: *How many jobs are airlines cutting due to corona virus?* *Flight Global Strategy*, 2020b. július 15. Online: www.flightglobal.com/strategy%20/how-many-jobs-are-airlines-cutting-due-to-coronav%20irus/139262.article
- Harper, Lewis: *Lufthansa halves new-aircraft intake and cuts jobs*. *Flight Global Strategy*, 2020c. július 7. www.flightglobal.com/strategy/lufthansa-halves-new-aircraft-intake-and-cuts-jobs/139171.article
- HungaroControl: *A koronavírus jelentős visszaesést hozott a légi közlekedésben*. 2020. március 13. Online: www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/a-koronavirus-jelentos-visszaesest-hozott-a-legikozlekedesben
- HungaroControl: *Továbbra is mélyrepülésben a légi közlekedés*. 2020. október 5. Online: www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/tovabbra-is-melyrepulesben-a-legi-kozlekedes
- IATA: *France. Air Transport Regulatory Competitiveness Indicators 2019*. Online: www.iata.org/contentassets/60c9431796f041f084efc0270f540231/france-competitiveness-index-report-2019.pdf
- ICAO: *Active Fleet Comparisons by Aircraft Types*. Online: <https://data.icao.int/coVID-19/aircraft.htm>
- ICAO: *ADS-B Implementation and Operations Guidance Document*. Online: www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/ADSB_AIGD7.pdf
- ICAO: *COVID-19 Air Traffic Dashboard*. Online: www.icao.int/sustainability/Pages/COVID-19-Air-Traffic-Dashboard.aspx
- ICAO: *COVID-19 Air Traffic Dashboard Disclaimer*. Online: www.icao.int/sustainability/Pages/COVID-19-Air-Traffic-Dashboard-Disclaimer.aspx
- ICAO: *Economic Impact – Air carriers*. Online: <https://data.icao.int/coVID-19/economic.htm>
- ICAO: *Economic Impact – Airports*. Online: <https://data.icao.int/coVID-19/airports.htm>
- ICAO: *Economic Impact – ANSP*. Online: <https://data.icao.int/coVID-19/ansp.htm>
- ICAO: *Economic Impacts of COVID-19 on civil aviation*. Online: www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx
- ICAO: *Operational Impact on Air Traffic*. Online: <https://data.icao.int/coVID-19/operational.htm>
- Josephs, Jonathan: *Corona virus: Emirates set to cut 9,000 jobs citing pandemic*. BBC News, 2020. július 10. Online: www.bbc.com/news/business-53369463
- ICAO: *Resolution A-40-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*. Online: www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A40-18_Climate_Change.pdf

- Josephs, Leslie: *A flood of job losses looms as airline industry struggles in pandemic*. 2020. augusztus 16. Online: www.cnn.com/2020/08/16/a-flood-of-job-losses-looms-as-airlines-industry-struggle-in-coronavirus-pandemic.html
- Juin, Thomas: *Taxe kérosène: attention aux effets pervers!* *Les Echos*, 2019. március 29. Online: www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/opinion-une-taxe-kerosene-sur-les-vols-domestiques-ag-graverait-la-fracture-territoriale-1004607
- Kaminski-Morrow, David: *Committee accuses BA of 'calculated' bid to shed staff during crisis*. *Flight Global Strategy*, 2020a június 13. Online: www.flightglobal.com/airlines/committee-accuses-ba-of-calculated-bid-to-shed-staff-during-crisis/138824.article
- Kaminski-Morrow, David: *Over 30 Russian carriers seek government pandemic subsidies*. *Flight Global Strategy*, 2020b június 4. Online: www.flightglobal.com/airlines/over-30-russian-carriers-seek-government-pandemic-subsidies/138686.article
- Kingsley-Jones, Max: *Air France to shed over 7,000 jobs as part of €7 billion bail-out*. *Flight Global Strategy*, 2020a július 4. Online: www.flightglobal.com/strategy/air-france-to-shed-over-7000-jobs-as-part-of-7-billion-bail-out/139153.article?adredir=1
- Kingsley-Jones, Max: *Qatar plans near 20% staff and fleet cuts; pledges support for investments*. *Flight Global Strategy*, 2020b május 13. Online: www.flightglobal.com/airlines/qatar-plans-near-20-staff-and-fleet-cuts-pledges-support-for-investments/138360.article
- Novoszáth Péter: *Az irányítópultok (dashboardok) néhány lehetséges alkalmazása a közsférában*. *Controller Info*, 8. (2020) 1. 31–33.
- Palierse, Christophe – Lionel Steinmann – Bruno Trévidic: *Le gouvernement crée une éco taxe sur les billets d'avion dès 2020*. *Les Echos*, 2020. július 10. Online: www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/le-gouvernement-cree-une-eco-taxe-sur-les-billets-davion-des-2020-1036753
- The Asean Post: *Air Asia to emerge stronger for pandemic: Fernandes*. 2020. július 13. Online: <https://theaseanpost.com/article/airasia-emerge-stronger-pandemic-fernandes>
- Thurzó Katalin: *Magyar tulajdonban sikeres lehet a légitársaságok újraindulása*. *Magyar Nemzet Online*, 2020. október 15. Online: <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/magyar-tulajdonban-sikeres-lehet-a-legi-turizmus-ujraindulasa-8810702/> Letöltés:
- Trévidic, Bruno: *Le transport aérien français n'est pas assez compétitif, selon l'IATA*. *Les Echos*, 2019. május 19. Online: www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/le-transport-aerien-francais-nest-pas-assez-competitif-selon-liata-1018481
- Trévidic, Bruno: *Le transport aérien menacé d'une écotaxe à 4,2 milliards d'euros*. *Les Echos*, 2020. szeptember 11. Online: www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/le-transport-aerien-menace-dune-ecotaxe-a-42-milliards-deuros-1241461
- Trévidic, Bruno – Derek Perrotte: *La France veut désormais une taxe européenne sur le transport aérien*. *Les Echos*, 2019. június 6. Online: www.lesechos.fr/industrie-services/tourisme-transport/la-france-veut-desormais-une-taxe-europeenne-sur-le-transport-aerien-1027143
- Waldron, Greg: *Air New Zealand dubious about long-haul flights before 2021*. *Flight Global Strategy*, 2020a június 8. Online: www.flightglobal.com/fleets/air-new-zealand-dubious-about-long-haul-flights-before-2021/138721.article
- Waldron, Greg: *Auditor questions AirAsia Group's survival*. *Flight Global Strategy*, 2020b július 8. Online: www.flightglobal.com/strategy/auditor-questions-airasia-groups-survival/139189.article
- Wolfsteller, Pilar: *Air Canada raises additional C\$1.23bn in cash*. *Flight Global Strategy*, 2020a június 22. Online: www.flightglobal.com/strategy/air-canada-raises-additional-c123bn-in-cash/138948.article

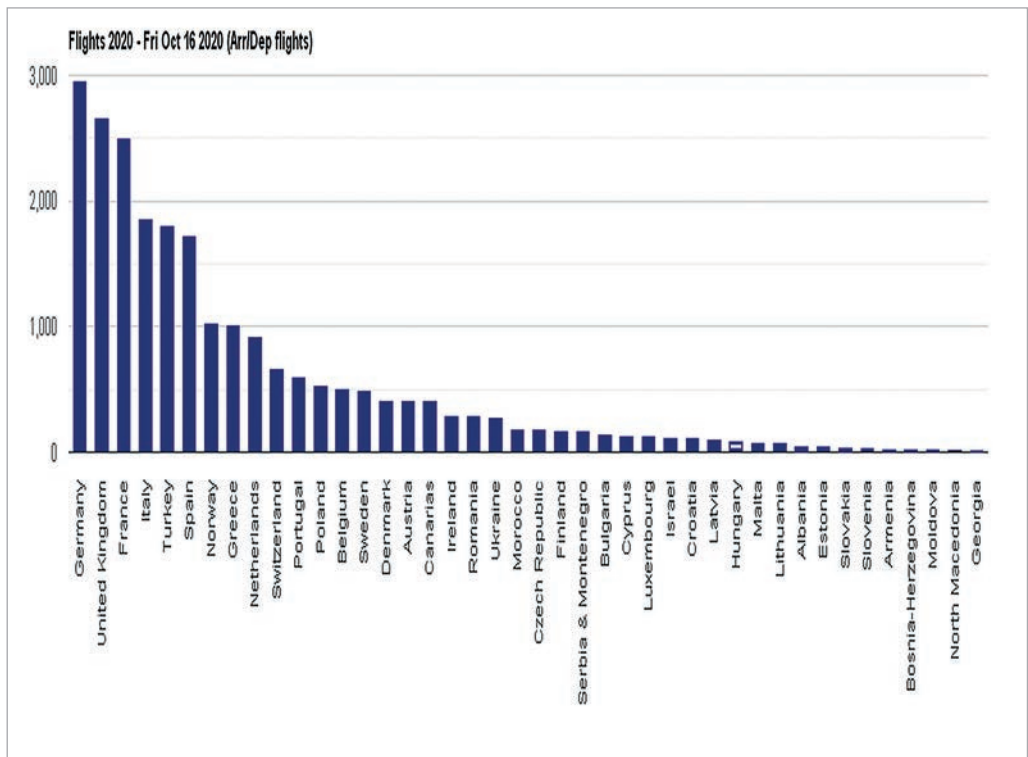
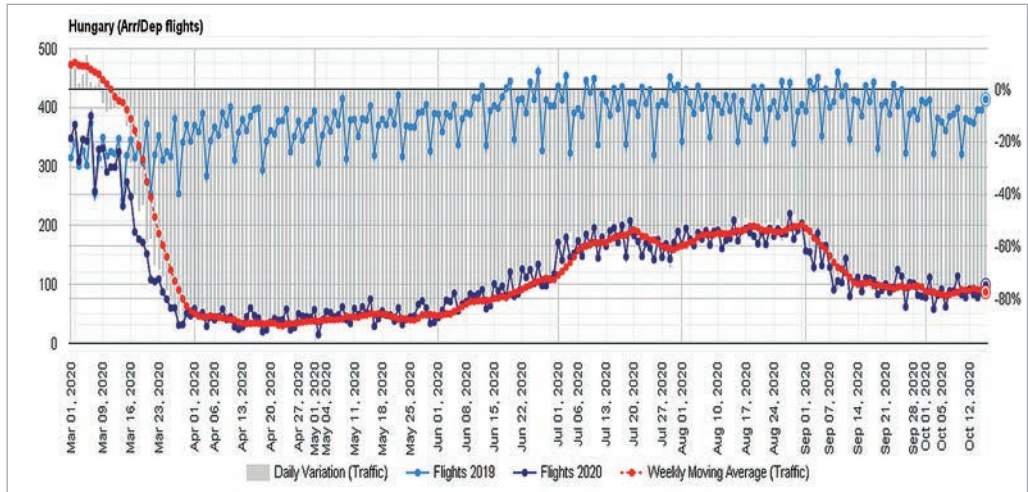
- Wolfsteller, Pilar: IATA re-ups calls on Latin American governments to support airlines. *Flight Global Strategy*, 2020b június 15. Online: www.flightglobal.com/strategy/iata-re-ups-calls-on-latin-american-governments-to-support-airlines/138837.article
- Wolfsteller, Pilar: United warns 36,000 employees their jobs are danger. *Flight Global Strategy*, 2020c július 8. Online: www.flightglobal.com/strategy/united-warns-36000-employees-their-jobs-are-in-danger/139206.article?adredir=1
- Wolfsteller, Pilar: WestJet permanently cuts more than 3,000 jobs. *Flight Global Strategy*, 2020d június 24. Online: www.flightglobal.com/strategy/westjet-permanently-cuts-more-than-3000-jobs/138987.article
- Zsoldos Ákos: Koronavírus-válság Magyarországon: az ország vérkeringését is megbénította a járvány. *Portfolio, Gazdaság*, 2020. április 22. Online: www.portfolio.hu/gazdasag/20200422/koronavirus-valsag-magyarorszagon-az-orszag-verkeringeset-is-megbenította-a-jarvany-427508

1. Appendix: Napi nemzetközi járatok Magyarországról, 2020. július 1. és 2020. augusztus 31. között



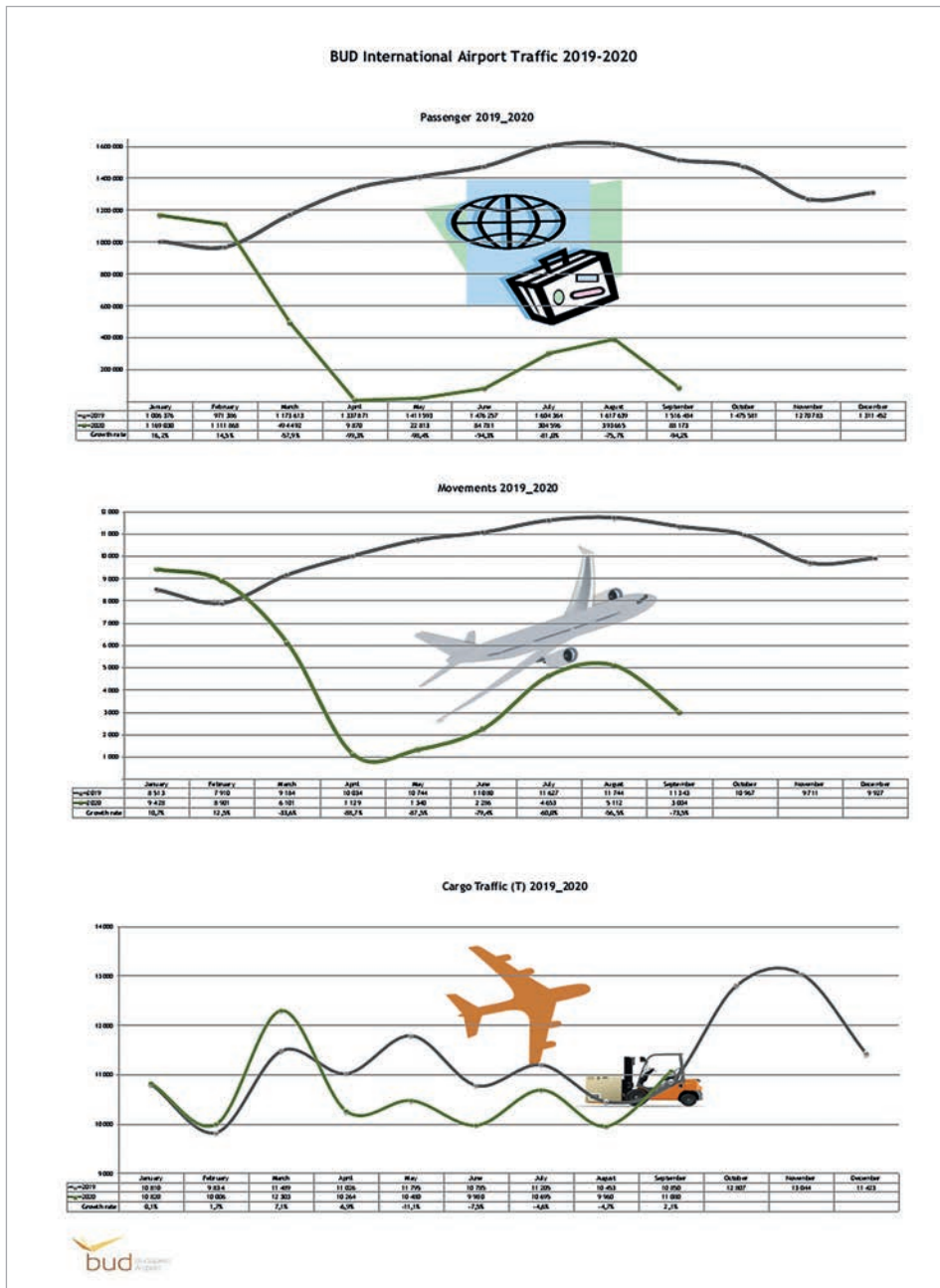
Forrás: <https://data.icao.int/coVID-19/country-pair.htm>

2. Appendix: A napi légtér forgalom változása Magyarországon, 2020. március 1. és 2020. október 12. között



Forrás: Eurocontrol, www.eurocontrol.int/Economics/DailyTrafficVariation-States.html

3. Appendix: A Budapesti Nemzetközi Repülőtér forgalmának alakulása, 2019 – 2020



Forrás: Budapest Airport, www.bud.hu/budapest_airport/letoltheto_dokumentumok/statistikak/forgalmi_jelentesek

Vákát

Pszichometria és pszichomotoros vizsgálatok alkalmazása a repüléstudományi kutatásban

Absztrakt

A tanulmány bemutatja a pszichológiai vizsgálatokat a pszichológiatudomány rendszerében, ezen belül áttekinti röviden a kutatási terület kialakulásának rövid történetét, a munkalélektan és alkalmassági vizsgálatok elméleti alapjait és alkalmazási területeit a repülésben. Ismerteti a kutatási módszereket, a vizsgálatok műszereit és berendezéseit és az értékelési módszereket. Bemutatja az alkalmazott pszichológiai vizsgálati rendszereket a repülésben napjainkban, és ismerteti, milyen hatása van a tudományos-technikai fejlődésnek az alkalmasságvizsgálatokkal szembeni szakmai követelmények változásaira. Ismerteti a pszichomotoros és a pszichometriai vizsgálatokat, a Vienna tesztrendszert, valamint a pszichometria alkalmazásának lehetőségeit a pilóták és UAV-operátorok értékelésében.

Bevezetés

A repülésben mérhető fizikai mennyiségek és folyamatok játsszák a fő szerepet, és a mérés minden fázis – tervezés, gyártás, tesztelés, ellenőrzés, alkalmazás – elengedhetetlen része. Ezért ha egy, a repüléssel kapcsolatos, munkában egy fejezetnek a mérésről kell szólnia, senki sem lepődik meg, hiszen ez természetes. Ahogy fejlődik a technika, és ennek feltételeként a technológia, úgy halad a méréstudomány, úgy kerülnek egyre modernebb és egyre finomabb mérési eljárások használatba. Mégis, elég gyakran, és a technika haladása ellenére is, több-kevesebb rendszerességgel előfordulnak légi (vagy néha földi) balesetek, vesznek el gépek és sokszor velük együtt a gépet vezető pilóták és a bennük tartózkodó utasok is. Ez alól – még akkor is, ha ezekről keveset tud és hall a nyilvánosság – sajnos a katonai repülés sem kivétel, sőt – ha hinni lehet a rejtett statisztikáknak – talán még gyakrabban fordulnak elő balesetek ezen a területen. Hogy lehet az, hogy a magas technikai színvonalú, a civil technikát magasan meghaladó fejlettségű katonai légi járművek körében is gyakoriak a balesetek, még békeidőben is (nem beszélve a harci helyzetekről)? Hogy még gyakrabban, különösen a katonai repülés területén, a tervezett vagy előírt akció válik sikertelenné, vészhelyzet alakul ki, vagy nem megfelelő a résztvevők közötti együttműködés, esetleg az alkalmazott technika válik valamilyen módon alkalmatlanná a kívánt tevékenységre (noha technikai zavar nem mutatható ki).

Csak egyféle logikus magyarázat lehetséges: a légi járműveket érő balesetek jelentős részét emberi tényező okozza. Szemben a technikával ugyanis, az ember, akármilyen jól képzett, akármilyen tapasztalt, akármilyen koncentrált is, könnyen követ el hibákat, ami

egy ilyen helyzetben jelentős eséllyel katasztrófához vezethet. Ne gondoljuk, hogy csak pilóták lehetnek egy légi baleset okozói (noha valószínűleg ez a leggyakoribb), hiszen akár a légi irányítás (meglepően sokszor) vagy a földi kiszolgáló személyzet (például a szerelők, sőt néha az előjárók is) vétethetnek olyan hibákat, amelyek egy vagy több gép balesetéhez vezetnek. Eddig – hallgatólagosan – feltételeztük, hogy a repülésben részt vevők jól képzettek, tapasztaltak, koncentráltak, de világos, hogy ez messze nem mindenre és mindenkor igaz. Számos olyan pszichés probléma, forgalmi vagy szervezési helyzet, váratlan változás lehet, ami mindezeket felülírja, alkalmasint törli is, nem is beszélve arról, hogy vannak újoncok, valamiért nem teljesen kiképzett, tapasztalatlan pilóták vagy kiszolgálók, akikre mindez nem mindig igaz. És sajnos, lássuk be, a koncentráció, a figyelem összpontosítása sem mindig tökéletes, esetleg hosszabb-rövidebb időre ki is maradhat. Világos, hogy ez utóbbi körülmények jelentősen megnövelik a légi baleset vagy hibás végrehajtás valószínűségét, még akkor is, ha a többi részt vevő személyzet hiba nélkül, netán tökéletesen végzi a munkáját.

A fentiekből következik, hogy nem elég a gépek és a járulékos eszközök állapotát folyamatosan ellenőrizni, hanem valahogy az emberi állapotokat, a repülésre való alkalmasságot is mérni kellene. Ahogy azonban a technikai eszközök mérésére és felmérésére egyre bonyolultabb, egyre komplexebb és egyre magasabb színvonalú mérőeszközök és módszerek állnak rendelkezésre, és nagyjából világos és egyértelmű, hogy miket kell mérni rendszeresen vagy alkalmanként, az emberi tényező mérésére vonatkozó eszközrendszer, és főleg módszertan, még messze nem ilyen fejlett. Különösen igaz ez akkor, ha figyelembe vesszük, hogy az eszközök állapota viszonylag hosszú távon stabil, hogy egyes változások előre jósolhatók, és sok fizikai/matematikai módszer áll rendelkezésre ahhoz, hogy viszonylag egyértelműen el lehessen dönteni, egy légi jármű vagy a technikai háttéreszköz alkalmas-e általában és aktuálisan a használatra; míg az emberi tényező messze nem jósolható meg ilyen biztonsággal, hiszen az állapota hirtelen is változhat, gyakran instabil, és néha megmagyarázhatatlanul változik akkor is, ha erre semmi külső ok nincs, semmilyen jel nem mutat. És mégis, ha komolyan vesszük azt az állítást, hogy a légi baleseteknek vagy az eltervezett akciók sikertelenségének gyakran az emberi tényező az oka, nem tehetünk mást, mint ez utóbbit is valahogy mérni kell!¹

A következőkben tehát körülnézzünk az emberi tényező mérésére alkalmas módszerek és eljárások körében. Nem kis meglepetéssel tapasztalhatjuk, hogy nagyon sokféle módszer, sőt megközelítés létezik, a feladattal birkózó szakember vagy kutató sokszor a bőség zavarával küzd, nem a hiánnyal. Egy lehetséges út tehát, ha, legalább kezdetnek, megpróbáljuk a mérési módszereket csoportosítani, és megvizsgálni, melyek azok, amelyeket az itt megfogalmazott problémakör megoldására használhatunk.²

A pszichológiával kapcsolatos nemzetközi irodalom zöme angol nyelven íródik, sok esetben a teszteknek és eljárásoknak is angol az elnevezése. A tudományos alap- és alkalmazott kutatásra ezenfelül legtöbb anyagi háttér az Amerikai Egyesült Államokban van, ott van lehetőség teljes pszichometria és pszichofiziológiai mérőrendszerek kialakítására

¹ Horváth György: *Az értelem mérése*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1991.

² Ádám György: *Pszichofiziológia*. Budapest, Gondolat, 1972.

és vizsgálatára.³ Ezért a következőkben minden tesztet és eljárást megemlítünk az eredeti angol elnevezéssel (de megadjuk a magyar elnevezést is természetesen), és az általunk idézett gyakorlat és elvek egy jelentős része is az USA-ból származik.⁴

Pszichológiai vizsgálatimódszer-csoportok⁵

Intelligencia

A nem szakemberek számára talán legismertebb eljárások a mentális (szellemi) képességeket vizsgálják. Ha szakszerűen akarjuk ezeket összefoglalni, akkor lényegében az úgynevezett „intelligencia” mérésére szolgáló eljárások tartoznak ide.⁶ Magának az intelligencia fogalmának tulajdonképpen nincs jó definíciója, bár nagyjából mindenki ugyanazt érti alatta, sőt viszonylag egyformán is becsüli egy-egy személy intelligenciaszintjét. Wechsler próbálkozott egy meghatározással (1939), miszerint „az intelligencia az egyéneknek az az összetett és globális képessége, amellyel képesek célszerűen cselekedni, ésszerűen gondolkodni és a környezethez hatékonyan alkalmazkodni”.⁷ Bár ez elég jónak tűnik, arra sajnos kevésbé alkalmas, hogy ennek alapján méréseket tervezzenek. Ennek ellenére többféle módszer is létezik az intelligencia mérésére, amelyek többnyire számszerű értékeket eredményeznek. A legismertebb a Wechsler Felnőtt Intelligencia Skála (Wechsler Adult Intelligence Scale [WAIS-III]), amely az egészséges felnőttek mentális képességeinek és életkorának hányadosa (100-al szorozva). Ez az úgynevezett intelligenciahányados (intelligence quotiens [IQ]) az egyik legismertebb pszichológiai mérőszám. Ennek a tesztnek a mai formája a szóbeli (verbális) és végrehajtási (performációs) képességeken kívül az érzékelési (perceptuális) képességek, valamint a feldolgozási sebesség és a munkamemória-folyamatok vizsgálatát is magában foglalja.⁸ Ugyancsak a mentális képességek vizsgálatára fejlesztették ki a Raven-féle progresszív mátrixok rendszerét is, amely többféle tesztet is magában foglal, igazodva a vizsgált személy életkorához, illetve teljesítményéhez.⁹

³ Kenneth Hugdahl: *Psychophysiology. The Mind-Body Perspective*. Cambridge, MA, USA, Harvard University Press, 1995.

⁴ Gary G. Berntson – Karen S. Quigley – David L. Lozano: Cardiovascular Psychophysiology. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK., Cambridge University Press, 2000. 182–210; John L. Andreassi: *Human behavior and physiological response*. Mahwah, NJ, USA, Lawrence Erlbaum, 2000.; John L. Andreassi: *Psychophysiology. Human behavior and physiological response*. New York, Psychology Press – Taylor and Francis Group, 2007.

⁵ M. Fabiani – G. Gratton – K. D. Federmeier: Event-Related Brain Potentials: Methods, Theory, and Applications. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 85–119.

⁶ Oláh Attila: *Pszichológiai alapismeretek*. Budapest, Bölcsész Konzorcium, 2006.

⁷ Csépe Valéria – Györi Miklós – Ragó Anett: Általános pszichológia 3. Nyelv, tudat és gondolkodás. Budapest, Osiris, 2008.

⁸ Stephen Jay Gould: *Az elméricskél ember*. Budapest, Typotex, 1999.

⁹ Bárdos György: *Viselkedés kívül-belül*. Budapest, ELTE, 2012.; Bárdos György: *Viselkedéseletlan I. Pszicho vegetatív kölcsönhatások*. Budapest, Scolar, 2003.

Személyiség 1.

A pszichológiai mérőeszközök második csoportjába a személyiség struktúráját, mélyebb rétegeit vizsgáló úgynevezett projektív személyiségtesztek tartoznak. Ezek lényegében leginkább a klinikai gyakorlatban, főleg diagnosztikai, illetve terápia-előkészítés céljára használt eljárások, amelyek lényege, hogy nem tesznek lehetővé könnyen kiválasztható standard válaszokat, hanem a vizsgált személynek értelmezést kell adnia, amely magában foglalja a mélyebben elrejtett, belső folyamatokat is.¹⁰ Ilyen módszerek a tintafoltszerű képekre adott értelmezések (például a Rorschach-próba), a történeteket rekonstruáló eljárások (például a TAT), a kártyák rendezésén alapuló módszerek (például a Szondi-teszt), a nyitott végű, befejezetlen történetek kiegészítésére épülő eljárások (például a mondatbefejezési tesztek), valamint a rajzos vagy játékos érzelmvizsgáló módszerek. Minthogy ezek a módszerek elsősorban diagnosztikai célra alkalmazhatók, és komoly speciális kiképzést igényelnek, a továbbiakban nem foglalkozunk velük.¹¹

Személyiség 2.

Léteznek azonban a személyiség vizsgálatára alkalmazható strukturált személyiség-kérdőíves módszerek is. Ezek lényege az, hogy jól meghatározott és megfogalmazott kérdésekre világos és egyértelmű válaszok adhatók, amelyeket az adott kérdőívhez kidolgozott pontrendszer szerint lehet értékelni. Ezáltal konkrét mérőszámokhoz lehet jutni az adott személyiségprobléma vonatkozásában, azaz ezek az eljárások megközelítik az objektív mérés kritériumait. A strukturált kérdőíves módszerek közös sajátossága, hogy önjellemzésen alapulnak, azaz a vizsgált személynek meg kell ítélnie, hogy az adott kérdésre adandó válaszok közül melyik jellemző rá, illetve egy-egy adott kérdésre definitív választokat kell adnia. A projektív tesztekkel összehasonlítva a strukturált vizsgálatokban van módja a válaszolónak meggondolnia, és tudatosan kiválasztania a választ, amit sok tényező befolyásolhat, viszont cserébe jól mérhető és összehasonlítható, közvetlenül értelmezhető válaszokat kapunk. A szubjektív elemek okozta lehetséges torzításokat a kérdőívek ügyes szerkesztésével, az ugyanarra az elemre vonatkozó kérdések alkalmas megfogalmazásával (például negatív minta szerinti fordítással) csökkenteni lehet.

A strukturált személyiségtesztek a pszichológiai vizsgálmódszerek egyik legszélesebb csoportját képviselik, amelyeket sokféleképpen lehet csoportosítani. Számunkra, a jelen témakör szempontjából, talán a legfontosabb a felhasználási terület szerinti csoportosítás, amely lehet klinikai gyakorlat, kutatás, szervezetpszichológia, munkalélektan, oktatás, nevelés vagy akár sport is. Oláh és munkatársai (2006) szerint „a személyiséget a viselkedés, a gondolkodás és az érzelmek olyan jellegzetes mintázataként definiálhatjuk,

¹⁰ Donald W. Fiske: A személyiség mérésének problémái. In Szakács Ferenc – Kulcsár Zsuzsanna (szerk.): *Személyiséglélektani szöveggyűjtemény. I.* Budapest, Tankönyvkiadó, 1982. 301–323.

¹¹ Rózsa Sándor et al.: Az érzelmi arcfelismerés jelentősége és mérése a pszichológiai kutatásokban: Az Ekman 60 Arc Tesztrel szerzett hazai tapasztalatok. *Pszichológia*, 32. (2012), 3. 229–251.

amely meghatározza az egyén környezethez való alkalmazkodását”. A személyiség, egy adott személyt tekintve – hacsak valami drasztikus életesemény nem történik – viszonylag stabil, viszont a populációkat tekintve nagy egyéni változatosságot mutat.¹²

Ennek megfelelően sokféle személyiség-kérdőív létezik, amelyek áttekintése meghaladja e fejezet kereteit, ezért csak néhányat emelünk ki a lehetséges és választható eljárások közül (és itt azok részletes ismertetésétől is eltekintünk). Az úgynevezett Nonverbális Személyiség-kérdőív (NPQ) a korábban ismertetett projekciós tesztekől abban különbözik, hogy a rajzok/képek jól meghatározható élethelyzeteket ábrázolnak, és a vizsgált személynek azt kell eldönteni, jellemző-e rá az adott élethelyzet. Ezt a tesztet széles körben használják alkalmasságvizsgálatokban is.

Az egyik – hazai fejlesztésű – tesztrendszer másféle elven alapul, elsősorban azokat a kapacitásokat vizsgálja, amelyek segítségével az egyén ellen tud állni a stressznek, és amelyek révén olyan viselkedésmintázatokat tud generálni, ami a stresszes helyzetekben a lehető legnagyobb mértékben csökkenti azok hatását. Ezt a képességet nevezte Oláh¹³ pszichológiai immunrendszernek, és mérésére fejlesztette ki az úgynevezett Pszichológiai Immunkompetencia Kérdőívet (PIK). A módszer kiválóan alkalmas annak vizsgálatára, hogy egy adott személy különböző helyzetekben hogyan, milyen mintázatokkal reagál, mennyire képes egy kritikus környezetben adekvátan viselkedni.

Egy harmadik, nagyon széles körben alkalmazott vizsgálati módszer a Spielberger-féle Állapot- és Vonásszorongás Kérdőív (Spielberger Trait-State Anxiety Inventory [STAI]). A pszichológia már nagyon régen felfigyelt arra, hogy a viselkedés- és reakciómintázat egyik meghatározó eleme a szorongás. Az is világossá vált, hogy a szorongásra való hajlam egyfajta állandó személyiségvonás, amely általában jellemzi az egyén reakcióját egy kritikus, szorongáskeltő helyzetben (sőt azt is, hogy nagyjából melyek azok a helyzetek, amelyek a számára többnyire szorongást keltenek). Emellett azonban minden aktuális helyzetnek is van szorongási eleme, amely a belső szorongási állapotot változtatossá és aktuálissá teszi (ráépülve persze a személyiségvonásra), és kellemetlen érzelmi állapot, félelem és aggodalom formájában jelentkezik. A STAI kiemelkedő sajátossága, hogy két alskálája révén mindkét szorongást mérni tudja. A vonásszorongást is és az állapotszorongást is 20-20 tételes teszt méri, és a kettő külön-külön is alkalmazható: míg a vonásszorongást egyszer is elég felmérni, az állapotszorongás minden helyzetben, akár egy adott vizsgálat során többször is felmérhető.

A személyiségvizsgálatok egy más irányát képviselik a vonás alapú eljárások. Ezek a korábbi tipológiai elméletek nyomán alakultak ki, és számos változatuk jött létre. Itt már sokféle dimenziót feltételeznek, némelyik teszteljárás akár 16 különbözőt tartalmaz. A vonás alapú eljárások közül az Eysenck-féle két, majd három dimenzió alapulók váltak korábban népszerűvé. A kétdimenziós megközelítésben az introverzió-extroverzió, illetve

¹² Rózsa Sándor – Kő Natasa: Mindennapos testi problémák tünetpercepciók modellje. In Demetrovics Zsolt – Kökönyei Gyöngyi – Oláh Attila (szerk): *Személyiséglélektantól az egészségpszichológiáig*. Trefort, 2007. 111–133.

¹³ Oláh Attila: Megküzdés és pszichológiai immunitás. In Pléh Csaba – Boross Ottilia (szerk.): *Bevezetés a pszichológiába: Olvasmányok és feladatok a lélektan alapkérdéseinek tanulmányozásához*. Budapest, Osiris, 2004. 631–664.

az érzelmi labilitás (neuroticizmus)-stabilitás dimenziók képezték a vizsgálat elméleti háttérét, a személyiséget ezek kétdimenziós együttese írta le. Később egy harmadik dimenziót tettek hozzá, ennek neve pszichoticizmus. Az ezen az elven alapuló vizsgálómódszer az Eysenck-féle Személyiség-kérdőív (Eysenck Personality Questionnaire [EPQ]).

Az utóbbi időkben a személyiség struktúrájáról egy ötfaktoros (ötdimenziós) elképzelés terjedt el. Ezt nevezték el a Nagy Ötök (Big Five) megközelítésének, amely tehát 5 dimenzió mentén vizsgálja a személyiség struktúráját: extraverzió, barátságosság, lelkiismeretesség, érzelmi stabilitás és nyitottság. Bár az ötdimenziós személyiségvizsgálatok céljára több tesztet is kifejlesztettek, itt csak egyet említünk meg: a Caprara-féle Nagy Öt Kérdőívet (Big Five Questionnaire [BFQ]). Az ötdimenziós pszichometriai eljárások hazánkban is nagyon népszerűek, szinte valamennyit lefordították, és jelenleg is tesztelik nagyobb magyar mintákon (ELTE PPK Pszichológiai Intézet).

A személyiséget vizsgáló tesztek egy harmadik csoportját elsősorban klinikai célokból fejlesztették ki. Ezekben általában és leggyakrabban az enyhe pszichés zavarok kiszűrése, illetve kimutatása a cél, tulajdonképpen annak eldöntése, hogy egy adott személy esetében indokolt-e (és milyen irányban) pszichológiai/pszichiátriai kezelés vagy figyelem. Minthogy ezek többnyire sokdimenziós mérőeszközök, alkalmasak lehetnek nagy populációk szűrésére, különösen olyan területeken, ahol az enyhe fokú pszichés eltérés is jelentős kockázati tényező lehet. Ezen eljárások közül népszerűségénél, és alkalmazásának gyakoriságánál fogva kiemelkedik a Minnesota Többtényezős Személyiségleltár (Minnesota Multiphasic Personality Inventory [MMPI]). Ezt a sok kérdésből álló tesztet egész szakmai populációkon is könnyen fel lehet venni, ezért gyakran használják szakmai csoportokba való bekerüléskor szűrésre (például bizonyos szakmáknál képzési felvételik során). Hasonló elven, részben az MMPI tapasztalataira is építve hozták létre a Kalifornia Pszichológiai Kérdőív (California Psychological Inventory [CPI]) nevű tesztrendszer, amely valamivel rövidebb az MMPI-nál, de szűrésre szintén jól használható.

Diagnózis és tünetek

A pszichológiai tesztek egy újabb csoportját képezik a diagnosztikai eszközök és tünetbecslő skálák. Mivel ezeket elsősorban a klinikai jelentőségű, illetve klinikai gyakorlatban előforduló pszichológiai/pszichiátriai eltérések kimutatására, tipizálására és súlyosságának becslésére fejlesztették ki, itt nem foglalkozunk velük részletesen.¹⁴ Mindössze két aspektust érdemes megemlíteni. Az egyik az interjú módszere, amelyben a vizsgált személy(ek) és a vizsgáló közvetlen, személyes, szemtől szembe helyzetben találkozik, és az utóbbinak módja van a kérdéseket illető változtatásokra. Az interjú lehet struktúrálatlan, amikor szabadon megfogalmazott, nyitott kérdéseket tesznek fel, és a kliens is szabadon válaszolhat. Ennek a módszernek – a szabadságbeli előnye mellett – nagy hátránya, hogy nehezen számszerűsíthető (kvantifikálható), így tényleges mérésre nemigen

¹⁴ Fekete László et al.: Non-invasive electro-gastro-intestinogram (EGIG) recording under physiological conditions. *AARMS: Academic & applied research in military science*, 13. (2014) 3. 493–505.

alkalmas. Újabban próbálkoznak tartalomelemzés segítségével valamiféle mennyiségi elemzéssel is, de ez sok időt igényel, és több ember párhuzamos elfoglaltságával is jár. A strukturált interjúk, ezzel szemben, jól meghatározott, egyszerűen és közvetlenül megfogalmazott kérdésekből állnak, sokszor megadott lehetőségek közül kell választani, vagy azokra kell reflektálni. Ez a módszer azért érdemel itt említést, mert gyakran használják munkaerő-kiválasztásnál is, akár szűrésre (ezek többnyire egyszerű, rövid, direkt interjúk), illetve a kiválasztás magasabb szintjein arra, hogy felmérjék, a jelölt mennyire motivált, milyenek a képességei, a tapasztalatai, a készségei, és milyen az igény szintje.¹⁵

A másik említendő módszer a tünetbecslő skálák közé tartozó Beck Depresszió Kérdőív (Beck Depression Inventory [BDI]). Ezt a depressziós állapotok súlyosságának mérésére fejlesztették ki, a tünetek skálázásának segítségével becsüli a depresszió milyenségét. A depresszió vonatkozásában nehézzé teszi a vizsgálatot az a tény, hogy léteznek átmeneti, enyhe depresszióra emlékeztető vagy annak néhány tünetét enyhén mutató állapotok, amelyek besorolása betegségként eléggé kérdéses. Szokás ezeket – a megkülönböztetés kedvéért – depresszív állapotoknak nevezni, bár az átmenet a depresszív állapot és a klinikai depresszió között nem éles, és főleg nehezen kategorizálható. Ez indokolja azt, hogy a BDI-t, elsősorban egy-egy aktuális élethelyzetben, vagy nagyobb populációk esetében – egészséges (vagy annak tűnő) csoportokon is alkalmazzák, illetve gyakran veszik fel más, állapotvizsgáló tesztekkel együtt viselkedési határhelyzetekben lévő emberek esetében is.

Fontos lehet az érzelmi állapot felmérése is, akár rövid, akár hosszú távon. Erre való az önkítöltős Pozitív és Negatív Affektivitás Skála (Positive and Negative Affect Schedule [PANAS]), amely egymástól függetlenül méri a pozitív, illetve negatív affektív állapotokat, mégpedig akár a közvetlenül megelőző (gyakorlatilag jelen) időszakra, akár korábbi, hosszabb periódusra vonatkoztatva egyaránt. Használható arra is, hogy a személy általános érzelmi viszonyulását mérték fel vele, de arra is, hogy egy gyors jellemzést adjanak az éppen aktuális érzelmi állapotokról.¹⁶

Nemklinikai módszerek

Az eddigiekben főleg pszichológiai, illetve pszichiátriai alapmérésekről, illetve a normálistól való eltérések jellemzésére szolgáló vizsgálatokról volt szó, de a pszichometriának vannak speciális – úgynevezett nemklinikai ágai is (szokták alkalmazott pszichológiának is hívni). Ilyen speciális terület a munka világa, azaz a munkaerő-kiválasztás, az alkalmasságvizsgálatok, a teljesítményelemzések, a munkaszervezés pszichológiai aspektusai stb. Ezt a területet szokták humánerőforrás- (human resourcement [HR]) menedzsmentnek is nevezni, ebben az értelemben a pszichológiai mérések ennek csak egy részterületét

¹⁵ Robert M. Stern et al.: Gastrointestinal response. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 211–230.

¹⁶ Frederick M. Siem: Predictive validity of an automated personality inventory for Air Force pilot selection. *The international journal of aviation psychology*, 2. (1992), 4. 261–270.

jelentik.¹⁷ Szemben a klinikailag releváns pszichometriával, ahol a mélység és szélesség egyaránt fontos szempont, míg az időfaktor és a létszám nem különösebben lényeges, a HR-munkában gyakran kell speciális, szűkebb, alkalmasint felületesebb információkat szerezni nagyszámú emberről, és gyorsan. A teszteknek tehát, amelyeket a HR-munkában használnak, egyszerűeknek, gyorsan kitölthetőeknek, széles körben és párhuzamosan, nagyobb létszámra is alkalmazhatóknak kell lenniük.

Ennek érdekében az utóbbi időben megpróbálták a munkaerő-pszichológiában használatos elveket formalizálni, azaz mennyiségi egységek formájában előállítani, ezáltal ezek alkalmassá váltak a számítógépes elemzésre. Innen már csak egy lépés volt az, hogy a formalizált elméleti rendszert összekössék a folyamatosan alakuló, a fentiek értelmében viszonylag egyszerű szerkezetű tesztekkel, és létrejőjenek az úgynevezett számítógépes szakértői rendszerek. Ezek nem arra valók, hogy a pszichológiát kikapcsolják, hanem arra, hogy a tesztelést gazdaságossá tegyék. Egy bonyolult teszt kiértékelése ugyanis igen hosszú, fáradságos és nagy figyelmet igénylő munka, nagyszámú alany esetében csaknem kivitelezhetetlen. A számítógépes szakértői rendszerek ezt az automatikus értékelő munkát teszik könnyebbé anélkül, hogy elvonnék annak valós felmérő, elemző, értékelő sajátosságait. További könnyítést jelenthet az, ha az így kialakított számítógépes rendszer az interneten keresztül is elérhetővé válik, ezzel nagyszámú, térbelileg is széles lokalizációjú jelentkező párhuzamos szűrővizsgálatára is mód nyílik.

A munkaalkalmassági, munkafelvételi vizsgálatok alapfeltétele annak meghatározása, hogy az adott tevékenységre milyen tulajdonsággal rendelkező jelölteket várnak, milyen képességek, készségek, személyiségjellemzők tesznek egy jelöltet alkalmassá (vagy éppen milyen okok miatt válik vagy bizonyul valaki alkalmatlannak). Utalva ennek a fejezetnek a tágabb környezetére, egy fegyveres erők körében jelentkező speciális munkakör esetében – például a pilótákat illetően – ezek a kritériumok elég jól és egyértelműen meghatározhatók (lásd később), és jól vizsgálhatók is lehetnek. Ehhez mind az előjárók, mind a szakértők véleménye éppúgy szükséges, mint a nagyon jól, vagy éppen nagyon rosszul teljesítők profiljának ismerete. A lényeg az, hogy a kritériumok egyértelműek legyenek (ha és amennyire lehetnek), és lehetőség legyen őket jól vizsgálni. Az alkalmassági vizsgálatok során a számítógépes tesztelés mellett (különösen a szűkített jelentkezői csoportok mélyebb vizsgálata céljából) szerepet kapnak a már említett interjúk, a tesztgyakorlatok és végül a szituációs gyakorlatok is.

Nagybányai Nagy Olivér gyűjtése¹⁸ alapján a munkaerő tesztelése során 7 különböző pszichológiai jellemző csoportot szoktak vizsgálni. Ezek: tudás, intelligencia, speciális képességek, viselkedési stílus, értékek-motivációk-attitűdök, személyiségvonások, kompetenciák.

¹⁷ Szilágyi László: *A professzionalizálódó Magyar Honvédség hivatásos állománya munkahelyi elégedettségének alakulása 1996–2007 között*. PhD-értekezés. 2010.

¹⁸ Rózsa Sándor – Nagybányai Nagy Olivér – Oláh Attila (szerk): *A pszichológiai mérés alapjai. Elmélet, módszer és gyakorlati alkalmazás*. Budapest, Bölcsész Konzorcium, 2006.

Egészség

Sokféle felmérési rendszer létezik az egészséggel kapcsolatos objektív és szubjektív állapotészlelés vizsgálatára. Ezek közül a légszélesebb körben alkalmazott módszerek egyike az úgynevezett Tünet Lista (Symptom Checklist [SCL]), amelynek több verziója is létezik, aszerint, hogy hány tételből áll. Talán a legszélesebb az SCL-90 verzió, amely 9 dimenzió mentén méri fel a tüneteket: szomatizáció, mániás-kényszeres vonások, személyközi érzékenység, depresszió, szorongás, ellenségesség, fóbias szorongás, paranoid gondolatok, pszichotizmus, egyéb. Tartalmaz továbbá 3 dimenziót a globális distressz vonatkozásában is: globális jól-lét, szívósság, tünetmentesség.¹⁹

Pszichofiziológiai módszerek

A pszichológiában használatos módszerek egy második csoportját olyan módszerek alkotják, amelyek valamilyen élettani változó mérésével próbálnak jellemezni belső folyamatokat, vagy amelyek révén pszichés folyamatokra próbálnak következtetni.²⁰

Reakcióidő

Az első ilyen csoport a reakcióidő mérése. E módszer alapvető előnye – és egyben sajátossága –, hogy igen egyszerű a mérése, hiszen mindössze két időpontot kell meghatározni, a reakció indítását, illetve megjelenését, azaz az inger, illetve válasz időpontját. A kettő különbsége az úgynevezett válaszlátencia (vagy válaszkésleltetés), vagy reakcióidő. Ennek három típusát különböztetik meg.

1. Az egyszerű reakcióidő az inger és az adott ingert követő egyféle, akaratlagos válasz kezdete között eltelt idő (például fényvillanásra gombnyomás). Ez – első megközelítésben – a bemeneti, illetve kimeneti folyamatoknak (azaz az érzőrendszer és a motoros rendszer megfelelő szakaszai működésének) az összege.
2. Összetett (választásos) reakcióidő, ahol többféle inger és többféle válasz lehetséges, az aktuális ingerre adott aktuális válasz időkülönbségét mérik. Itt megkülönböztetnek már helyes és helytelen választ is, a reakcióidőben pedig benne foglaltatik az ingerek megkülönböztetéséhez és a helyes válasz kiválasztásához szükséges idő is.

¹⁹ Jeffrey A. Cigrang – G. Wayne Talcott – Jolyn Tatum – Monty Baker – Daniel Cassidy – Scott Sonnek – Douglas K. Snyder – Christina Balderrama-Durbin – Richard E. Heyman – Amy M. Smith Slep: Impact of combat deployment on psychological and relationship health: A longitudinal study. *Journal of Traumatic Stress*, 27. (2014), 1. 58–65.

²⁰ Czizler István: *Pszichofiziológia: megismerés és aktiváció*. Debrecen, Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadó, 2003.

3. Szelektív reakcióidő, amelyben többféle inger közül csak egyre kell válaszolni, a többire nem. Itt az érzékeléshez szükséges megkülönböztetési idő jelen van, de a válasz kiválasztása nincs benne.

A reakcióidő mérésének van egy másfajta, elméletileg is fontos módja, amikor csak az érző oldalt vizsgálják, az időt az ingertől a központi idegrendszer (legtöbbször, de nem kizárólag az agykéreg) reakciójának kezdetéig mérik. Ez az úgynevezett „kiváltott potenciálok” módszere, amelyet a koponyára helyezett elektródák által érzékelt agyi elektromos változások segítségével mérnek. Természetesen a kettőt kombinálhatják is, ezzel a bemenő, illetve kimenő oldal külön is jellemezhető (pontosabban még az utóbbiban benne van a központi feldolgozás is – de a mozgató agykérgi területeken regisztrált hasonló potenciálok révén a teljes reakcióidő akár 3 szakaszra is bontható).

Érzékelés

A pszichofiziológiai mérési eljárások második csoportjába az úgynevezett pszichofizikai mérések tartoznak. A „fizikai” itt arra utal, hogy alapvetően a környezetből eredő ingerek észlelésének méréséről van szó, azaz a pszichofizika az észlelés folyamatával foglalkozik.²¹ Két alapfogalmat használnak ebben a vizsgálati típusban: detekció (észlelés), illetve diszkrimináció (megkülönböztetés). Az előbbi arra vonatkozik, hogy egy adott fizikai természetű ingert egy adott személy (az adott pillanatban) észlel-e, az utóbbi pedig arra, hogy két, azonos természetű ingert meg tud-e különböztetni (azaz kettőnek észlel-e). Az észlelést az ingerküszöb határozza meg, amely az a legkisebb inger, amelyet már észlelünk; lehet abszolút (például a különböző magasságú hangok közül a legalacsonyabb küszöbű), illetve relatív (egy adott hangmagasság küszöbe). A megkülönböztetésre jellemző mérőszám a különbségi küszöb, az a legkisebb „távolság” két inger között, amelyet már észreveszünk. A küszöbértékek meghatározására többféle módszer is létezik, a cél a küszöbök legpontosabb meghatározása.²²

Pszichofiziológia – sensu stricto

A szorosan vett pszichofiziológia meghatározása nem is olyan egyszerű. Az bizonyos, hogy ez a terület a pszichés és az élettani folyamatok kapcsolatával foglalkozik, de hogy ez a pszichológia vagy az élettan (fiziológia) egyik ága-e, azon sokan vitatkoznak. Valójában ez a két aspektus nem választható szét, nincsenek viselkedési (magatartási) és/vagy pszichés változások élettani változások nélkül, és viszont. A pszichofiziológia tehát olyan

²¹ Michael E. Dawson – Anne M. Schell – Diane L. Filion: The electrodermal system. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 159–181.

²² Martin Brookes: *Extreme Measures: The dark visions and bright ideas of Francis Galton*. London, Blumsbury Publishing, 2004.

kutatási irány (és tudományos diszciplína is egyben), amelyik a testi és lelki működés egységét vizsgálja. A jelen fejezet szempontjából most azt az aspektust érdemes kiemelni, hogy az élettani változások mérésével következtetni lehet a velük együtt zajló (vagy akár az őket kiváltó) lelki folyamatokra, azok irányára, nagyságára, minőségére. Az egyes eljárásokat alapvetően az különbözteti meg, hogy milyen élettani változót (változókat) regisztrálnak az adott vizsgálatban, és azokból milyen más változókat származtatnak; továbbá hogy a változásokat milyen agyi/mentális folyamatoknak tulajdonít(hat)ják.²³

EDA

Az egyik klasszikus, régen használt módszer a bőr elektromos aktivitásának mérése. Bár korábban többféle módon vizsgálták, és más-más névvel hivatkoztak rá, mára az elektrodermális aktivitás (Electrodermal Activity [EDA]) vált a leginkább elfogadottá (bár a korábbiak közül a galvános bőrreflex – Galvanic Skin Reaction [GSR] elnevezést is használják még sokan). E módszer hátterében az áll, hogy a bőr elektromos ellenállása, illetve vezetőképessége jelentős mértékben a szimpatikus idegrendszer aktivitásának függvénye, ezért változásaiból a szimpatikus aktivitásra lehet következtetni. A változásokat az úgynevezett külső elválasztású (eccrin) izzadságmirigyek produkálják, amelyek működése érzékenyen követi a pszichés változásokat. Az EDA mérésére elsősorban a tenyér, illetve a kéz hát, kisebb mértékben a kézközeli alkar alkalmas, ezek a legérzékenyebbek. Mivel ez utóbbit szoros kapcsolatba hozzák az általános aktivációval (arousal), valamint az érzelmi aktivációval, az EDA-módszert lényegében a központi, elsősorban érzelmi aktiváció nyomon követésére használják, különösen olyan ingerek esetében, amelyek várhatóan (vagy ismert módon) növelik a szorongást, különösen olyan helyzetekben, ahol a személynek nincs módja elhárítani az ingert. Ilyen okból alkalmazzák például számos országban hazugságvizsgálatokban. Bár erre a módszerre sokan esküsznek, mások szerint önmagában nem elégséges a pszichés működés élettani kapcsolatainak vizsgálatára, illetve előbbiek változásainak élettani jellegű nyomon követésére, például mert elég lassú (akár 1–3 s-ot is kívánhat), és nem elég specifikus az ingerek típusát illetően. Más módszerekkel együtt azonban nagyon hasznos módszer.

HR és HRV

A pszichofiziológiai vizsgálatok központi célpontja a keringési (kardiovaszkuláris) rendszer. Ennek legegyszerűbb és klasszikus eszköze az elektrokardiográfia (EKG). Az EKG a szívizomnak a szív működés során változó elektromos aktivitását mutatja ki, segítségével nyomon követhetők a szív ciklus egyes fázisai (és annak hibái is). Bár az EKG-t az orvosi gyakorlatban intenzíven használják a szív működés és zavarainak

²³ John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000.

vizsgálatára, régóta ismert, hogy a szív működése a mentális folyamatokkal kapcsolatosan is változik (erre szinte minden nyelvben közmondások és szólások is utalnak). Ebben a vonatkozásban a működés részletei kevésbé érdekesek, az elsődlegesen vizsgált változó a szívritmus. Bár szigorú élettani értelemben a szívritmus (azaz az 1 perc alatti szívverések száma – Heart Rate [HR]) nem pontos becslése a szív működés gyakoriságának (azt az egyes szívciklusok hosszának – szívperiódus [HP] – átlaga becsli torzítás nélkül), széles körben ezt a változót használják a mentális és érzelmi reakciók követésére. Az EKG-t (angolul Electrocardiography [ECG]) leggyakrabban a végtagokról, csuklóról és a bokáról vezetik el (végtagi elvezetés), de ha pontosabb mérésre van szükség, vagy a végtagok használata miatt ez nem lehetséges, a mellkasra rögzített elektródákat használják (mellkasi elvezetés). Az utóbbi néhány évtizedben vált világossá, hogy a szívritmus (pontosabban az egyes szívciklusok hossza) nem állandó, hanem változékonny (akkor is, ha semmilyen mentális vagy fizikai aktivitás változás nincs), és hogy ez a változékonyság a normális működés alapfeltétele. Az is kiderült, hogy a változékonyság mértéke pontosabban jelzi a mentális változásokat, mint maga a szívfrekvencia, ezért egyre szélesebb körben ez utóbbit (is) használják a pszichofiziológiai vizsgálatokban. Ez a – számított – érték a szívritmus variancia (Heart Rate Variability [HRV]), amelynek idői mintázata jól használható a pszichés, főleg érzelmi jellegű változások kimutatására, követésére és jellemzésére. A HRV-t magas, illetve alacsony frekvenciás komponensre osztják, használatát mindenekelőtt az serkenti, hogy a magas frekvenciás komponens elsősorban a szívre ható paraszimpatikus hatással korrelál. A HR-HRV mérésére egyre kisebb méretű, egyre nagyobb kapacitású és egyre hosszabb működési idejű eszközöket fejlesztenek ki, ma már akár 1 héten keresztül is folyamatos regisztrálásra van lehetőség. Ezáltal egy-egy vizsgálati személy életeseményeinek kardiális hatásai folyamatosan nyomon követhetők, és ha ezt viselkedésregisztrálással (naplózással, lépésszámlálással, esetleg diktafonos rögzítéssel) kötik össze, kimutathatók a kritikus élethelyzetek, emocionálisan fontos események, stresszes szakaszok és az életritmus fontosabb elemei.²⁴

A szívritmus mérését időnként más vérkeringési változók vizsgálata is kiegészítheti (esetleg helyettesítheti). Bár ezek mérése nehezebb, vagy pontatlanabb, fontos részletekre derülhet általuk fény. Elsősorban a pulzushullám detektálásával, vagy egy adott testrészt (főleg végtag) térfogatváltozásainak regisztrálásával (pletizmográfia) sok információt lehet kapni a változások mélyebb mechanizmusairól.²⁵

Légzés

A testi/lelki működés egy következő, szintén fontos és ismert mutatója lehet a légzés változása. Egyes kutatók szerint a légzés mintázata akár személyiségjellemző is lehet

²⁴ A. H. Roscoe: Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological psychology*, 34. (1992), 2. 259–287.

²⁵ Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 1043–1065.

(„personalite’ ventailitoire”).²⁶ A légzés sajátossága, hogy akaratlagosan is befolyásolható (szemben sok más zsigeri jellegű folyamattal), ezért nehezebb a változások értelmezése. Furcsa módon a légzést leggyakrabban azért regisztrálják, mert befolyásolja a szívritmust (légzési szinusz aritmia [RSA]) és az EDA-t is, és nem azért, mert tükröz valamilyen mélyebb viselkedési mutatót – pedig tükröz (megjegyzésre érdemes, hogy az RSA létét használják ki azok az eljárások, amelyek a HR vagy HRV alapján becsülik a légzés jellemzőit). Mivel a tüdő mozgását nem kísérik jellegzetes elektromos változások, a légzés vizsgálata sok nehézséget okoz. Viszonylag egyszerűen mérhető a légzés frekvenciája, hiszen ezt akár egy mellkastérfogat-regisztrálással (ehhez például nyúlásmérő bélyeggel ellátott övet lehet használni), akár egy, a száj mellé illesztett hőmérővel mérni lehet. Bizonyos közelítéssel még a szívritmusmérő eszközök adataiból is becsülhető a légzés-frekvencia, több ilyen jellegű eszköz szolgáltat ilyen becslést. Nehezebb a légzés mélységét, illetve a légzéstérfogatot mérni. A mellkasra szerelt öv ad erről bizonyos becslést, de ez nagyon egyénfüggő. A légzés mechanikája mögött ugyanis kétféle mintázat lehet: az egyikben zömében a bordaközi izmok segítségével tágul a tüdő (mellkasi légzés), a másikban elsősorban a rekeszizom ellapulása tágítja a mellkast, az ezt segítő hasüregi tágulással együtt (hasi légzés). Az előbbit elég jól regisztrálja a mellkasi öv, de az utóbbit kevésbé. Az öv segítségével a légzésmélységen kívül mérhető például a belégzési és kilégzési idő, illetve ezek aránya, és becsülhető a belégzési és kilégzési térfogat is. A mellkast magában foglaló, légmentesen záródó kamra (pletizmográf) hasonló elven működik, és valamivel pontosabb, de ez nem teszi lehetővé a test mozgását, és meglehetősen kényelmetlen is, ezért ma már kevésbé használják. Valamivel jobb becslést tesz lehetővé, de kényelmetlenebb a száj- és orrüreg elé szerelt hőmérő alkalmazása, amely a be- és kilélegzett levegő hőmérséklet-változásai segítségével becsli a légzési térfogatot. Ezeknél pontosabb mérés már csak zárt rendszerek segítségével érhető el, ezek közül a legnépszerűbb a légzésmérő készülék (spirométer), amely a száj- és orrjáratokat teljesen és légmentesen fedő maszkon keresztül, általában a szén-dioxid mennyiségének mérésével detektálja a légzesciklust. Egyes bonyolultabb készülékek az oxigén mennyiségét is tudják mérni, ezek segítségével már a gázcsere folyamatait is követni lehet. Végül, a légzési gázok változását az artériás vér folyamatos monitorozásával is követni lehet, ez a módszer azonban csak laboratóriumi környezetben, fixált helyzetben alkalmazható.²⁷

EMG

A viselkedés élettani változói közül kiemelkedik az izomműködés. Az, hogy az izmok folyamatosan működnek, önmagában nem tűnik érdekesnek, hiszen ez triviális; de az,

²⁶ Tyler S. Lorig: The Respiratory System. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinari – Gary G. Berntson: *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 231–244.

²⁷ Thomas, Ritz – Bernhard Dahme – Arthur B. Dubois – Hans Folgering – Gregory K. Fritz – Andrew Harver – Harry Kotses – Paul M. Lehrer – Christopher Ring – Andrew Steptoe – Karel P. Van de Woestijne: Guidelines for mechanical lung function measurements in psychophysiology. *Psychophysiology*, 39. (2002). 546–567.

hogy milyen mintázat szerint működnek, nagyon is érdekes lehet. Ezért a viselkedés és a mögötte álló pszichés mechanizmusok tanulmányozása ma már nem képzelhető el az izomműködés regisztrálása nélkül, ez az elektromiográfia (EMG).²⁸ Az izmok összehúzódását generáló elektromos jeleket a bőrfelületre helyezett (esetleg a bőr alá felületesen beszúrt) elektródák segítségével lehet nyomon követni, ezek a jelek akkor is létrejönnek, ha effektív izomrövidülés nincs, vagy nem látható (izometriás kontrakció). Az izmok mozgása – akár a minimális, szemmel nem, vagy alig látható összehúzódások is – érzékenyen követik a pszichofiziológiai folyamatokat. Használják például a hazugságvizsgálatokra, emocionális változások követésére, belső beszéd kimutatására, akaratlagosan gátolt mozgások kimutatására, alvásvizsgálatokra (például az álmodási fázisok idői viszonyainak kimutatására), fejfájás okainak vizsgálatára stb.

Az elektromiográfias regisztrálás speciális esetei azok, ahol egy nagyobb egység egészének mozgását követik nyomon, például a szemekét: ez az elektrookulográfia (EOG). Izom eredetű elektromos aktivitás nem csak a testizmok összehúzódását kíséri, hanem a simaizmok kontrakcióját is, ezért alkalmas mérési elrendezéssel a belső szervek, például a gyomor (elektrogasztrográfia [EGG]), illetve a belek (elektrointesztinográfia [EIG]) motorikáját is vizsgálni lehet (sőt a kettőt együtt is – electrogastrointesztinográfia [EGIG]). Utóbbiakat például használni lehet a mozgási betegségek és émelygés hátterének vizsgálatára, valamint a stressz és szorongás folyamatainak nyomon követésére is (nem beszélve természetesen az étkezéssel és táplálékfeldolgozással kapcsolatos belső folyamatokról).²⁹

Agyi aktivitás

Az elektromos jelek regisztrálásán alapuló agyi vizsgáló eljárások a legszélesebb körben alkalmazott pszichofiziológiai (és orvosi) módszerek.³⁰ A legszélesebb körben elterjedt eljárás az elektroencefalográfia (Electroencephalography [EEG]), újabb keletű, de egyre terjedő társa a mágneses elektroencefalográfia (Magnetoencephalography [MEG]). Az EEG alapját az agyban lejátszódó ritmikus oszcillációk észlelése képezi, amelyek elsősorban a thalamus és az agykéreg közötti bonyolult kapcsolatrendszeren alapulnak. Az éber nyugalmi jellemző úgynevezett alfa-hullámok (α -waves), illetve az aktív állapotot kísérő béta-hullámok (β -waves) ennek a thalamo-corticalis kapcsolatrendszernek a termékei, és finom idői felbontásban mutatják az agyi funkcióváltozásokat. Úgy tűnik, az alapritmust a thalamus generálja, azonban amit az EEG-ben mérünk, az elsősorban

²⁸ Louis G. Tassinary – John T. Cacioppo – Eric J. Vanman: The Skeletomotor System: Surface Electromyography. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 267–299.

²⁹ J. A. Thompson – S. L. Wilson: Automated psychological testing. *international journal of man-machine studies*, 17. (1982), 3. 279–289.

³⁰ Diego A. Pizzagalli: Electroencephalography and high-density electrophysiological source localization. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 56–84.

az agykérgi struktúrák által generált ritmus. Az EEG időbeli felbontása igen finom, alapvetően a milliszekundumos régióban mozog, ez igen gyors változások kimutatását is lehetővé teszi. Az említett alfa és béta aktivitás az agyi területek változó, egymással kevésbé összehangolt működését tükrözi (ez az irány a deszinkronizáció), míg az agyi területek összehangolódását mutatják a lassabb (alacsonyabb frekvenciájú), de nagyobb amplitúdójú oszcillációk, a delta-, illetve thétahullámok (δ -, illetve θ -waves). Végül az agy erős aktivációjára, közöttük a mentális aktivitásra jellemzőek az igen gyors (nagyfrekvenciás) jelek, a gamma-hullámok (γ -waves). Az EEG-t sokféle elektróda elhelyezésben lehet regisztrálni, aszerint, hogy mely agyterületek működését akarjuk vizsgálni, de léteznek standard elvezetési rendszerek is. Az agykéreg teljes térképezését teszi lehetővé az úgynevezett „Nemzetközi 10-20-as Rendszer”, amelyben a koponyán lévő referenciapontok (orrgyök, tarkónyúlvány, külső füljáratok csontos része) közti távolságot osztják 20-20, illetve 10-10 egységnyi részekre, és az ilyen pontokat összekötő körök metszéspontjaira kerülnek az elektródák. Ha csak funkcionális regisztrálásra van szükség, gyakran csak középvonali elektródákat használnak. Újabban 10-10-es, sőt 5-5-ös rendszereket is alkalmaznak. A legújabb, kognitív funkciókat vizsgáló EEG-mérésekben akár 128 vagy 256 elektródát is használnak, ez már különleges felhelyezési eljárásokat kíván. Az EEG-mérés során az elektródákon keletkező feszültség különbségeit regisztrálják (bipoláris elvezetés), de vannak olyan elrendezések is, ahol egy referencia-elektroddhoz viszonyítják az egyes mérőelektrodákat, vagy ahol megfelelő eljárással nulla feszültséghez viszonyítanak (monopoláris elvezetések). Az EEG-méréseket számtalan műtermék zavarja, ezek egy része mérési, más része funkcionális eredetű, ezért az ilyen vizsgálatok nagy körültekintést és folyamatos figyelmet kívánnak.³¹

Az EEG-s módszerek kritikus pontja a kapott jelek analízise és értelmezése. Ehhez lineáris és nemlineáris módszerek egyaránt rendelkezésre állnak, utóbbiak magasabb szintű statisztikai eljárásokat is kívánnak. Az EEG-értékelő eljárások közül a legszélesebb körben a spektrumanalízis különböző fajtái terjedtek el, például az úgynevezett teljesítményspektrum (power spectrum). Ha azonban nemcsak a frekvencia-összetétel, hanem az idői viszonyok is fontosak, akkor alkalmazható az idő-frekvencia analízis. Az oldalfüggő (laterális) funkciók elemzésére használják az aszimmetriamódszereket (asymmetry measures), a különböző agyi területek együtműködése vizsgálható az összehangolódás-analízissel (coherence analysis). A különböző módszerekkel nyert adatokat nagy adatbázisokba lehet gyűjteni, és az egyes emberek adatai egymással összevethetőek – ez a kvantitatív EEG (qEEG). A sok elektródás elrendezés lehetővé teszi az úgynevezett agyi térképek elkészítését (brain mapping), az egyes funkciók térbeli azonosítását is. Az EEG-hez hasonló elveken működik a magneto-elektroencefalográfia (MEG), amely azt használja ki, hogy az elektromos aktivitást mindig kísérik a mágneses tér változásai is, ez utóbbiak is detektálhatók a koponya felszínén megfelelő módszerekkel.

³¹ Tor D. Wager – Luis Hernandez – John Jonides – Martin Lindquist: Elements of functional neuroimaging. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 19–55.

KP

A ritmikus agyi aktivitás regisztrálásán kívül (EEG/MEG) lehetséges az egyes agyi történésekhez kapcsolódó, általában sok agysejt együttes működésén alapuló jelentős mértékű elektromos változások regisztrálása is. Ezt nevezik eseményhez kötött potenciálváltozásnak (Event Related Potentials [ERP]), a magyar szakirodalomban kiváltott potenciálnak (KP). Ezek a jelek egy reakcióra (például érkező inger feldolgozására) vagy készülő akcióra jellemző változások, amelyek a koponyára helyezett elektródákkal szintén jól detektálhatók. Előnyük, hogy ha például ingerrel váltjuk őket ki, az inger ismétlésével a jellemző potenciálváltozások összeadhatók, az alkalmoszerű egyéb jelek pedig kiszelektálódnak (átlagolás). A keletkező potenciálváltozások általában komplexek, több pozitív és negatív irányú hullámból állnak, amelyek amplitúdója eltérő és változhat, idői késleltetésük viszont jellemző. Egy kiváltott potenciál regisztrátum több szakaszra osztható, nagyjából aszerint, hogy mely agyterületek aktivációját tükrözi. Ezáltal például egy ingerfeldolgozási folyamat idői és térbeli részfolyamatai azonosíthatók és követhetők. A kiváltott potenciálok nemcsak külső ingerek hatására (exogén KP), hanem belsőleg is keletkezhetnek (ezek az úgynevezett endogén KP-ok). A kiváltott potenciálok vizsgálatával – például több helyen végzett egyidejű regisztrálással – lehetséges a feldolgozási folyamatokban részt vevő agyi struktúrák azonosítása és működésük vizsgálata, nemcsak a felszín közelében, hanem az agy mélyebb területeit illetően is. A KP-analízis is sokféle, általában számítógépes, módszer alkalmazását és sokféle statisztikai elemzést igényel, ezek részletes tárgyalásától itt eltekintünk.

A KP sokféle vizsgálatra használható, itt csak néhányat említünk. Vizsgálhatók a mozgáshoz kötődő változások, ezen belül például a laterálisan szerveződő mozdulatok, a kimaradó ingerhez kapcsolódó válaszok gátlása (contingent negative variation [CNV]), a hibajelek, az újdonságfelismerő folyamatok, az érzőfolyamatok részletei (beleértve a feldolgozást és értékelést is), a nyelvi feldolgozás és nyelvgenerálás részfolyamatai és így tovább.

Képalkotás

A pszichofiziológiai mérések lehetőségeit forradalmasították az agyi képalkotó eljárások. Még 10-15 évvel ezelőtt is alig volt elképzelhető, hogy az agyról működés közben nyerjünk információkat, kivéve az EEG- és KP-technikákat (lásd feljebb). Azóta egyre több képalkotó technika került – elsősorban orvosi – használatba, amelyek közül néhány pszichofiziológiai mérésre is használható. Hátrányuk persze, hogy ezek általában rögzített testhelyzetet, sőt zárt eszközteret igényelnek, ezért inkább csak mentális folyamatok tanulmányozására használhatók. A két jelenleg legelterjedtebb módszer a pozitron emissziós tomográfia (Positron Emission Tomography [PET]), illetve a mágneses rezonancia módszer (Functional Magnetic Resonance Imaging [fMRI]). Bár ezek technikai és működési szempontból különböznek egymástól, közös sajátosságuk, hogy kiváló a térbeli felbontásuk, viszonylag pontosan és részletesen leképezik az egyes agyterülete-

ket (mélységükben is), viszont relatíve kicsi az időbeli felbontásuk (szemben az EEG-vel és MEG-vel, amelyeknek finom az időbeli felbontásuk, de bizonytalan a térbeli lokalizáció képességük). A PET segítségével jól mérhető az agyi cukoranyagcsere, az agyi oxigénfogyasztás, sőt a helyi agyi vérkeringés (Regional Cerebral Blood Flow [rCBF]), az utóbbi három-dimenziós (3-D) felbontásban is, valamint – radioaktív nyomjelzők pozitron kibocsátásának felhasználásával – nyomon követhető egyes neurotranszmitterek kötődési mintázata is. Az fMRI tükrözni képes a vér oxigéntartalmát, és az ezt kihasználó (Blood Oxygen Level Dependent [BOLD-]) módszerrel meghatározható a vérben az oxidált/oxigénszegény hemoglobin arány a különböző agyterületeken.

A képpalkotó eljárások jól használhatók egyes mentális zavarok lokalizációjára, különösen, ha azoknak valamilyen anatómiai jellegű oka van, de funkcionális zavarok is vizsgálhatók velük.³² Minthogy azonban a jelen fejezet szempontjából korlátozott a használhatóságuk, részletesen nem foglalkozunk velük. Említést érdemelnek még más képpalkotó módszerek is, így az úgynevezett Single Positron Emission Computerized Tomography (SPECT), valamint a közeli infravörös spektroszkópia is (Near-infrared Spectroscopy – NIS).

Pszichometria és pszichofiziológia a katonai repülésben

Amikor valaki azt a feladatot kapja, hogy tekintse át a katonai repülés pszichológiáját, illetve az ott alkalmazandó eljárásokat, igen nehéz helyzetbe kerül (ahogy erről már korábban is volt szó). Hiába ismerünk sokféle eljárást, ha nem tudjuk, mikor, mire, milyen körülmények között kell vizsgálgatni.³³ Talán segít, ha tudjuk, az alkalmasságnak és tevékenységnek milyen aspektusai vannak. Jelen esetben ezt elég jól meghatározták már: a katonai alkalmasság alapelemei: technikai, értelmi, érzelmi, fizikai. Ebből már nagyjából látható, hogy mi tartozik a megfogalmazott kérdéskörbe (és ennek megfelelően ebbe a fejezetbe): az értelmi és az érzelmi alkalmasság.

Egy másik lehetséges dimenzió az életmenet szerint csoportosítja a vizsgálatokat, így vannak az alkalmassággal és felvétellel kapcsolatos vizsgálatok, a képzéssel és munkamenettel foglalkozó felmérések, illetve a szubjektív érzéseket, elégedettséget, véleményeket felmérő (humán faktor) módszerek. Ezek közül az alkalmassággal kapcsolatos vizsgálatok teszik ki az irodalom zömét, viszonylag jelentős még az elégedettséget felmérő vizsgálatok száma, viszont sokkal kevesebb forrást lehet találni a teljesítménnyel és annak tényezőivel kapcsolatban.³⁴

³² Caitlin L. Fissette – Douglas K. Snyder – Christina Balderrama-Durbin – Steve Balsis – Jeffrey Cigrang – Wayne Talcott – JoLyn Tatum – Monty Baker – Daniel Cassidy – Scott Sonnek – Richard E. Heyman – Amy M. Smith Slep: Assessing posttraumatic stress in military service members: Improving efficiency and accuracy. *Psychological assessment*, 26. (2014), 1. 1–7.

³³ J. E. Driskell – B. Olmstead: Psychology and the military: Research applications and trends. *American Psychologist*, 44. (1989), 1. 43–54.

³⁴ Dave Bartram – H. C. A. Dale: The Eysenck Personality Inventory as a selection test for military pilots. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 55. (1982), 4. 287–296.

Végül hasznos lehet az is, ha megvizsgáljuk, melyek azok a készségek és képességek, amelyek egy jól teljesítő pilótát, irányítót vagy műszaki szakembert jellemeznek.³⁵ Bár egy ilyen lista csaknem végtelen, és szinte lehetetlen mindenki véleményének eleget tenni, néhány fontosabb elemet érdemes felsorolni: időérzék (az időbeliség és az idő múlásának érzékelése), az aktivitás, mozgások, reakciók gyorsasága, az érzékelési és döntési folyamatok sebessége, a figyelem és annak megosztási képessége, a koncentrációs képesség és időtartama, valamint a fizikai és/vagy mentális és/vagy emocionális fáradás. Fontos megkülönböztetni a szolgálati beosztást, illetve a feladatok jellegét. Mások a követelmények egy vadászgéppilóta és egy helikoptervezető esetén is, még inkább eltérő feladatai vannak egy repülésirányítónak, és megint más a földi műszaki személyzetnek. A mérési/vizsgálati protokollok esetében tehát kell egy közös, alapvető résznek, valamint egy speciális, az adott csoportra jellemző különleges résznek lennie, egyaránt.³⁶

Fontos kérdés, hogy a fegyveres szolgálatok tagjainak vizsgálatához alkalmasak-e az általános népesség tesztelésére kidolgozott módszerek és tesztek. Egy nagyléptékű amerikai projektben, az alkalmasság vizsgálatában világszerte használt Minnesota Többtényezős Személyiségleltár (Minnesota Multiphasic Personality Inventory) 2-es verzióját (MMPI-2) tesztelték fegyveres szolgálatok (Army, Navy, Air Force, and Marine Corps) körében, és azt találták, hogy ez a teszt pontosan úgy viselkedik ebben a körben, mint a civil szférában, azaz speciális katonai változatra nincs szükség. Ugyanakkor – különösen az ebben a tekintetben messze a többiek előtt járó (legalábbis a publikációk zömében szereplő) Amerikai Egyesült Államokban – számos olyan új tesztrendszer fejlesztettek ki (lásd alább), amelyeket csak a hadseregekben használnak, a civil vizsgálatokban nem (vagy csak kevésbé). A helyes stratégia tehát ebben a tekintetben mindenképpen az, hogy a már létező és bemért eljárásokat a fegyveres szolgálatok esetében validálni kell, ahol pedig nincsenek adekvát létező tesztek, ott ki kell fejleszteni őket.³⁷

A fegyveres erők tesztelésével az USA-ban az 1968-ban létesített Air Force Human Resources Laboratory foglalkozik, ők dolgozzák ki az egységes vizsgálati módszereket. A következőkben ismertetett módszerek nagyobb többségét az Amerikai Egyesült Államok, kisebb részét más országok fegyveres szolgálatainak anyagaiból vettük, mivel a hozzáférhető irodalom többsége innen származik.

³⁵ Campbell et al.: The use of artificial intelligence in military simulations. In *IEEE International conference on systems, man, and cybernetics, computational cybernetics and simulation*, Vol. 3, IEEE. 1997, 2607–2612. Robert Cardona – Elspeth Cameron Ritchie: Psychological screening of recruits prior to accession in the US military. *Recruit medicine*, 2006. 297–309.

³⁶ Wayne Chappelle – Kent McDonald – Raymond E. King: *Psychological attributes critical to the performance of MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper US Air Force sensor operators*. Air Force Research Lab Brooks City-Base TX Human Performance Wing (711TH). 2010.

³⁷ N. C. H. Ong: The use of the Vienna Test System in sport psychology research: A review. *International review of sport and exercise psychology*, 8. (2015), 1. 204–223.

Alkalmasság

A legtöbb katonai-pszichológiai közlemény a különböző alkalmassági és bemeneti helyzetekkel foglalkozik. Ezek zömmel többlépcsős eljárások, amelyekben egyre csökken a továbblépők száma, a maradék pedig szelektálódik (esetleg kevesebb speciális képeséget/tudást kívánó területre irányítják át). Az első lépcső egy általános szűrés, ahol az alapvető kognitív és érzelmi jellemzőket, valamint a személyiségprofilot méri fel, gyakran még internetes formában. Sok szakágban a jelentkezőknek már automatikusan magukkal kell hozniuk egy pszichiátriai és pszichológiai felmérés eredményeit (ezeket a civil életben működő, de minősített szakemberekkel kell elvégeztetni).³⁸ A pszichológiai felméréshez többféle tesztet is előírnak (core test battery): Wechsler Felnőtt Intelligencia Skála (Wechsler Adult Intelligence Scale [WAIS]), Nyomkövetés Teszt (Trail Making Test, Parts A & B), MMPI-2, továbbá ha a szakpszichológus szükségesnek ítéli: Rorschach Teljesítménybecslő Rendszer (Rorschach Performance Assessment System [R-PAS]) vagy Millon Klinikai Többtengelyű Felmérés (Millon Clinical Multiaxial Inventory-III [MCMI-III]).

Az ezt követő szakaszban már többnyire az adott szakterületre jellemző alapképességek tesztelését végzik, még mindig kérdőívek, de már bonyolultabb kérdőívek segítségével. Ebben a fázisban gyakran használják az Eysenck-féle Személyiség Kérdőívet (Eysenck Personality Questionnaire [EPQ]). A harmadik szakaszban már komplex kérdőíves felmérés, személyes interjúk következnek, az ezen túljutókat szimulációs helyzetben tesztelik, végül szakspecifikus gyakorlati felmérésben vesznek részt.

Az általánosan használt, fegyveres szolgálatra jelentkezőket alapszinten tesztelő rendszer a Fegyveres Erők Szakma Alkalmassági Tesztsorozat (Armed Services Vocational Aptitude Battery [AFVAB]). Ennek részei a Fegyveres Erők Minősítő Teszt (Armed Forces Qualification Test [AFQT]), a Minnesota Többtényezős Személyiségleltár (Minnesota Multiphasic Personality Inventory [MMPI]), az Egyéni Motivációs Teszt (Individual Motivation Test [IMT]), repülősofőknél pedig a Légierők Orvosi Felmérő Teszt Program (Air Force Medical Evaluation Test Program [AFMET]).

A szakmaspecifikus tesztrendszerek között említendő a Légierő Tisztek Minősítő Teszt (Air Force Officer Qualifying Test [AFOOT]). Ez a teszt a pilótaképzésre való alkalmasságot méri, és 16 papír-ceruza résztesztből áll. Egyes vizsgálatokban más tesztekkel is kombinálták a képzés megindulását megelőzően, de már a felvétel után, ilyen volt például az Automatikus Repülő Személyiségprofil-Készítő (Automated Aircrew Personality Profiler [AAPP]), amely több, az alkalmassági vizsgálatokban szokásosan alkalmazott teszt (MMPI, STAI, IBS) kombinációjából állt össze. Alkalmaznak bonyolultabb, gépesített teszteket is, ilyen az Alapjellemzők Teszt (Basic Attributes Tests [BAT]), valamint a Repülési Alapkészségek Teszt (Test of Basic Aviation Skills [TBAS]), amelyek a pszichomotoros koordinációt, információfeldolgozási készségeket, időbeosztási képességeket, és néhány személyiségvonást tesztelő, számítógéphez csatlakozó rendsze-

³⁸ Brice M. Stone et al.: Measuring airman job performance using occupational survey data. *Military psychology*, 8. (1996), 3. 143–160.

rek. Ezek a vizsgálatok már nagyon speciálisak, és átvezetnek a képzési/munkavégzési vizsgálati fázishoz.

Tréning és munka

A már felvettek és munkába állítottak esetében a vizsgálatok legalább két irányban folynak.³⁹ Egyfelől az elméleti és gyakorlati képzés hatását tanulmányozzák, amely jelentős tényező a csapatorientált, misszióra kész személyzet kialakításában, másfelől foglalkoznak a személyiség vizsgálatával, ami kiemelt tényező az egyén munkakörének meghatározásában éppúgy, mint a felelősség szintjének kialakításában. Ezeknek vizsgálatában a Súlyozott Pilóta Előmeneteli Rendszert (Weighted Airman Promotion System [WAPS]) alkalmazzák.

A megfelelő felmérések végzéséhez szükséges jól és pontosan megfogalmazni, milyen jellegű, típusú a munka, milyen elemekből áll, milyen követelményeket állít. Ennek felmérésére való a Munkát Leíró Index (Job Descriptive Index [JDI]), amely öt tényező mentén írja le az adott munkakört: munka jellege, vezetés, fizetés, előrelépési lehetőségek, munkatársak. Ehhez tartozik egy munkateljesítményt mérő tesztrendszer is, a Légierő Munkateljesítmény Mérés (Air Force Job Performance Measurement [JPM]). Vannak azonban olyan szerzők, akik szerint lehet ezeknél egyszerűbb, helyben fejlesztett vizsgálati eljárásokat alkalmazni (de ezeket persze a már létező és használt eljárások segítségével validálni kell).

A speciális irányú (például vadászgép-) pilóta-továbbképzést megelőzően végeznek olyan vizsgálatokat is, amelyek azokat a speciális képességeket vagy készségeket tesztelik, amelyek az adott feladat elsajátításához és elvégzéséhez szükségesek. Ilyen például a Kognitív Laterális Tesztsorozat (Cognitive Laterality Battery [CLB]), amely részben térbeli-látási (visuo-spatial), részben verbális-szekvenciális képességeket mér. Ezekkel a tesztekkel kimutatták ugyanis azt, hogy a speciálisan tréningezett katonai pilóták között sokkal magasabbak a térbeli-látási teszt pontszámok, mint azok között, akik ebből a speciális képzésből kiestek vagy kimaradtak (bár mindkét csoporté magasabb a populációs átlagnál). Egy másik eljárásban azt vizsgálják, hogy a pilóták mennyire képesek a pilótafülkében elhelyezett műszerek információit figyelni, illetve felhasználni, mennyire vannak tudatában az adott helyzetnek; ezt nevezik helyzeti tudatosságnak (Situation Awareness [SA]). Egy már korábban létező, a szubjektív munkaterhelést mérő tesztet alakítottak át erre a célra (Subjective WORKload Dominance [SWORD]), ebből lett az SA-SWORD-technika, amely alkalmasnak bizonyult a helyzeti tudatosság mérésére (az eredeti mérést szimulátorban végezték).

Vizsgálható az is, hogy milyen eszközök segíthetik a pilótákat az ilyen, sokirányú és sokféle figyelmet igénylő helyzetekben. Feltételezhető például, hogy a mesterséges intelligenciát használó vagy azon alapuló rendszerek alkalmasak lehetnek erre. Az USA

³⁹ James N. Butcher: A study of active duty military personnel with the MMPI-2. *Military Psychology*, 2. (1990), 1. 47–61.

Katonai Akadémiájának két intézete (Office of Artificial Intelligence Analysis and Evaluation [OAIAE] és Department of Electrical Engineering and Computer Science [D/EECS]) által végzett vizsgálatok például kimutatták, hogy a nagy felbontású terepábrázolások információtartalmát az ilyen, 3-D alapon működő eszközök úgy tudják koncentrálni, hogy kizárják az érdektelen részleteket, és felerősítve kitisztazzák azokat, amelyek fontosak (augmented reality, azaz felerősített valóság). Egy másik tanulmány szerint a fejlett információs és kommunikációs technológiák (ICT-k) nemcsak az adatfeldolgozást könnyítik meg, hanem javítják a légierőben a szociális és pszichológiai jóllétet is (nyilvánvalóan a személyközi kommunikáció feltételeinek biztosításával és javításával).

Különleges eset a pilóta és repülésirányító munkakörök kombinációja, az újabban egyre jobban terjedő pilóta nélküli repülőegységek irányítóinak munkája. Interjúkat készítették az ilyen, speciálisan képzett pilótákkal és kiegészítő személyzetükkel, akik a legmodernebb pilóta nélküli repülőgépeket (MQ-1 Predator, MQ-9 Reaper) irányítják. Az interjúk tartalmából 4 kérdéscsoportot csináltak: a) fizikai egészség; b) kognitív készségek; c) személyiségvonások; d) motiváció. Ezek alapján minősítették aztán – más feladatkörökkel összevetve – a speciális szolgálatot teljesítő katonai személyek pszichológiai követelményeit. Hasonló módszereket más speciális feladatok esetében is alkalmaznak.

A pszichológiai vizsgálatok egy része arra kíváncsi, mi motiválja a repülőket erre a munkára. A Rövidített Szenzoros Élménykeresés Kérdőív (Brief Sensation Seeking Scale [BSSS-8]) alkalmazásával kiderült, hogy változatos, új, intenzív élmények, tapasztalatok szerzésére irányuló stabil személyiségvonás jellemzi ezt a populációt. Ez a teszt 4 alskálából áll, mindegyikben két-két itemet tartalmaz: Izgalom- és Kalandkeresés (TAS), Élménykeresés (ES), a Gátolatlanság (DIS) és az Unalomtűrés (BS).⁴⁰

Pszichofiziológiai mérések

A tréning-/munkafázisban érdemes és gyakran szükséges pszichofiziológiai méréseket is végezni. Ezek egy része alkalmas lehet a személyzet aktuális állapotának felmérésére és annak eldöntésére, hogy engedélyezhető-e a feladatban való részvételük (földi mérések), más részüket viszont valós, repülési vagy szimulátoros helyzetben végzik.

A pszichofiziológiai módszerek használatát az indokolja, hogy ezek a változások jól használhatók az aktiváció- és arousalváltozások kimutatására, adott esetben akár értelmezésére is. Repülési helyzetben a pilótának igen gyorsan kell sokféle információt gyűjtenie, megszűrnie, feldolgoznia és kiértékelnie, ítéleteket kell alkotnia és döntéseket kell hoznia, és sokszor azonnali és hirtelen akciókat kell indítania. Ezek a folyamatok különösen fontosak és megterhelőek a kritikus helyzetekben, amilyen például a fel- és leszállás. Az ilyen helyzetekben szükséges fizikai és mentális aktivitás együtt felelős

⁴⁰ Ulf Lundberg: Psychophysiology of work: Stress, gender, endocrine response, and work related upper extremity disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 41. (2002), 5. 383–392. Mayer, Krisztina – Lukács, Andrea – Pauler, Gábor: Hungarian adaptation of the 8-item Sensation Seeking Scale (BSSS-8). *Mentálhigiéné és Pszichoszomatika*, 13. (2012), 3. 297–312.

az arousal változásaiért, többnyire annak fokozódásáért. Abból, hogy az említett tevékenységek általában emelik az arousal szintjét, azt gondolnánk, hogy az arousalszint minél magasabb szintje előnyös az aktivitás szempontjából.⁴¹ A valóság azonban az, hogy a teljesítmény és az arousal függvénye fordított „U” alakú, azaz sem az alacsony, sem a magas szint nem válik a pilóta sikeres akcióinak és teljesítésének javára. Érdeemes tehát az arousal-/aktivitásszintek mérése és követése, ha szeretnénk a pilóták teljesítményét optimalizálni. Csakhogy – meglepő módon – a sokféle pszichofiziológiai mérési eljárás közül csak kevés alkalmas akár szimulátorban végzett mérésre is, még kevésbé valós repülési szituációban végzett vizsgálatra. A tapasztalat az, hogy leginkább a szívritmus (HR), a szívritmus variancia (HRV), illetve a légzés mintázata használható erre a célra (újabban a bőr elektromos aktivitásának – EDA – mérésével is kísérleteznek). Említésre érdemes, hogy magyar szakemberek, Grósz és munkatársai is fejlesztettek, és sikeresen ki is próbáltak ilyen mérésekre alkalmas fedélzeti eszközöket. Az EKGALF nevű, repülés közbeni élettani mérőeszköz alkalmasnak bizonyult EKG, EDA, testhőmérséklet, pulzus- és légzésszám, kabinhőmérséklet, kabinnyomás, túlterhelések nagysága, magasság és sebesség, bedöntésérték, bólintásérték folyamatos regisztrálására, vagyis pontosan az említett élettani (és környezeti) változók rögzítésére. Ma már sokféle ilyen eszköz kapható, és folyamatosan fejlesztenek is újakat (ilyen például a nálunk is egyre szélesebb körben használt FusionVital/BodyGuard rendszer). Mindezzel együtt az a helyzet, hogy az ilyen mérésekre vonatkozó irodalom a katonai repüléssel kapcsolatosan meglehetősen szegényesnek tűnik.⁴²

Emberi erőforrás

Az emberi erőforrások tekintetében valamivel jobb a helyzet, jelentősebb irodalom és több módszer áll rendelkezésre. Ebben a tekintetben több síkon is vizsgálódnak. Az egyik a személyek szubjektív (egészségi, érzelmi, mentális) állapota, a másik a munkával való elégedettségük (vagy éppen elégedetlenségük), a harmadik a munka által okozott egészségi változások, eltérések, zavarok felmérése.⁴³ A következőkben ezekre mutatunk be példákat.

Az egészségi állapot szubjektív megítélését sokféle tényező befolyásolja. Egy vizsgálatban például arra voltak kíváncsiak, hogy a mentális (pszichés) egészség szubjektív megítélését hogyan befolyásolja a szorongás a katonai pilóták esetében. Az egészség megítélését a Tünet Lista (Symptom Checklist [SCL-90]), a szorongást pedig a Spielberger-féle Állapot- és Vonásszorongás Kérdőív (Spielberger Trait-State Anxiety Inventory [STAI]) alkalmazásával mérték. Úgy tűnik, hogy a pszichés állapot megítélését

⁴¹ Szokolszky Ágnes: *Kutatómunka a pszichológiában*. Budapest, Osiris, 2004.

⁴² Michael A. Vidulich – Edward R. Hughes: Testing a subjective metric of situation awareness. In *Proceedings of the Human Factors Society annual meeting* (Vol. 35, No. 18, 1307–1311). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 1991.

⁴³ Dunai Pál: UAV kezelőszemélyzet kiválogatásának bemeneti fizikai követelményei. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 498–503.

a szorongás iránti érzékenység erősen rontja, és fordítva, a félelem a pszichés kapacitás romlásától erős szorongást keltő tényező.

Az emberi tényező vizsgálatának egy érdekes formája volt az, amikor katonák morális hozzáállását vizsgálták. Ehhez egy viselkedéskategorizáláson alapuló tesztet fejlesztettek ki, amelybe a személyek viselkedésének egyes elemeit foglalták bele: közösségi kapcsolatok; csapatmunka és együttműködés; nehéz helyzetekre való reakció; főnök-beosztott viszony; teljesítmény és igyekezet a munkában; viselkedés, megjelenés és katonai fegyelem; büszkeség az egységre, a hadseregre, az országra; szabadidő kihasználása. A morált általában a motiváció mérésével kötötték össze, és végül a munkahelyi elégedettség tényezőiként sorolták be.⁴⁴ Az utóbbi, azaz a munkahelyi elégedettség mérésére többféle tesztet is alkalmaznak, ilyenek a Minnesota Elégedettség Kérdőív (Minnesota Satisfaction Questionnaire [MSQ]), valamint a Munkahelyi Elégedettség Kérdőív (Job Satisfaction Index [JSI]). Ezeket világszerte (Magyarországon is) használják, katonai jellegű intézményekben is.

Az emberi tényező harmadik csoportjába a valódi egészségi károsodások vizsgálata tartozik. Az állomány általános egészségi állapotát a Páciens Egészségi Állapot Kérdőív (Patient Health Questionnaire [PHQ-9]) segítségével vizsgálják. A katonai repülő (sőt általában a katonai) szolgálat esetében ebben a csoportban leginkább a veszélyhelyzeteket, harci cselekményeket vagy annak lehetőségeit vagy a háborús övezetekbe való kihelyezést követő egészségi károsodások felmérése szerepel. Ez leggyakrabban az úgynevezett poszttraumás stressz-betegség (Posttraumatic Stress Disorder [PTSD]) formájában jelentkezik. A PTSD mérésére szolgáló kérdőíves rendszernek kifejlesztették egy katonai verzióját, ezt használják ezekben a vizsgálatokban: PTSD Tünetlista Katonai Változat (PTSD Checklist Military Version [PCL-M]).⁴⁵

Mérési protokoll tervezése katonai repülési intézményben

Egy ambiciózus kutatási tervnek lehet célkitűzése teljes rendszerek kialakítása egy adott területen, felhasználva persze a már rendelkezésre álló módszereket és eljárásokat is. A repüléstudományban is vannak már bejáratott és jól alkalmazható módszerek, a terület hatalmas léptékű fejlődése azonban megkívánhatja, és véleményünk szerint meg is kívánja, a folyamatos megújulást, alkalmasint – talán a jelen esetben is – a teljes rendszer megújítását. Érdemes tehát – felhasználva a fentiekben összefoglalt ismereteket – felvázolni egy lehetséges kutatási protokollt, amelynek eredményei jól beilleszthetők egy új, általános, humán centrikus katonai repülési vizsgáló rendszerbe.⁴⁶

⁴⁴ Laura L. Miller et al.: *Information and communication technologies to promote social and psychological well-being in the Air Force: A 2012 Survey of Airmen*. Rand Project Air Force Santa Monica CA., 2014.

⁴⁵ F. W. Weathers et al.: *The PTSD Checklist: Reliability, validity, and diagnostic utility*. Paper presented at the meeting of the International Society for Traumatic Stress Studies, San Antonio, TX., 1993.

⁴⁶ William B. Lecznar: *Survey of tests used in airman classification*. Technical Documentary Report PRL-TDR-63-5, 1963.

Egy ilyen rendszernek természetesen határt szabnak az anyagi lehetőségek, ezért a rendszertervnek általános irányokat, és lehetséges alternatívákat is kell tartalmaznia, ezáltal lehetőséget kínálva egy rugalmas, alkalmazkodó fejlesztésnek.⁴⁷ Ebben a fejezetben tehát a rendszerfejlesztés általános alapelveit, fontosabb sarokpontjait, időrendjét és néhány legfontosabb elemét foglaljuk össze.⁴⁸

Alapvetés

Egy teljes humán centrikus katonai vizsgáló rendszer megkívánja, hogy pontos képünk legyen arról, hogy az adott terület milyen alapokon, elveken működik, és milyen készségeket és képességeket kíván meg a résztvevőktől. Ezért az első lépésnek az úgynevezett munkaleírásnak kell lennie. Bár nyilvánvalóan léteznek erre való elemek, érdemes lehet ezeket egységes elv alapján korszerűsíteni és egységes rendszerbe foglalni.⁴⁹

Egy ilyen leírás több lépcsőben készülhet el:

- a létező leírások, áttekintések, elemzések összegyűjtése, összehasonlító elemzése;
- a szakterület vezető szakemberei által készített leírások;
- vezetői interjúk készítése az adott terület, egység jellemzőiről, kívánalmairól;
- véletlenszerűen kiválasztott résztvevők (alkalmazottak, beosztottak) körében végzett úgynevezett munkainterjúk (job interview) készítése, tartalomelemzése, feldolgozása;
- a három előző típusú anyagok összevetése;
- a szakterületi jellemzések, munkaköri leírások, személyi követelmények egységes elkészítése.⁵⁰

Az elkészülő rendszerleírásnak tehát tartalmaznia kell egyfajta szervezeti diagramot (az adott terület felépítését), az egyes funkcionális egységek jellemzőit, a részterületeken belüli tevékenységi körök leírását, valamint az egyes munkakörökre vonatkozó követelményeket, képességeket és készségeket.⁵¹ Egy jól elkészített rendszerleírás alapján ki lehet választani azokat a tevékenységi köröket, amelyek hasonló képességeket, készsé-

⁴⁷ R. Michael Furr: *Scale construction and psychometrics for social and personality psychology*. London, Sage, 2011. R. Michael Furr – Verne R. Bacharach: *Psychometrics: An Introduction*. London, Sage, 2013.; Harold W. Gordon – Robert Leighty: Importance of specialized cognitive function in the selection of military pilots. *Journal of applied psychology*, 73. (1988), 1. 38.

⁴⁸ Stephan J. Motowidlo – Walter C. Borman: Behaviorally anchored scales for measuring morale in military units. *Journal of applied psychology*, 62. (1977), 2. 177–184. Stephan J. Motowidlo – Walter C. Borman: Relationships between military morale, motivation, satisfaction, and unit effectiveness. *Journal of applied psychology*, 63. (1978), 1. 47.

⁴⁹ Grósz Andor – Szabó Sándor – Vigh Zoltán: Adatfeldolgozó rendszer a pilóták fiziológiai állapotának vizsgálatára. *Haditechnika*, 39. (2005), 1. 2–6.

⁵⁰ *Guide for aviation medical examiners: specifications for psychiatric and psychological evaluations*. USDT Federal Aviation Administration. (é. n.) Online: www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/ame/guide/media/ppevalspecs.pdf

⁵¹ Johnny J. Weissmuller et al.: *Recent developments in USAF officer testing and selection*. Air Force Personnel Center Randolph Afb TX., 2004.

geket, állapotkritériumokat tartalmaznak, ezáltal a kutatási és későbbiekben a vizsgálati eljárások volumene jelentősen leszűkíthető (például a repülést kiszolgáló földi műszaki állományra nagyjából azonos kritériumok vonatkoznak, akár repülő, akár helikopteres szolgálatról van szó – persze lehetnek különbségek is, amiket így könnyebb kimutatni).

Kritériumrendszerek

A humáncentrikus vizsgálati protokollok elkészítésének következő fázisa az egyes beosztásokhoz tartozó kritériumok megalkotása és listázása. Ennek tartalmaznia kell az adott feladat jellegének leírását, az ellátáshoz szükséges képzettségeket, az egészségre, a fizikai állapotra, a pszichológiai jellemzőkre vonatkozó általános és speciális követelményeket, továbbá azokat az előírásokat, amelyek megszabják azt, hogy az adott személy az adott feladat ellátását milyen állapotjellemzők esetén képes ellátni. Vannak tehát alapkritériumok, amelyeket a munkakör betöltésekor kell alkalmazni, és vannak állapotkritériumok, amelyeket minden egyes esemény, akció, feladat elindítása előtt ellenőrizni kell.

A tervezés következő, igen érzékeny fázisa azoknak az eljárásoknak a kiválasztása, amelyek az adott kritériumok teljesülését képesek vizsgálni és ellenőrizni, amelyek segítségével eldönthető egy adott személy alkalmassága az adott szinten. Ilyen módon összeállítható egy-egy vizsgálati protokoll, amely az adott szint vizsgálatára hosszú távon alkalmazható, standard és bárki által jól alkalmazható.⁵²

Eljárások

Az eljárások kiválasztása többlépcsős folyamat. Először érdemes áttekinteni a nemzetközi irodalmat, megnézni, hogy léteznek-e már kidolgozott teljes rendszerek, vagy milyen elemek találhatók, amelyekből ilyen lehet építeni. A már létező eljárások, tesztek esetében szükséges megvizsgálni, hogy vannak-e nemzetközi standardok, bevizsgálták-e az adott tesztet nagyobb populáción, ellenőrizték-e azok érvényességét. A következőkben meg kell vizsgálni, hogy van-e magyar nyelvű változat, és azt ellenőrizték-e. Ha nincs, akkor az adott tesztet le kell fordítani, és ki kell próbálni (azaz az eljárást validálni kell). Végül, ha már rendelkezésre állnak az egyes eljárások, ki kell alakítani az alkalmazás rendjét, a tesztek sorrendjét, alkalmazási gyakoriságát, a kiértékelés komplex módját, és tesztelni kell, hogy így működik-e a rendszer.

⁵² L. Yu-hua et al.: Study of route analysis of the relationship between mental health and state-trait anxiety, anxiety sensitivity of the military pilots. *Clinical journal of medical officers*, 4. 2009.

Az alkalmazás szintjei

A rendszerszerkesztés következő fázisában ki kell jelölni azokat a szinteket, ahol rendszeresen vagy alkalmilag mérni szükséges, és az adott szintre dedikálni kell a megfelelő eljárásokat. Itt már határozott és konkrét protokollt kell készíteni, amely megadja, hogy mely teszteket és/vagy méréseket kell, mikor és kinek a részvételével végezni, hogyan kell kiértékelni az adatokat, milyen formában kell közölni az eredményeket, és milyen következményei vannak vagy lehetnek egy adott eredménytípusnak. A protokollnak tartalmaznia kell azt is, hogy milyen eszközök, űrlapok, számítógépes szoftverek vagy egyéb kellékek szükségesek a végrehajtáshoz, és azt a folyamatot is, ahogy ezek a kellékek biztosításra kerülnek.

Az USA Air Force Human Resources Laboratory által kidolgozott, és sok más ország által is alkalmazott, rendszer a vizsgálatoknak a következő szintjeit határozza meg (az elnevezések részben e fejezet szerzőjétől származnak):

1. Előkészítő szint: a felvételre vagy alkalmazásra (esetleg képzésre) jelentkező személynek meghatározott dokumentumokat kell benyújtania. Ezek egy része – ez ennek a rendszernek a speciális sajátossága – kifejezetten a pszichés alkalmassággal kapcsolatos, azaz meghatározott vizsgálatokat kell a jelentkezőknek civil ellátás keretében elvégeztetni és azok eredményeit benyújtani. Bár itt (még) nem a szolgálatban alkalmazott szakemberek végzik a vizsgálatokat, jól meghatározott protokoll és előírások szerint kell a vizsgálati eredményeket prezentálni (és ezért a vizsgáló – természetesen – felelősséggel is tartozik). Ez a lépés felvételi szűrőként is működik, a jelentkezők egy részét ennek alapján elutasít(hat)ják. Ennek megfelelően általában egy-egy intelligencia, kognitív képesség, valamint nagyobb léptékű személyiségleltár (például MMPI) szerepel itt, bizonytalan esetekben egyszerűbb patológiát ellenőrző vagy diagnosztikai tesztek is (például Rorscach, vagy egyszerűbb klinikai teszt).
2. Alkalmassági szint: Ezt már a megfelelő intézmény végzi, és az alkalmazott eljárások itt már igazodnak a betöltendő munkakör követelményeihez. A repülés esetében általános katonai, illetve a repüléssel kapcsolatos speciális vizsgálatok egyaránt szerepelnek, mégpedig több szinten. Az általánosabb és egyszerűbb teszteket követik a bonyolultabbak és speciálisabbak, miközben fokozatosan csökken a résztvevők száma (a kiesőket pedig átirányítják más területre, azon a szinten, ahol még megfeleltek). Bizonyos, magas követelményeket támasztó munkakörök esetében (például a pilótaképzés, a repülőtisztai beosztásba való kinevezés ilyen) személyes interjú is részt vesznek az alkalmasnak tűnő jelentkezők, végül szimulátoros vizsgálatok zárják le ezt a folyamatot. Azok a jelöltek, akik a teljes folyamaton átesetek, még részt vesznek egy valódi gyakorlaton is, ahol kiderül, hogy az alkalmasságvizsgálatban nekik tulajdonított tulajdonságok a gyakorlatban is működnek-e.
3. A már a munkakörben dolgozók alkalmasságát időről időre ellenőrző vizsgálatok általában a magasabb szintű alkalmassági tesztek közül kerülnek ki, ezeket meghatározott időközönként kell elvégezni. gyakran kiegészítik teljesítménymérő, illetve motivációs tesztek, valamint a megelégedettséget vizsgáló módszerek is.

4. A legbonyolultabb és legkritikusabb szint a pillanatnyi alkalmasság ellenőrzése. Attól ugyanis, hogy valaki általában alkalmas egy feladatkörre, még lehetnek olyan állapotai, amikor konkrétan nem képes az adott feladatot eredményesen vagy biztosan ellátni. A civil életben is ismert állapotok (például láz, gyomor-bél panaszok, apróbb sérülések) mellett a repülés magas kockázata miatt ennél sokkal több és finomabb, gyakran rejtett állapotváltozásokat is ki kell zárni. Egy néhány tizedmásodperces reakciólassulás, egy átmeneti koncentrációs zavar, egy emocionális probléma vagy alkalmi szorongás katasztrofális következményekkel járhat. Ezért – bármennyire is időigényes és megterhelő is – ezeket az ellenőrző teszteket állandóan és folyamatosan alkalmazni kell.
5. Végül időről időre érdemes az állomány egészére, a rendszer működésére vonatkozó vizsgálatokat is végezni, amikor a szervezet működését, a kommunikációt, a szociográfiai viszonyokat, az előjárói tevékenység hatásait, az esetleges egészségi zavarokat szükséges felmérni. Ez a korábbiak zömétől eltérő módszereket kíván, és igényli az állományt illető központi koordinációt is.

Módszerek és eszközök

A fentiekből következik, hogy sok és sokféle eljárás tartozik egy ilyen rendszerhez, amelyek alkalmazása széles körű és sokirányú szaktudást (és alapos szervezést is) igényel. Az utóbbi időkben azonban számos új lehetőség könnyíti meg a pszichológusok és segítők munkáját, ez is indokolja a rendszerek újjászervezését.

A fejlődés alapját a számítógépek és más programozható szerkezetek (tabletek, okostelefonok, távérzékelők stb.) elterjedése képezi, amelyek például forradalmasították a pszichológiai tesztek alkalmazását. Az internetes felületek bevonásával több nagyságrenddel megnövelhető a kitöltők száma, kiterjeszthetők a kitöltésre alkalmas időintervallumok, nagy távolságról is alkalmazhatók a tesztek, és hihetetlen gyors a feldolgozás. Ez – az amúgy is nagy technikai igényű – katonai repülési környezetben fokozottan így van, és különösen a kezdeti fázisokat gyorsítja fel jelentősen.

A másik fontos fejlődési irány a vizsgálatok automatizálásának lehetősége. Egyre több olyan eszköz kapható, amelyek a mérési adatok felvételét segítik, automatikusan gyűjtik és dolgozzák fel az adatokat, tartósan és sok alany bevonásával képesek működni. A repülésfejlesztési projekteknél például ilyen eszköz a szív működést folyamatosan regisztráló és azonnal ki is értékelő FusionVital/BodyGuard rendszer vagy a pszichológiai és pszichofiziológiai vizsgálatokat standardizáló és felgyorsító Vienna Tesztrendszer. Ez utóbbi egyetlen, standard kiépítésű eszközcsoporthoz segítségével képes pszichofiziológiai jellegű méréseket végezni (például reakcióidő, végtagi koordináció, térbeli koordináció és vizuális mező terjedelme, figyelem és koncentráció, mentális éberség), de alkalmas pszichomotoros képességek, érzékelési folyamatok, mozgások időbeliségének elemzésére is. Mindezek mellett pszichológiai tesztek végzésére is alkalmas (például BigFive kérdőív vagy munkával kapcsolatos attitűdök). Az automatizált mérési eljárások egy adott

szinten már képesek lehetnek munkavégzés közben is méréseket végezni, ami jelentős előrelépés ezen a területen.

Egy harmadik fontos fejlődés a mesterséges intelligencia egyre szélesebb körű megjelenése, amely részben kizárja az emberi tényező okozta hibázások zömét, részben nagyszámú és gyors tevékenységet tesz lehetővé. Ennek segítségével már rendszerszintű vizsgálatok is végezhetőek, például feltérképezhetőek kommunikációs hálózatok, szociális kapcsolatok, időbeli szinkronizáció egyaránt.⁵³

Összefoglalás

Ez a tanulmány egyfajta áttekintést kíván nyújtani a repüléstudományi kutatásban alkalmazott módszerekről, irányokról, stratégiákról és szintekről. Alapját a pszichometria⁵⁴ és a pszichofiziológia képezi, amelyek az emberi tényezők mérését maguk elé tűző tudományterületek, olyanok, amelyek kiegészítik a már hagyományosabb technikai, illetve fizikai állapotra vonatkozó mérési eljárásokat. Egy olyan, jelenleg is nagy léptekkel fejlődő területről van szó, amely most éli át azt az informatikai forradalmat, amelyet más területek – például a technológia vagy az orvoslás – már korábban átélt, most ér el abba a fázisba, hogy rendszeres és tervszerű alkalmazása lehetővé vált, és jelentős új ismerettel tud hozzájárulni például a repüléstudományi kutatásokhoz is. Emellett valószínűleg egyike azoknak a területeknek, amelyek rendszeres alkalmazása az emberi tényező szerepének pontosabb felmérését, és hatékonyságának jelentős növelését teszi lehetővé, és – ami talán a legfontosabb – alapvetően hozzájárulhat az emberi hibák számának csökkentéséhez, az ezáltal okozott katasztrófák elkerüléséhez.

Felhasznált irodalom

- Ádám György: *Pszichofiziológia*. Budapest, Gondolat, 1972.
- Andreassi, John L. *Human behavior and physiological response*. Mahwah, NJ. USA, Lawrence Erlbaum, 2000.
- Andreassi, John L. *Psychophysiology. Human behavior and physiological response*. New York, Psychology Press – Taylor and Francis Group, 2007.
- Bárdos György: *Viselkedés kívül-belül*. Budapest, ELTE, 2012.
- Bárdos György: *Viselkedésettan I: Pszichovegetatív kölcsönhatások*. Budapest, Scholar, 2003.
- Bartram, Dave – H. C. A. Dale: The Eysenck Personality Inventory as a selection test for military pilots. *Journal of occupational and organizational psychology*, 55. (1982), 4. 287–296.
- Berntson, Gary G. – Karen S. Quigley – David L. Lozano: Cardiovascular psychophysiology. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK., Cambridge University Press, 2000. 182–210.

⁵³ Pléh Csaba: *A pszichológia története*. Budapest, Gondolat, 1992.

⁵⁴ Vajda Zsuzsanna: Pszichometria Magyarországon a 20. század első felében. *Pedagógiatörténeti Szemle*, 2. (2016), 1–2. 1–22.

- Brookes, Martin: *Extreme Measures: The dark visions and bright ideas of Francis Galton*. London, Blumsbury Publishing, 2004.
- Butcher, James N. – Timothy Jeffrey – Tommie G. Cayton – Susan Colligan – Jerry R. DeVore – Rahn Minegawa: *A study of active duty military personnel with the MMPI-2*. *Military Psychology*, 2. (1990), 1. 47–61. Online: http://dx.doi.org/10.1207/s15327876mp0201_4
- Cacioppo, John T. – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge Univeresity Press, 2000.
- Campbell, L. – Lotmin, A. – DeRico, M. M. – Ray, C.: *The use of artificial intelligence in military simulations*. In *1997 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics, computational cybernetics and simulation*. Vol. 3. IEEE, 1997. 2607-2612.
- Cardona, Robert – Elspeth Cameron Ritchie: Psychological screening of recruits prior to accession in the US military. *Recruit medicine*, 2006. 297–309.
- Chappelle, Wayne – Kent McDonald – Raymond E. King: *Psychological attributes critical to the performance of MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper US Air Force sensor operators* (No. AFRL-SA-BR-TR-2010-0007). Air Force Research Lab Brooks City-Base TX Human Performance Wing (711TH). 2010.
- Cigrang, Jeffery A. – G. Wayne Talcott – Jolyn Tatum – Monty Baker – Daniel Cassidy – Scott Sonnek – Douglas K. Snyder – Christina Balderrama-Durbin – Richard E. Heyman – Amy M. Smith Slep: Impact of combat deployment on psychological and relationship health: A longitudinal study. *Journal of Traumatic Stress*, 27. (2014), 1. 58–65.
- Czigler István: *Pszichofiziológia: megismerés és aktiváció*. Debrecen, Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadó, 2003.
- Dawson, Michael E. – Anne M. Schell – Diane L. Filion: The Electrodermal System. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge Univeresity Press, 2000. 159–181.
- Driskell, J. E. – B. Olmstead: Psychology and the military: Research applications and trends. *American Psychologist*, 44. (1989), 1. 43–54.
- Dunai Pál: UAV kezelőszemélyzet kiválogatásának bemeneti fizikai követelményei. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 2. 498–503.
- Fabiani, M. – G. Gratton – K. D. Federmeier: Event-related brain potentials: methods, theory, and applications. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge Univeresity Press, 2000. 85–119.
- Fekete László – Bakity Boldizsár – Micskó Anna – Baranyák Zsuzsanna – Bárdos György. Non-invasive electro-gastro-intestinogram (EGIG) recording under physiological conditions. *AARMS: Academic & applied research in military science*, 13. (2014), 3. 493–505.
- Fiske, Donald W.: A személyiség mérésének problémái. In Szakács Ferenc – Kulcsár Zsuzsanna (szerk.): *Személyiséglektani szöveggyűjtemény. I.* Budapest, Tankönyvkiadó, 1982. 301–323.
- Fissette, Caitlin L. – Douglas K. Snyder – Christina Balderrama-Durbin – Steve Balsis – Jeffrey Cigrang – Wayne Talcott – JoLyn Tatum – Monty Baker – Daniel Cassidy – Scott Sonnek – Richard E. Heyman – Amy M. Smith Slep: Assessing posttraumatic stress in military service members: Improving efficiency and accuracy. *Psychological assessment*, 26. (2014), 1. 1–7.
- Furr, R. Michael: *Scale Construction and Psychometrics for social and personality psychology*. London, Sage, 2011.
- Furr, R. Michael – Verne R. Bacharach: *Psychometrics: an introduction*. London, Sage, 2013.
- Gordon, Harold W. – Robert Leighty: Importance of specialized cognitive function in the selection of military pilots. *Journal of Applied Psychology*, 73. (1988), 1. 38–45.

- Gould, Stephen Jay: *Az elméricskél ember*. Budapest, Typotex, 1999.
- Grósz Andor – Szabó Sándor – Vigh Zoltán: Adatfeldolgozó rendszer a pilóták fiziológiai állapotának vizsgálatára. *Haditechnika*, 39. (2005), 1. 2–6.
- Guide for Aviation Medical Examiners: Specifications for Psychiatric and Psychological Evaluations*. USDT Federal Aviation Administration. (é. n.) Online: www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/ame/guide/media/ppevalspecs.pdf
- Győri Miklós: A tudományos pszichológia kialakulása: hagyományok, hősök, fordulópontok. In Oláh Attila – Bugán Antal: *Fejezetek a pszichológia alapterületeiből*. Budapest, ELTE Eötvös Kiadó, 2000.
- Horváth György: *Az értelem mérése*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1991.
- Hugdahl, Kenneth: *Psychophysiology. The mind-body perspective*. Cambridge, MA, USA, Harvard University Press, 1995.
- Lecznar, William B.: *Survey of tests used in airman classification*. Technical Documentary Report PRL-TDR-63-5, 1963. Online: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/403831.pdf>
- Lorig, Tyler S.: The Respiratory System. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinari – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 231–244.
- Lundberg, Ulf: Psychophysiology of work: Stress, gender, endocrine response, and work related upper extremity disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 41. (2002), 5. 383–392.
- Mayer, Krisztina – Lukács, Andrea – Pauler, Gábor: Hungarian adaptation of the 8-item Sensation Seeking Scale (BSSS-8). *Mentálhigiéné és pszichoszomatika*, 13. (2012), 3. 297–312.
- Miller, Laura L. – Martin, L. T. – Yeung, D. – Trujillo, M. D. – Timmer, M. J.: *Information and communication technologies to promote social and psychological well-being in the Air Force: A 2012 survey of Airmen*. Rand Project Air Force Santa Monica CA., 2014.
- Motowidlo, Stephan J. – Walter C. Borman: Behaviorally anchored scales for measuring morale in military units. *Journal of Applied Psychology*, 62. (1977), 2. 177–184.
- Motowidlo, Stephan J. – Walter C. Borman: Relationships between military morale, motivation, satisfaction, and unit effectiveness. *Journal of Applied Psychology*, 63. (1978), 1. 47–52.
- Oláh Attila: *Pszichológiai alapismeretek*. Budapest, Bölcsész Konzorcium, 2006.
- Ong, N. C. H.: The use of the Vienna Test System in sport psychology research: A review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 8. (2015), 1. 204–223.
- Pizzagalli, Diego A.: Electroencephalography and High-Density Electrophysiological Source Localization. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinari – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 56–84.
- Pléh Csaba: *A pszichológia története*. Budapest, Gondolat, 1992.
- Ritz, Thomas, – Bernhard Dahme – Arthur B. Dubois – Hans Folgering – Gregory K. Fritz – Andrew Harver – Harry Kotses – Paul M. Lehrer – Christopher Ring – Andrew Steptoe – Karel P. Van de Woestijne: Guidelines for mechanical lung function measurements in psychophysiology. *Psychophysiology*, 39. (2002). 546–567.
- Roscoe, A. H.: Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration? *Biological psychology*, 34. (1992), 2. 259–287.
- Rózsa Sándor – Kálmán Rita – Kő Natasa – Nagy Henriett – Fiáth Titanilla – Magi Anna – Eisinger, Andrea – Oláh Attila: Az érzelmi arcfelismerés jelentősége és mérése a pszichológiai kutatásokban: Az Ekman 60 Arc Teszttel szerzett hazai tapasztalatok. *Pszichológia*, 32. (2012) 3. 229–251.

- Rózsa Sándor – Kő Natasa: Mindennapos testi problémák tünetpercepció modelle. In Demetrovics Zsolt – Kökönyei Gyöngyi – Oláh Attila (szerk): *Személyiséglélektantól az egészségpszichológiáig*. Trefort, 2007. 111–133.
- Rózsa Sándor – Nagybányai Nagy Olivér – Oláh Attila (szerk): *A pszichológiai mérés alapjai. Elmélet, módszer és gyakorlati alkalmazás*. Budapest, Bölcsész Konzorcium, 2006.
- Siem, Frederick M.: Predictive validity of an automated personality inventory for Air Force pilot selection. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2. (1992), 4. 261–270.
- Stern, Robert M. – Kenneth L. Koch – Max E. Levine – Eric R. Muth: Gastrointestinal Response. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 211–230.
- Stone, Brice M. – Kathryn L. Turner – Vincent L. Wiggins – Larry T. Looper: Measuring airman job performance using occupational survey data. *Military psychology*, 8. (1996), 3. 143–160. Online: http://dx.doi.org/10.1207/s15327876mp0803_2
- Strube, Michael M. – Laurel C. Newman: Psychometrics. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 789–811.
- Szilágyi László: *A professzionalizálódó Magyar Honvédség hivatásos állománya munkahelyi elégedettségének alakulása 1996–2007 között*. PhD-értekezés. 2010.
- Szokolszky Ágnes: *Kutatómunka a pszichológiában*. Budapest, Osiris, 2004.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93. (1996), 1043–1065.
- Tassinary, Louis G. – John T. Cacioppo – Eric J. Vanman: The Skeletomotor System: Surface Electromyography. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 267–299.
- Thompson, J. A. – S. L. Wilson: Automated psychological testing. *International Journal of Man-Machine Studies*, 17. (1982), 3. 279–289.
- Vajda Zsuzsanna: Pszichometria Magyarországon a 20. század első felében. *Pedagógia történeti Szemle*, 2. (2016), 1–2. 1–22.
- Vidulich, Michael A. – Edward R. Hughes: Testing a subjective metric of situation awareness. In *Proceedings of the Human Factors Society annual meeting* (Vol. 35, No. 18, 1307–1311). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 1991.
- Wager, Tor D. – Luis Hernandez – John Jonides – Martin Lindquist: Elements of Functional Neuroimaging. In John T. Cacioppo – Louis G. Tassinary – Gary G. Berntson: *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2000. 19–55.
- Weathers, Frank – Brett Litz – Debra S. Herman – J. A. Huska: *The PTSD Checklist: Reliability, validity, and diagnostic utility*. Paper presented at the meeting of the International Society for Traumatic Stress Studies, San Antonio, TX. 1993.
- Weissmuller, Johnny J. – Kenneth L. Schwartz – Stanéey D. Kenney – C. Wayne Shore – R. Bruce Gould: *Recent developments in USAF officer testing and selection*. Air Force Personnel Center Randolph Afb TX. 2004.
- Yu-hua, L. – H. Xiao-ou – W. Qing – W. Jun-jiao: Study of route analysis of the relationship between mental health and state-trait anxiety, anxiety sensitivity of the military pilots. *Clinical journal of medical officers*, 19. (2009). 4. 703–705.

Vákát

Légből kapott segítség a Covid-19 ellen

Absztrakt

Az emberi történelem minden korszakában különböző csapások érik a közösségeket, felüti fejét valami pusztító „erő”, legyen az egy „aktuális” hódító hadvezér álomlátása vagy egy természeti jellegű, akár járvány-egészségügyi vonatkozású katasztrófa. Kizárólag ilyenkor tudatosul az emberiségben, hogy csupán porszemek vagyunk a Tejútrendszer egy kicsinyke bolygóján. Ilyen helyzetekben gondolkodnak, és megoldási protokollok kidolgozásához fognak hozzá az adott kérdés, ágazat szakemberei, tudósai. Minden tudományterületről ötletek, elméleti és gyakorlati megoldási javaslatok érkeznek, legyenek azok egészen egyszerűek vagy akár ép ésszel felfoghatatlanok. A hatásos, hatékony eljárás, eszköz vagy gépezet megoldást fog kínálni a problémára, és átmenetileg csökkenti a félelmet, az emberiség félelmét. Igaz, az ember genetikai kódolásának köszönhetően mindig fél valamitől, legyen az valós vagy önmagát gerjesztő félelem. De hogyan lehet leküzdeni a félelem egyik okozóját egy másik tárgyiasult eszközzel? Az alábbi írásban a szerzők arra keresnek válaszokat, hogy a világon mindent elsöprő vírus megfékezésében, megállításában hogyan tudnak segítséget nyújtani a pilóta nélküli légi járművek. Ezek a rohamosan fejlődő „technikai organizmusok” alkalmasak-e, és amennyiben igen, akkor milyen paraméterekkel kell rendelkezniük a hatékony és biztonságos feladat-végrehajtáshoz?

Bevezetés

*„Mivel sok a bűnöd és súlyos a vétked,
azért bántam így veled.”
(Jer 30,15)*

A járványok (pestis, feketehimlő, kolera, spanyolnátha) végigkísérték az emberiség történelmét, nem egyszer jelentős befolyással bírtak annak alakulására. Nem kell az időben messzire visszautazni, csupán néhány év vagy évtized elegendő arra, hogy emlékezzünk a HIV, a SARS vagy akár a madárinfluenza elleni kampányokra, napjainkban pedig a koronavírus megjelenése irányítja figyelmünket az ÉLET háttérbe szorított, fontos elemeire. Feltehetjük a kérdést önmagunk számára, hogy az ember a tudomány és a technika fejlődésének eredményeként *teljhatalmú ura lesz környezetének*? Sorolhatjuk a társadalmi és technikai fejlődés során megvalósult találmányok, felfedezések és létrejött eszközök végeláthatatlan sorát, ám egy-egy apró organizmus megjelenése valódi töprengésre készíteti a modernizációs folyamat során túlzottan magabiztossá és önhitté váló emberiséget.

Amióta világ a világ, és a természet él, fejlődik, azóta minden organizmus életet követel magának, bármilyen pozíciót is töltsön be a táplálkozási láncolatban. Nincs ez másként a vírusokkal sem, amelyek az életük fenntartása érdekében hordozóanyagot,

donort keresnek. A sejtés élőlények közelében mindenütt megtalálhatóak, és a feltételezések szerint azóta léteznek, amióta azok létrejöttek. Minél nagyobb az a populáció, amelyik korábban nem találkozott az adott fertőzéssel, annál nagyobb a pusztítás is. Azonban a mikroorganizmus csak akkor marad fenn, ha nem mindegyik gazdaszervezet – jelen esetben az ember – veszi életét, hiszen az a saját pusztulását is elhozza. Egy idő után, akár mesterséges emberi beavatkozás nélkül is, valamiféle egyensúly jön létre, azaz kevésbé fertőz a kórokozó, kevesebb a halálos áldozat. Ennek legfőbb oka, hogy a szervezet felkészül, kidolgozza a védekezési mechanizmusokat, azaz természetes rezisztenciát alakít ki a mikroorganizmussal szemben, ami olykor hatékony lehet más kórokozó ellen is.¹ A kérdés csupán az, hogy a természetet és önmagát pusztító ember képes-e arra, hogy egészségét, immunrendszerének épségét megőrizve türelemmel és alázattal viseltessen a vírussal szemben, az alapvető higiéniai előírások betartásával, nem pedig túlzásba vitelével.

Képesek az emberek elfogadni a vírusos megbetegedések okozta helyzetet és megtenni mindent annak érdekében, hogy a sportolással, sok mozgással megerősített immunrendszerük ellenálljon a vírusnak, vagy hitetlenkedve tagadják a világjárvány létezését?

Milyen módszereket, tisztító-, fertőtlenítő-, védőanyagokat használunk a fertőzés visszaszorítására, vagy technikai eszközök „bevetésével” nagyobb hatékonysággal fékezhajjuk a pusztítás szekerét?

A publikáció megírása előtt elvégeztünk egy a koronavírus-fertőzéssel, a vírus terjedésének megakadályozása érdekében tett cselekmények és a felhasználható technikai eszközök ismeretével kapcsolatos kutatást, amely alapján az alábbi hipotéziseket állítottuk fel:

1. Az emberek tisztában vannak az egyéni védekezés lehetőségével és formáival.
2. Mindenki teljes mértékben ismeri a közvetlen környezetét, tisztában van a fertőzés tényével az ismerősök között.
3. A lakosság jelentős része ismeri a pilóta nélküli légi jármű, mint a védekezésbe bevethető technikai eszköz lehetőségét.
4. A drónok robbanásszerű elterjedése ellenére még mindig ellenérzés és bizonyos szituációkban félelem mutatkozik az emberekben.
5. Ha már nincs más lehetőség, és az UAV-eket szükséges használni egy adott védekezési feladatban a Covid ellen, akkor a biztonság a legfontosabb szempont.

A vírus maga...

A vírus szubmikroszkopikus biológiai organizmus, amely nem sejtés szerveződésű, és csak parazitaként, az élőlények sejtjeiben képes szaporodni. Minden életformának, növényeknek, állatoknak, gombáknak, egysejtű eukariótáknak és baktériumoknak megvannak a vírusos fertőzéseik. Számos olyan vírus létezik, amelyek fontos szerepet játszanak a vírusreplikációban, és amelyek a vírusok sokféleségében osztoznak, de hiá-

¹ Nem hanta a vírus. *Magyar Idők*, 2018. február 3.

nyoznak a sejtes genomokból (vírusjelző gének), ami azt sugallja, hogy az ősi vírusvilág modellje, a vírusspecifikus gének áramlása az élet fejlődésének precelluláris szakaszától a mai napig megszakítás nélkül töretlen. Ez a koncepció szorosan kapcsolódik a sejtek evolúciójának két kulcsfontosságú sejtéséhez: egy komplex, precelluláris, rekeszes, de nagymértékben keveredő és rekombináns génkészlet létezéséhez, valamint az eukarióta sejt archeobakteriális fúzióból való származásához. A „Vírus Világ” koncepciója és a sejtek evolúciója nagy átmenetének ezek a modelljei kiegészítik az élet történetének kialakulóban lévő koherens képét.²

A vírus kifejezés Dmitrij Ivanovszkij kutatása során jelent meg először 1892-ben, miközben a dohány mozaikos megbetegedését vizsgálta. A felfedezését követően Martinus Beijerinck 1898-ban nevezte el az organizmust, amely elnevezés a latin *virus*, azaz „méreg” szóból származik. Az elnevezésnek praktikus oka is lehetett, ugyanis a felfedezésük előtt egyes vírusos fertőzések baktérium-kórokozóit a kutatók nem találva feltételezték, hogy e betegségeket nem sejtek, hanem csupán mérgező, élettelen, de valamiképp mégis bioaktív (fertőző) anyagok okozzák. Máig mintegy ötezer fajukat írták le különböző tudósok, laboratóriumok, de valószínűsíthető számukat több millióra teszik.³ A vírusok minden ökoszisztémában megtalálhatók, létszámukat tekintve az egyik leggyakoribb organizmusok a Földön. A vírusokat a mikrobiológia egyik ága, a virológia tanulmányozza.

A vírusok a sejteken kívül életjelenségeket nem mutató vírusrészescekként, csak genetikai információt hordozó *virion* formában léteznek, amelyek a genomból (a vírusok többsége RNS-vírus), egy fehérjeburokból (kapszid) és egyes fajok esetén egy külső lipidburokból (peplon) állnak. Formájuk változatos, lehetnek rúd, fonál, ikozaéder vagy egyéb alakúak. Méretük 20–1500 nm között változik, döntő többségüket fénymikroszkóppal nem, csak elektronmikroszkóppal lehet megfigyelni.

Eredetük bizonytalan. Több elmélet is létezik származásuk magyarázására, van, amelyik szerint leegyszerűsödött parazitabaktériumok vagy a sejtek citoplazmájában található plazmidok voltak őseik; van olyan vélemény is, hogy együtt alakultak ki a sejtes étellel. Az evolúcióban fontos szerepet játszanak, általuk lehetővé válik a fajok közötti génátadás. Élőlény mivoltuk vita tárgya; bár vannak génjeik, és alkalmazkodnak környezetükhöz, önálló anyagcserét nem folytatnak. Változatos módon terjednek; van, amelyiket rovarok viszik át egyik állatról vagy növényről a másikra, vannak, amelyek cseppfertőzéssel (tüsszentéssel, köhögéssel), a levegőbe kerülő aeroszollal, testnedvekkel, esetleg ürülékkel szennyezett tárgyakkal kerülnek új gazdaszervezetükbe. A legtöbb vírus csak egy vagy néhány fajt tud megfertőzni.⁴

A 21. század eddigi legnagyobb járványának definiált betegsége a 2019-es koronavírus-betegség (Covid-19), amely bizonyíthatóan Vuhan városából, a közép-kínai Hupej

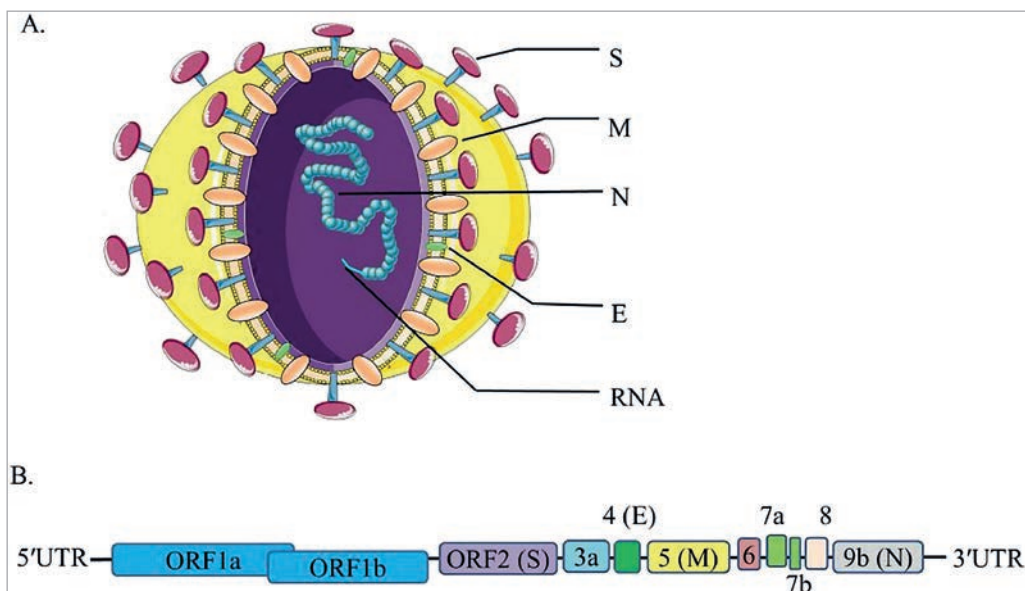
² Eugene V. Koonin – Tatiana G. Senkevich – Valerian V. Dolja: The ancient Virus World and evolution of cells. *Biology Direct*, 1. (2006), 29.

³ Mya Breitbart – Forest Rohwer: Here a virus, there a virus, everywhere the same virus? *Trends in Microbiology*, 13. (2005), 6. 278–284.

⁴ Carlos Canchaya – Ghislain Fournous – Sandra Chibani-Chennoufi – Marie-Lise Dillmann – Harald Brüssow: Phage as agents of lateral gene transfer. *Current Opinion in Microbiology*, (2003), 6. 417–424.

tartományból származik, és a mai napig is gyorsan terjed, a tanulmány megírásának pillanatában 72 országban mutatható ki a jelenléte. A koronavírus által okozott megbetegedés (Covid-19) egy fertőző betegség, amelyet egy újonnan felfedezett koronavírus okoz.

A koronavírusok (CoV) az Orthocoronavirinae alcsaládba tartoznak a Coronaviridae családba tartozó Nidovirales családból. Az Orthocoronavirinae alcsaládon belül négy nemzetség van, nevezetesen Alphacoronavirus (α -CoV), Betacoronavirus (β -CoV), Gammacoronavirus (γ -CoV) és Deltacoronavirus (δ -CoV). A CoV genom egy burkolt, pozitív egyszálú RNS-vírus, amely az ismert RNS-vírusok legnagyobb genomja. Az α - és a β -CoV nemzetségekről ismert, hogy az emlősöket, míg a δ - és a γ -CoV-k a madarakat fertőzi. A közelmúltban a β -CoV-k által okozott vírusos tüdőgyulladás két súlyos akut légzési szindróma (SARS – Severe Acute ReSpiratory) és közel-keleti légúti szindróma (MERS – Middle East Respiratory Syndrome) járványt okozott. 2002-ben a SARS kitörését először Kínában jelentették, majd gyorsan elterjedt világszerte, több száz halálesetet eredményezve 11%-os halálozási rátával. 2012-ben a MERS először Szaúd-Arábiában jelent meg, majd más országokban is elterjedt, a halálozás aránya 37% volt. Mindkét járványban a vírusok valószínűleg denevérekből származtak, majd más köztigazda szervezetten (rezervoár) keresztül fertőzték meg az embereket, például a cibet (*Paguma larvata*) a SARS-CoV esetében és a tevé az MERS-CoV esetében.



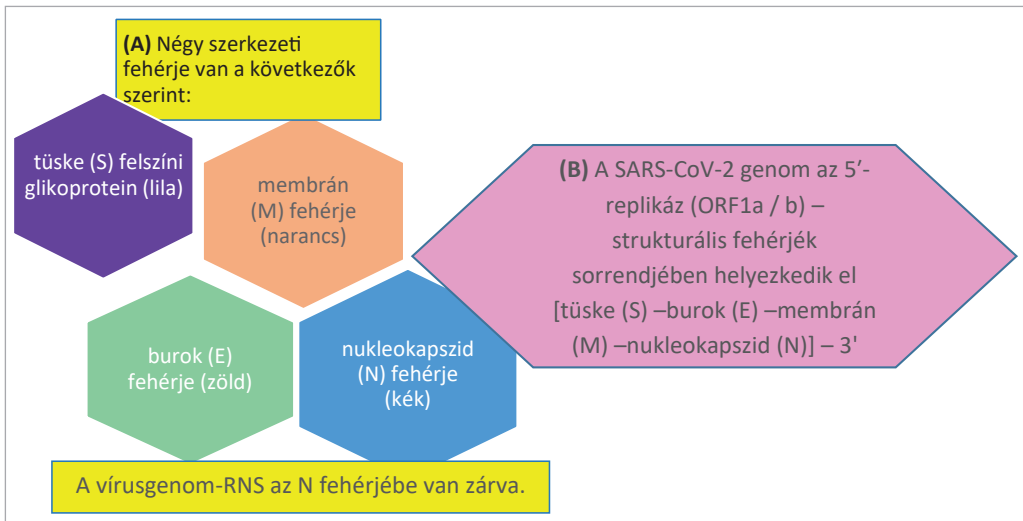
1. ábra: A súlyos akut légzési szindróma koronavírus 2 (SARS-CoV-2) szerkezete és genomja

Forrás: Li et alii: Coronavirus disease 2019 (COVID-19): current status and future perspectives. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55. (2020), 5.

2019 decemberétől számos ismeretlen etiológiájú tüdőgyulladásos beteg jelent meg Vuhan városában, Hupej tartományban, Közép-Kínában. A genomszekvenálás bebizonyította, hogy ezt a 2019-es koronavírus-betegségnek (Covid-19) nevezett tüdőgyuladást egy új

CoV okozza, nevezetesen a súlyos akut légzési szindróma koronavírus 2 (SARS-CoV-2). A SARS-CoV-hoz és a MERS-CoV-hez hasonlóan ez az újonnan megjelenő SARS-CoV-2 vírus a β -CoV-k B-vonalához tartozik.

Figyelembe véve a globális veszélyt, az Egészségügyi Világszervezet (WHO) közegészségügyi vészhelyzetnek és 2020. március 11-én világjárványnak nyilvánította a Covid-19-et. A hatékony vakcinák és gyógyszerek feltárása szempontjából elengedhetetlen a SARS-CoV-2 jobb megértése, ezért első lépésként a következő 1. ábrán röviden bemutatjuk a SARS-CoV-2 szerkezeti felépítését, valamint a 2. ábrán látható az 1. ábra jelöléseinek magyarázata.⁵



2. ábra: A SARS-CoV-2 szerkezeti ábrájának szövegmagyarázata

Forrás: a szerzők szerkesztése

A Covid-19-ben megbetegedő emberek nagy többségénél enyhe vagy közepesen súlyos tünetek jelentkeznek, és a gyógyulás speciális ellátás nélkül bekövetkezik. A Covid-19-betegséget okozó vírus elsősorban cseppfertőzés útján terjed, például a fertőzött személyek általi köhögéssel, tüsszentéssel, illetve az általuk kilélegzett levegővel. Az eddigi ismeretek azt mutatták, hogy a cseppcsekék túl nehezek ahhoz, hogy huzamosabb ideig a levegőben maradjanak, így hamar a földre és tárgyak felületére hullanak, amit a folyó kutatások annyiban módosítottak, hogy megerősítették a tartós aeroszol formában történő perzisztálást is. Fogékony alany megfertőződhet úgy, hogy belélegzi a vírust, amikor

⁵ Szerzői magyarázat: a cikk szempontjából a teljes morfológia és patogenitás bemutatása nem releváns, csak annyiban, hogy a tüskefehérje mint kapcsolódási pont a légúti hámsejt membránján lévő ACE (angiotenzin konvertáz enzim) struktúrájához és a gyors replikációval járó mutációk lassíthatják a specifikus immunválaszt kiváltó vakcinák kifejlesztését, ami jelenleg is folyamatban van.

egy Covid-19-cel fertőzött személy közelében tartózkodik, vagy úgy is, hogy vírussal szennyezett tárgy felületéhez ér hozzá, majd a szeméhez, az orrához vagy a szájához nyúl.

Jelenleg az újonnan azonosított SARS-CoV-2 által okozott fertőzések száma világszerte meghaladja az 50 milliót, a halálesetek száma jóval meghaladja az egymilliót a november eleji adatok szerint. A fogékonyság, a vírus fertőzőképessége komoly veszélyt jelent a közegészségre. A Covid-19-hez azonban nem állnak rendelkezésre klinikailag jóváhagyott vakcinák vagy specifikus terápiás gyógyszerek. Sürgősen szükség van a SARS-CoV-2 intenzív kutatására, a fertőzési mechanizmusok és epidemiológiai jellemzők meghatározására, valamint a lehetséges gyógyszerek kutatására, amelyek hozzájárulhatnak a hatékony megelőzési és kezelési stratégiák kidolgozásához.⁶

...És a védekezés ellene

*„A hetedik napon pedig nézze meg őt a pap, s ha szerinte a fakedék egy állapotban van, [...] a pap másodszor is rekeszse őt külön hét napig.”
(3Móz 13,5)*

A járványok kialakulása és az azok elleni védekezés egy idősebb az emberiséggel. Eleinte egy-egy járvány kialakulását és elterjedését az istenek haragjának és bosszújának tekintették, azonban a tudomány és technika fejlődésével egyértelművé vált, hogy a néha emberek millióinak halálát okozó betegségeket baktériumok és vírusok okozzák. Történelmi távlatokba helyezve érdemes megemlíteni például a 6. században pusztító Justitianus-pestist, amelyben egyes becslések szerint akár 50 millió ember is meghalhatott, majd az 1347–1351-es európai pestisjárvány pedig a kontinens lakosságának harmadát-negyedét pusztította el. Figyelembe véve a föld akkori lakosságának számát, amely megközelítőleg félmilliárd ember volt, elmondható, hogy a népesség közel egytizedét pusztította el a vírus.

A járványok elleni védekezés számos formában történhet. Az egyik legkorábbi írásos utalás karanténjellegű intézkedésre az Ószövetségben maradt fent. Lepra gyanúja esetén többszöri, időben elnyújtott vizsgálatnak kellett alávetni az érintett személyt, és a vizsgálatok között az illetőt vesztegzár alatt tartották. Ezen eljárást az ókori Közel-Keleten, majd később a Római Birodalomban is alkalmazták.⁷ A fertőző betegségek megfékezésében nagy szerepe volt a karantén intézményének, amely az 1347 utáni itáliai pestisjárvány elleni védekezésben is jelentős szerepet töltött be. A közismertebb járványok közé sorolható a spanyolnátha, amely 1918 és 1919 között közel 27–50 millió áldozatot szedett (többen haltak meg, mint az I. világháború következtében). A járványokat gyakran alkalmazták eszközként egy-egy háború megvívásához, várak, erődök elfoglalásához, hiszen egy betegségek sújtotta haderőt vagy véderőt könnyebben és kisebb áldozatok

⁶ Li et alii: Coronavirus disease 2019 (COVID-19): current status and future perspectives. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55. (2020), 5.

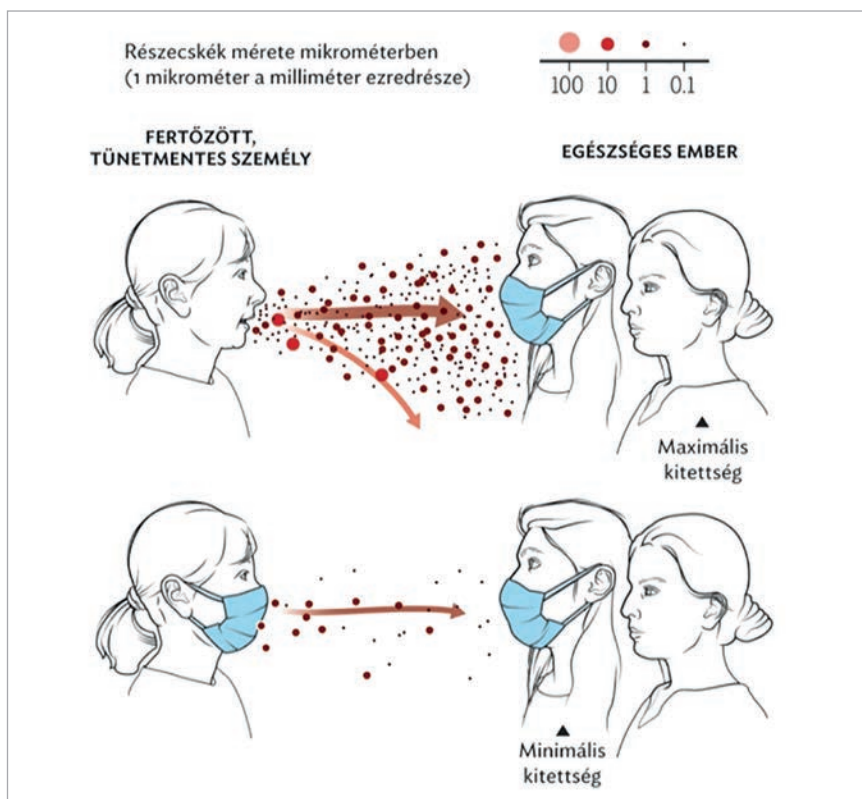
⁷ Karanténok és pestisjárványok a középkorban (4. rész).

arán lehetett legyőzni. A vírusok terjedésének gyakran kedveztek az aktuális hatalmi és pénzügyi érdekek is. Az 1892-es hamburgi kolerajárvány idején a helyi kereskedők befolyása alatt álló városban jelentős késlekedést követően vezettek be karantént. A város akkoriban a világ egyik legjelentősebb kereskedelmi kikötőjének számított, ahová és ahonnan naponta tucatszámra indultak útnak kereskedelmi járatú hajók. Egy esetleges karantén azonnali bevezetése jelentős anyagi károkat okozott volna a helyi üzletembereknek, ezért a városi szenátust meggyőzve, a valódi problémát titkolva csak egy hét késlekedéssel vonták zárlat alá a várost. Ezen időszak azonban pont elegendő volt ahhoz, hogy a járvány kikerüljön és világméretűvé terjedjen. Időben közelebbi példaként említhető a 2003-as SARS-járvány, amelyet Kína hat hónapig, és a Covid-19-járvány, amelyet egy hónapig próbált eltitkolni a világ elől. „2019 decemberében közzétették az első, súlyos légzési elégtelenséggel járó esetet a kínai Vuhan városában, melynek okaként egy új koronavírusfajt igazoltak. Az ezt követő járvány gyorsan átlépte Kína határait, és mára minden országba eljutott: az egész világra kiterjedő pandémiává vált. 2020. február 12-én a vírust *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)* névvel illették, amely képes cseppfertőzéssel hatékonyan terjedni, míg az általa kiváltott betegséget COVID-19-ként nevezték el.”⁸

A világjárvány napjaink súlyos társadalmi és gazdasági problémáját jelenti. A járvány megjelenése és elterjedése komoly egészségügyi és gazdasági válságot okozott szerte a világban. A világjárvány kezdetekor a gazdaságilag fejlett országok sem rendelkeztek megfelelő egészségügyi kapacitással a megbetegedések kezelésére, éppen ezért a megfelelő felkészüléshez szükséges időnyerés szükségintézkedések bevezetését követelte meg. Ezen intézkedések azonban olyan mértékben vetették vissza az egyes országok gazdasági fejlődését, amely hatások azonnali recessziót, hosszú távon pedig a várt gazdasági növekedés elmaradását eredményezhetik.

A cseppfertőzés azt jelenti, hogy egyetlen tüsszentés akár 40 000 részecskét robbanthat egyidejűleg 160 km/h-s sebességgel a levegőbe, amelyek szétszóródva néhány másodperc alatt a kibocsátás 2 m-es sugarú körében leülepednek. A kisebb részecskék azonban képesek néhány percre, sőt légáramlatok segítségével akár néhány óráig is lebegni (aeroszolt képezve), ezáltal három órán át is fertőzőképesek maradhatnak. A leülepedett vírust tartalmazó részecskék a felület anyagától függően akár két-három napig is fertőzőképesek. A vírus elleni védekezés eszköztárába beletartozik a megfelelő távolságtartás, a különböző védőeszközök használata, az alapos higiéniai szabályok betartása, a szociális érintkezések minimálisra történő redukálása, a megfelelő védőoltás alkalmazása és a hőmérsékletmérés (például a kézi mérés, valamint a hőkapuk, hőkamerák használata). Szakemberek 1,5–2 m-es szociális távolság tartását javasolják, amely nagymértékben csökkentheti az átfertőződés kockázatát, ugyanakkor egyes tanulmányok kimutatják, hogy egy tüsszentés alkalmával akár 8 m-es távolságra is eljuthatnak a járványt tartalmazó aeroszolrészecskék.

⁸ Resál Tamás et alii: A gyulladásoz bélbetegségek kezelése a SARS-COV-2-járvány idején – gyakorlati javaslatok. *Orvosi Hetilap*, 161. (2020), 25. 1022–1027.



3. ábra: Az MTA tanácsai a maszkviselés hatékonyságát illetően

Forrás: Makara Gábor: *Új koronavírus – új tudományos eredmények – módosuló ajánlások*. 2020.

A védekezés már említett módszere, a védőfelszerelések használata, amelyek közül a legáltalánosabb és legelterjedtebb a szájmaszk és a gumikesztyű. Kezdetben az orvosok és szakmai szervezetek között sem volt teljes egyetértés a maszk használatával kapcsolatban. A WHO,⁹ a Magyar Vöröskereszt és az országos tisztifőorvos kezdeti álláspontja szerint a maszk használata nem a legmegfelelőbb védekezési eljárás az egészséges emberek tekintetében, alkalmazása kiegészítő védekezési eszköznek tekinthető. Ezzel szemben a CDC¹⁰ álláspontja szerint a maszk használata kifejezetten tanácsos egészséges emberek esetében is, főként olyan helyeken, ahol a megfelelő szociális távolság nem tartható. A 3. ábrán az MTA¹¹ tanácsai láthatók a maszkviselés hasznosságát illetően. A maszk viselésére számos érvet és ellenérvet sorakoztatnak fel a szakemberek, ugyanis ma már (a második hullám idején) egyértelmű, hogy hasznos, alapvető eszköz, akár 80–90%-kal csökkenti még zárt térben is a fertőződés lehetőségét.

⁹ World Health Organization – Egészségügyi Világszervezet (Genf, Svájc).

¹⁰ Centers for Disease Control and Prevention – Betegségmegelőzési és Megelőzési Központok (Amerikai Egyesült Államok szövetségi hivatala, Atlanta, Georgia).

¹¹ Magyar Tudományos Akadémia.

A maszk használatával szembeni ellenérvek:

- az egyszerűbb textil szájmaszkok nem védenek a szervezetből apró cseppekben távozó vírusokkal szemben, illetve nem zárnak légmentesen, és nem illeszkednek tökéletesen az arcra;
- a maszk viselése hamis biztonságérzetet nyújt a használójának, aki ezáltal önkéntelenül is óvatlanabb lesz, és kevésbé fogja betartani a további biztonsági intézkedéseket;
- a maszk viselése ingereket vált ki az arc érintésére, amely során a szem, illetve száj érintése további kockázati tényezőt jelentenek a megfertőződésre;
- az emberek többsége nem megfelelő módon alkalmazza a maszkot. Fontos annak szakszerű felhelyezése és levétele, a maszk érintése előtti szakszerű kézmosás és a használati idejének betartása;
- a vírus elterjedésének kezdeti időszakában nem állt rendelkezésre megfelelő számú védőeszköz. Ennek következtében a vírus elleni védekezésben dolgozó szakemberek és egészségügyi dolgozók számára nem jutott elégséges számú, főleg FFP3-as 99%-os szűrőhatékonyságú, kilégzőszeleppel ellátott maszk.

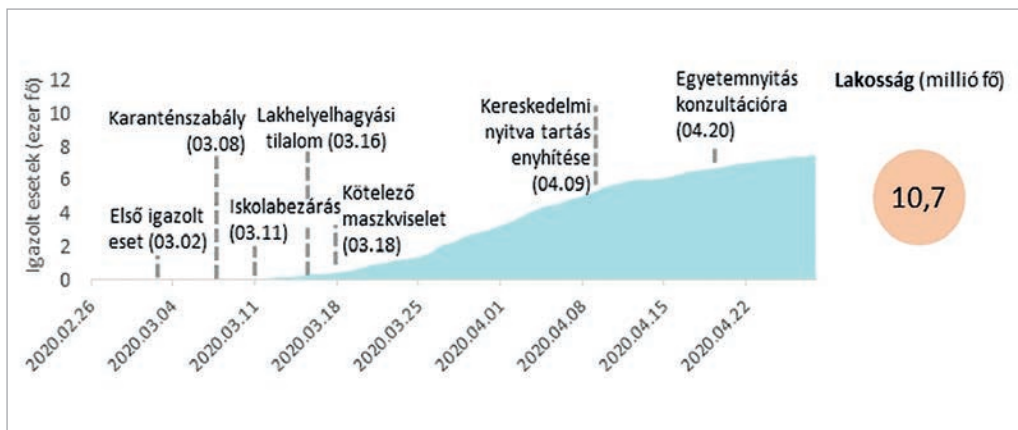
A maszk használata mellett szóló érvek:

- a tünetmentes hordozók esetében a maszk viselése csökkenti a fertőzés továbbadásának lehetőségét;
- a védekezésben betöltött nem 100%-os hatékonysága ellenére is lehet jelentősége a járvány terjedésének megakadályozásában.

A járvány elleni védekezésben mind a maszk, mind a gumikesztyű helyes alkalmazása nagyon fontos a megfertőződés elkerülése érdekében. A maszkok felhelyezése és levétele előtt elengedhetetlen az alapos, minimum 30 másodpercig tartó, a kézfej teljes felületét érintő kézmosás. Ügyelni kell a maszk helyes felhelyezésére, amelynek illeszkedni kell az arcra, és el kell fednie a száját és az orrot is egyaránt. Fontos továbbá ezen védőfelszerelések levételi sorrendjének betartása. Először mindig a kesztyűt kell levenni, majd alapos kézmosás után a szájmaszkot. A gumikesztyű és a szájmaszk helyes használatáról számos egészségügyi szervezet oldalán található oktatóvideó.

A Covid-19-járványra adott első reakciók szinte mindenütt a világban hasonlóak voltak. Az országok igyekeztek rendeletek útján a társadalmi érintkezéseket minimalizálni többek között az országhatárok lezárásával, az üzletek és szolgáltatóegységek nyitvatartásának csökkentésével, a közoktatási intézmények bezárásával, az emberek mozgásának korlátozásával és a digitális oktatásra való áttéréssel. A 4. ábrán a járványügyi és szociális intézkedések kronológiája látható Csehországban.

Az átmeneti intézkedéseket hozó kormányok célja, hogy laposítsák a járványgörbét, és felkészítsék az egészségügyi rendszert, amely eredmények következtében sem a gazdaságban, sem pedig a társadalomban nem keletkeznek maradandó károk. Hazánkban a járvány elleni védekezés koordinálására a kormány 2020. január 31-én operatív törzset hozott létre, és március 28-ától korlátozó intézkedéseket vezettek be.



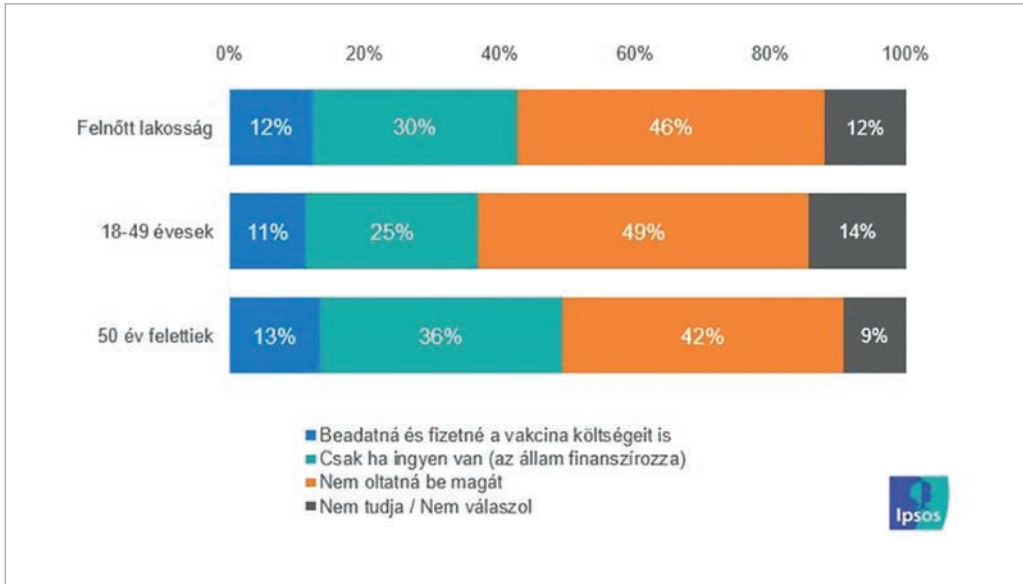
4. ábra: Járványügyi és szociális intézkedések kronológiája – Csehország

Forrás: Járványügyi és szociális intézkedések. *Infojegyzet*, 2020/34.

Mint minden betegség és járvány elleni védekezésben, kézenfekvő megoldás lenne a védőoltás alkalmazása, azonban a Covid-19 esetében ez még nem áll rendelkezésre. Jelenleg 42 vakcina klinikai próbái zajlanak. 2020. október 15-én a *The Lancet Infectious Diseases*¹² című kiadványban megjelent kutatási eredmény alapján egy kínai vakcina-jelölt biztonságos, és képes ellenanyagot kiválasztani. Ez az állapot örömdetes módon napról napra javul, jelenleg hat oltóanyag túl van a Phase 3 klinikai vizsgálati fázison, a Pfizer-BioNTech és az AstraZeneca – Oxfordi Egyetem oltási kampánya hamarosan megkezdődhet, a Szeptnyik V orosz és a Sinovac kínai vakcinákkal pedig már megkezdődött az oltási kampány. Hazánkban az Ipsos¹³ szeptemberi felmérése alapján, ha lenne is védőoltás a vírus ellen, a vírusszeptikus és oltásellenes nézetek, valamint a vakcina esetleges költségei hátráltatnák az ellenszer széles körű használatát. Természetesen jelenleg nem ismeretes a törvényalkotó elképzelése a koronavírus elleni védőoltás kötelezővé tételét illetően, de a megengedő magatartása esetén további dilemma az is, hogy a védőoltás beadatását mennyien és milyen széles körben vállalnák. Az 5. ábrán látható eredmények alapján elmondható, hogy a hazai felnőtt lakosság 12%-a adatná be magának és fizetné a védőoltást, míg 30% csak ha ingyen van, további 46% nem oltatná be magát, és 12% nem tudja, vagy nem válaszolt a feltett kérdésre.

¹² Isakova-Sivak, Irina – Larisa Rudenko: A promising inactivated whole-virion SARS-CoV-2 vaccine. *The Lancet. Infectious Diseases*, 20. (2020).

¹³ Ipsos Média-, Reklám-, Piac- és Véleménykutató Zrt. (a magyar gazdasági és társadalomkutatási iparág szereplője, teljes körű piac-, online-, reklám-, egészség-, vélemény- és médiakutatási szolgáltatást kínál).



5. ábra: Felmérés a hazai lakosság véleményéről a Covid-19 elleni védőoltásról

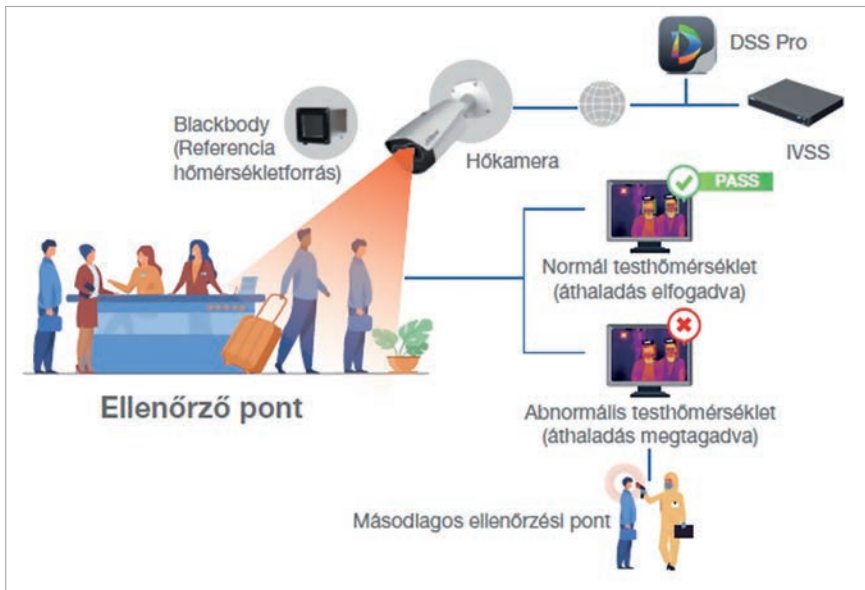
Forrás: Kiderült, mikor kéri majd a magyarok a védőoltást. *Portfolio*, 2020.

Mivel a betegség tünetei közé tartozik a lázas állapot (határérték $37,8^{\circ}\text{C}$), a védelmi intézkedések keretén belül alkalmazható, általános szűrő jelleggel, tömeges szűrés részeként a testhőmérséklet-mérés. A járvány kialakulását követően a kínai térségből érkezőket úgynevezett testhőmérséklet-mérő kapukkal ellenőrizték több nagyváros repülőterein. A legmodernebb technológiát alkalmazó non contact testhőmérséklet-mérő eszközök nem igényelnek fizikai kontaktust a mérés elvégzéséhez. Az adott testrész elé tartva viszonylag nagy távolságról (4 cm – 2,5 m) is képesek az aktuális testhőmérséklet meghatározására a test által kibocsátott infrasugarak mérése alapján. Ennek köszönhetően a művelet során kiszűrhetők a külső zavaró tényezők, és pontosabb mérési eredményt kapunk. A rendszer nagy előnye, hogy nem igényel testi kontaktust, és másodperceken belül elvégezhető a szűrés, hibatartománya pedig $0,2\text{--}0,3^{\circ}\text{C}$. Azoknál a betegeknél viszont, akik tünetmentesen (lázmentesen) hordozzák a vírust, a testhőmérséklet-méréssel nem lehet eredményes szűrést végezni. Magyarországon a védelmi intézkedések keretében 2020. október 1-jétől csak testhőmérséklet-mérést követően, lázmentes állapotban ($37,8^{\circ}\text{C}$ alatti testhővel) lehet belépni a köznevelési intézményekbe, iskolákba, óvodákba.

Ezen intézmények finansziális lehetőségeiket figyelembe véve egyre nagyobb számban térnek át a hagyományos kézi testhőmérséklet-mérésről a lényegesen fejlettebb (de anyagilag annál megterhelőbb) automatikus mérést biztosító, előre telepített hőkamerás mérési eljárásra.

A világban számos kutatás-fejlesztés folyik a mesterséges intelligenciával ellátott hőkamerás testhőmérséklet-mérő rendszerekkel kapcsolatban. Napjaink egyik fő kihívása a koronavírus miatt megbetegedett emberek időben történő kiszűrése és elkülönítése.

A betegség egyik tünete a megemelkedett testhőmérséklet, amely lehetőséget nyújt egy beépített, mesterséges intelligencia által vezérelt, algoritmusokkal működő ellenőrző rendszeren keresztül, hogy a fertőzött gyanús egyedeket érintés (*non contact*) nélkül kiszűrjük. „Az infrasugárzáson alapuló hőmérsékletmérés, illetve hőkamerás mérési módszer a testek hősugárzó képességétől függ.”¹⁴



6. ábra: Dahua mesterséges intelligenciával ellátott hőkamerás testhőmérséklet-mérő rendszer

Forrás: <https://dahuatechnology.hu/dahua-testhomerseklet-mero/>

A 6. ábrán látható a Dahua Technology mesterséges intelligenciával ellátott hőkamerás testhőmérséklet-mérő rendszere képes nagy tömegben is $\pm 0,3$ °C pontosságú hőmérsékletmérést, akár 3 m-es távolságból, érintkezés nélkül kivitelezni. Az eszköz pontosságát egy referencia-hőmérsékletforrás, úgynevezett *blackbody* biztosítja alapértelmezettként beállított hőmérséklet-felületeken keresztül (referenciapontok: homlok, szem). A hőkamera a *blackbody* által nyújtott referenciapontokhoz viszonyít a zavaró tényezők kiiktatásával, ezáltal a rendszer képes kiemelkedően pontos, érintés nélküli testhőmérséklet-mérésre. A rendszer működési elve, hogy a *blackbody* által kibocsátott infravörös sugárzást mint alapértelmezett viszonyítási alapként szolgáló hőmérsékletet a hőkamera összehasonlítja az emberi test testhőmérsékletre vonatkozó adataival. Fontos, hogy a mérés közben a *blackbodyt* folyamatosan a hőkamera látószögében kell tartani. Ezáltal érhető el a kívánt $\pm 0,3$ °C-os mérési pontosság. Az eszköz kiválóan alkalmas repülőtereken, tömegközlekedési eszközökön, középületekben és oktatási intézményekben történő szűrésre. Riasztás esetén a kezelőszemélyzetet fény- és hangjelzés figyelmeztet.

¹⁴ Haraszi Ferenc: Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 11. (2019), 78.

teti az előre beállított referencia-hőmérsékleten felül detektált eredményre. A rendszer képes továbbá riasztás esetén logikai eseménykapcsolatok megvalósítására, statisztikai jelentés elkészítése, adatok kimentésére, maszkdetektálásra és arcfelismerésre. Alkalmazásával elkerülhető az érintkezésalapú mérés, ezáltal nincs további fertőződési kockázat és védőeszköz- (maszk, kesztyű stb.) felhasználás, valamint minimálisra csökkenthető a mérés időtartama.



7. ábra: InfiRay AT3003F használatra kész testhőmérséklet-mérő hőkamera-állomás

Forrás: www.leitz-hungaria.hu/infi-ray-at3003f-hasznalatra-kesz-testhomerseklet-mero-hokamera-allomas-zett

A 7. ábrán látható az InfiRay gyártó AT3003F testhőmérséklet-mérő hőkamera-állomása, amely egy kis helyigényű érintésmentes rendszer, és akár 1–5 m távolságból is képes detektálni. Előnyei közé sorolható, hogy viszonylag szűk térben lévő tömegek esetében 0,5 sec reakcióidő alatt képes automatikusan jelezni a referenciaérték feletti hőmérsékleteket. Üzemeltetési hőmérséklete 0 és +60 °C között van, +33 és 42 °C között *blackbody* nélkül $\pm 0,5$ °C pontosságra, *blackbody*val pedig $\pm 0,3$ °C pontosságra képes. A mérés során célszerű egy, a belépést követő lassítókorlatot felállítani abban az esetben, ha a külső hőmérséklet szignifikánsan eltér a belső tér hőmérsékletétől. A pontos mérési adatok érdekében a *blackbody*t közvetlenül a megszűrni kívánt emberek fölé érdemes helyezni és a programot konfigurálni kell az aktuális környezeti viszonyokhoz.

A mesterséges intelligencia alapú hőmérsékletmérések zárt térben már kiválóan alkalmazhatók lázas megbetegedések detektálására. A technológia továbbfejlesztésével és a hőkamerák pilóta nélküli repülőgépeken történő elhelyezésével lehetőség nyílna kültéri rendezvényeken részt vevő tömegek testhőmérsékletének mérésére a levegőből,

ezáltal kiszűrve és megelőzve a csoportos megbetegedéseket. „A drónra¹⁵ úgy is tekinthetünk, mint egy mozgó térfigyelő kamerára, amely mobilitásából kiindulva hatékonyabban képes működni, mint egy álló kamera. Ha a drónt okos kamerával szereljük fel, számos lehetőség nyílnhat meg, amelyek az információáramlást felgyorsíthatják, ezáltal az intézkedési képességet javíthatják.”¹⁶ Az Egyesült Államokban jelenleg már tesztelés alatt állnak olyan drónok, amelyek képesek kiszűrni a koronavírusos betegeket.



8. ábra: A drón a kamerájával a lázas állapotot és a köhögést is azonosítani tudja

Forrás: Már tesztelik a drónt, ami az utcán is képes kiszűrni a koronavírus-betegeket. *PCFórum.hu*.

Amennyiben ezt a feladatrendszert megvizsgáljuk, láthatjuk, hogy az adott felhasználási környezetben sem egyszerű az érintett terület eljárásrendjébe, szabályozási metódusába hatékonyan beilleszteni ezt a repülőeszközt, valamint annak szabályozását. Mivel ezen új technológia számos lehetőséget nyit meg az átlagos hétköznapi felhasználáson túl katonai, ipari, mezőgazdasági és kereskedelmi területen, elsősorban a repülőszerkezetekre szerelt eszközök (mozgóképfelvevő kamera, fényképezőgép, hőszensor, infrakamera, GPS-jeladó, mozgásérzékelő, arcfelismerő, biometrikus szkennerek stb.) diverzifikált

¹⁵ Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System/Unmanned Aircraft. ICAO Circular 328. 1–38.

¹⁶ Nyitrai Endre: A drónok alkalmazásának lehetőségei a rendőrségi feladatok ellátása során. *Rendőrségi Tanulmányok*, (2020), 1. 103.

és kombinálható felhasználási módjai által, ezért a szabályozásuk kiterjesztése szükségszerű lehet a magánszféra- és adatvédelmi kérdések területére is.¹⁷

A 8. ábrán látható módon a drónra illesztett szenzor a detektálás során érzékeli a testhőmérsékletet, továbbá egy elemzőszoftver segítségével vizsgálni képes az egyén mozgását (tüsszögés, orrtörítés, fertőzés egyéb más jelei), légzésének szaporaságát és a biztonságos szociális távolság betartását is.

Gondolatok a drónok valós használatáról

A technológiai fejlődés révén mára számos olyan eszköz áll az emberiség alkalmazásában, amelyek nagy segítséget jelentenek az élet különböző területein. A személyzet által vezetett légi járművek mellett már nagy számban megjelentek az olyan repülőeszközök is, amelyek az ember fedélzeti jelenléte nélkül, autonóm módon képesek repülni.¹⁸ Az autonóm működésükhöz szükséges információkat a környezetükből gyűjtik, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat, és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat a háromdimenziós térben korrigálják.¹⁹ Ezen eszközök közé sorolhatók a pilóta nélküli légi járművek is, amelyeket a katonai felhasználáson túl napjainkban többek között állami (rendvédelmi, katasztrófavédelmi) és kereskedelmi (légi szállítási, mezőgazdasági, hobbi-) célokra is egyaránt alkalmaznak. A drónok (méretüktől és felszereltségüktől függően) legelterjedtebb alkalmazási formái az alábbiak:

- katonai feladatok végrehajtása közben felderítési és harci alkalmazások, amelyek során megkülönböztetünk támadó és védekező drónokat,
- rendvédelmi feladatok során megfigyelés, eltűnt személyek keresése-kutatása, őrzés-védelmi és határvédelmi feladatok ellátása (az Egyesült Államok a mexikói határvédelmi feladatok során drónokat alkalmaz az illegális határ menti mozgások felderítésére),
- árvízvédelem során jelentős segítséget nyújtanak légi felderítés útján, míg erdőtűzek esetében a kárelhárításban és a kárhelyszín felmérésében támogatják a szakemberek munkáját. Kiválóan alkalmasak továbbá légi sugárfelderítési és légi kutató-mentő feladatok ellátására,
- a külvilágtól elzárt települések számára légi segély célba juttatása (élelmiszer- és gyógyszerellátmányok),

¹⁷ Major Gábor: Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? *Repüléstudományi Közlemények*, 27. (2015), 1. 168–169.

¹⁸ Békési Bertold: 2. Pilóta nélküli légi járművek jellemzése, osztályozásuk. In Palik Mátyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013. 65–109.

¹⁹ Szegedi Péter – Békési Bertold: Az UAV-on alkalmazható szenzorok. In *XIV. Természeti-, műszaki és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia*. Szombathely, 2015. május 16., Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182.



9. ábra: A mezőgazdaságot is gyökeresen átalakítják a drónok

Forrás: Nagy Mariann: A mezőgazdaságot is gyökeresen átalakítják a drónok. *Piac & Profit*, 2018. július 18.

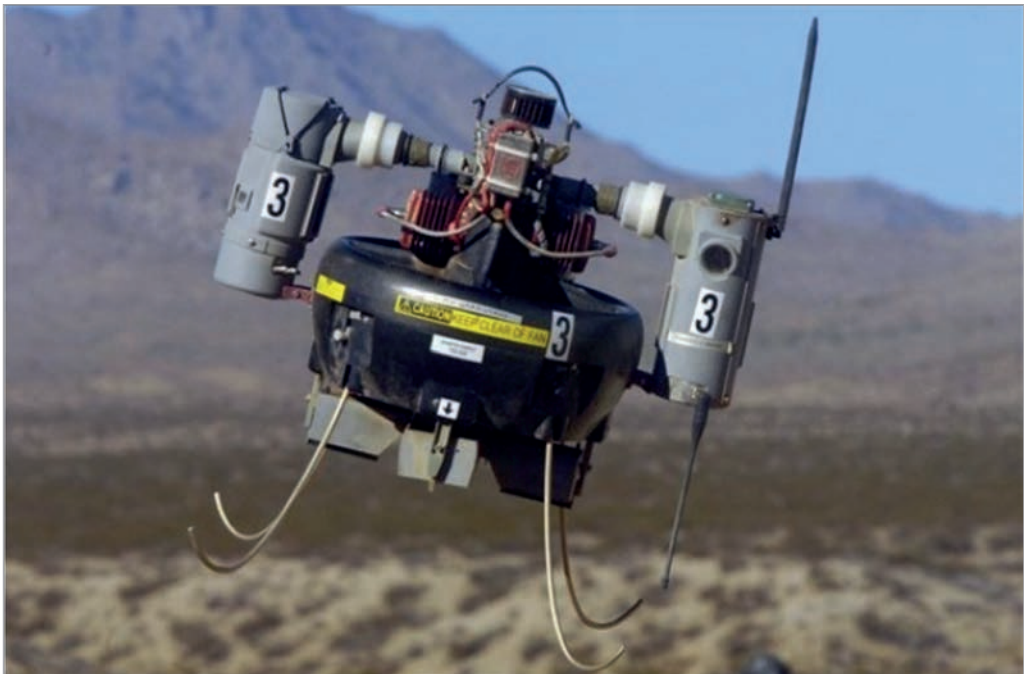
- mezőgazdaságban a nagy kiterjedésű földterületek felmérése, speciális szenzorok segítségével információgyűjtés a növények fejlődéséről, a talajvíz tartalmáról és a 9. ábrán láthatóan a termények permetezése. Kínában a drónokat fertőtlenítőszeres permetezésére is bevetették a Covid-19-járvány terjedésének megakadályozása érdekében;
- kőolaj-, gáz- és elektromos vezetékek ellenőrzése, vizsgálata és felügyelete;
- kereskedelmi tevékenységek során kisebb csomagok szállítása, filmkészítés, fotózás és egyre elterjedtebb a hobbicélokra történő alkalmazása.
- A drónok alkalmazhatósági területét nagymértékben befolyásolja az eszköz mérete, repülési tulajdonságai és felszereltsége. A méretei alapján megkülönböztetünk nagyon kicsi, azaz UAV Micro vagy Nano drónokat, amelyeket elsősorban katonai, rendvédelmi és nemzetbiztonsági feladatok ellátására, kémkedésre és információgyűjtésre alkalmaznak. A szintén nagyon kicsi kategóriába tartozó Mini UAV-kategóriát koncertfelvételek, filmfelvételek készítésére, alapszintű terepi felmérésre és rendfenntartásra használják. A következő méretbeli kategória a kis UAV-k csoportja, amelyeknél az egyik tengely mérete minimum 50 cm, de nem haladja meg a 2 m-t. Ezen drónok legtöbb esetben állványról vagy kézből indíthatók, és képesek komolyabb távérzékelési eszközök hordozására. A közepes UAV-k kategóriájába tartoznak az 5–10 m szárnyfeszításvolságú (merev szárny esetén) és 100–200 kg tömegű eszközök. Alkalmazási területük igen széles spektrumú, egyaránt képesek katonai és polgári feladatok ellátására is, mint a felderítés, csapásmérés, logisztikai tevékenységek, távérzékelés és meteorológiai mérések. Végül, de nem utolsósorban a nagy UAV-k csoportjába minden olyan drón besorolható, amely az előzők-

ből kimaradt. Elsősorban katonai alkalmazásban használják őket, legismertebbek a Predator A, B és a Global Hawk típusok. Az 1. táblázatban látható az US Army szerinti UAV-osztályozás.

1. táblázat: A US Army szerinti UAV-osztályozás

	Class I UAV	Class II UAV	Class III UAV	Class IV UAV
Szint	szakasz	század	zászlóalj	dandár
Tömeg	2–5 kg	50–75 kg	150–250 kg	>1500 kg
Repülési idő	50 perc	2 óra	6 óra	24 óra
Hatósugár	8 km	16 km	40 km	75 km

Forrás: Palik Mátyás: Pilóta nélküli légijármű-rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben. PhD-értékezés, Budapest, 2007. 20.



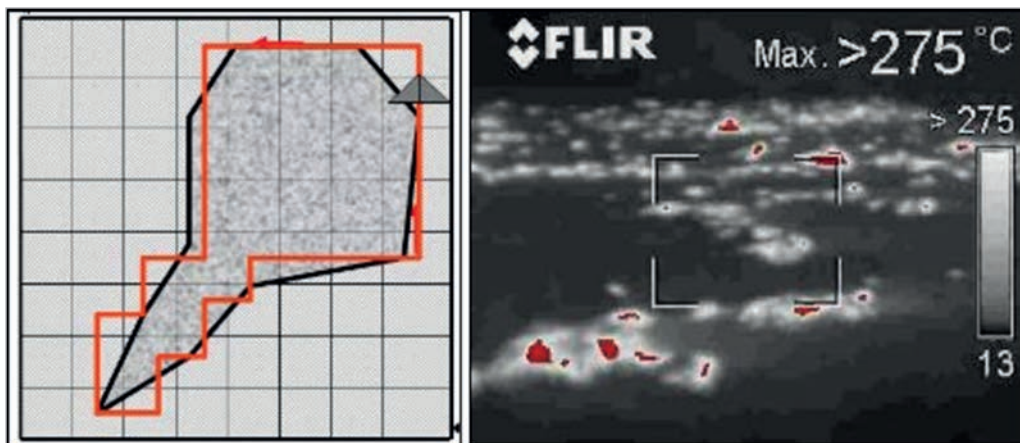
10. ábra: A T-Hawk UAV belép a Fukusima-veszélyzónába

Forrás: T-Hawk UAV enters Fukushima danger zone, returns with video. (2011)

„Csoportosítási szempont lehet a felépítés (merev szárnyas, forgószárnyas, hibrid) a meghajtás típusa (dugattyús, gázturbinás, elektromos) az irányítás (távírányítású, program

vezérelt, kombinált) vagy az indítás és visszatérés módja, vagy éppen a rendeltetés.”²⁰ A drónokra telepített szenzorok és különböző kamerák segítségével emberi életet is megmenthetünk, gondoljunk csak a *légi sugárfelderítési feladatra*, amely során nem pilóták által vezetett légi járművel történik a sugárfelmérés, hanem drónokra felszerelt detektorok segítségével. Jó példa erre a 2011. március 11-én bekövetkezett fukusimai atomerőmű balesete, amely során a Tokyo Electric Power által alkalmazott, 10. ábrán látható T-Hawk típusú sugárfelderítő drón a szenzorai segítségével lényeges információkat közvetített a védekezésben részt vevő szakemberek számára.

„A tűzoltási feladatok ellátásának egyik legjelentősebb szegmense, hogy a beavatkozási és döntéshozói parancsnoki állomány rendelkezzen megfelelő információkkal a kialakult káreseménnyel kapcsolatban (tűz kiterjedése, vonulási iránya, esetlegesen veszélyeztetett emberi élet vagy infrastrukturális javak). Ezeket az információkat megkaphatjuk egy kamerával felszerelt pilóta nélküli repülő eszköztől is.”²¹ A 11. ábrán látható a tűz utáni UAV repülésének tervezése és forró pontok hőkamerával történő felfedezése. A drónok alkalmazása ezekben a feladatokban jelentős időmegtakarítást eredményez, hiszen a kárhelyszín parancsnoka valós idejű információkat kap, amelyek alapján a védekezéshez és elhárításhoz szükséges döntések megalapozásában kap segítséget. Fontos tényező továbbá, hogy a tüzeseteket követő területek átvizsgálása és a megbújó paraszak felkutatása sokkal hatékonyabb és gyorsabb egy hőkamerával felszerelt drón segítségével, mint a végrehajtó személyi állomány közreműködésével.



11. ábra: A tűz utáni UAV repüléstervezése és a forró pontok hőkamerával történő felfedése

Forrás: Restás Ágoston: A tűz utáni UAV repülés tervezése és a forró pontok hőkamerával történő felfedése. In Palik Máttyás: *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 262.

²⁰ Németh András: UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során II. *Hadmérnök*, 13. (2018), 3. 76.

²¹ Kiss Béla: Pilóta nélküli repülőgépek alkalmazhatósága katasztrófavédelmi feladatok ellátása során. *Szolgálati Tudományos Közlemények*, 16. (2012), november, klsz. 521.

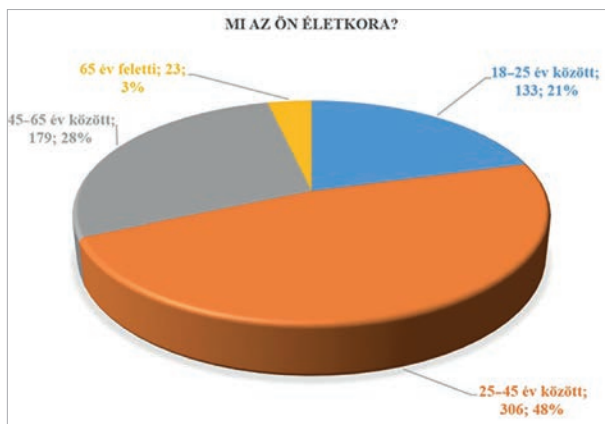
A rendvédelmi feladatok ellátásában szintén nagy segítséget jelentenek a drónok. Ezek közül kiemelnénk a határvédelmi alkalmazásukat, amely során fontos információforrásként szolgálhatnak az illegális határátlépő migráns csoportok felkutatásában és lekövetésében. Egy határvédelmi drónközpont kialakítása lehetőséget nyújtana a személyi állomány egy részének a kiváltására folyamatos drónjárőrözés bevezetésével. További segítséget jelent a bűnmegelőzési munkában a veszélyeztetett területek felett járőröző drón, amely tevékenységgel csökkenthető az elkövetések kockázata, míg a bekövetkezett bűncselekmények esetében a felderítésben nyújtanak hathatós támogatást (terrorcselekmény elkövetésének felderítése). Zéró emisszió és minimális zajkibocsátás mellett a drónok alkalmasak titkos információgyűjtő tevékenységek elvégzésére és célobjektumok lekövetésére egyaránt. „A drónokra szerelhető kiegészítők is jelentős mértékben segíthetik nemcsak a rendvédelmi, hanem más állami szervek tevékenységét is. A digitalizáció, az 5G technológia és a mesterséges intelligencia a jövőben új kapukat fognak megnyitni, és jelentősen meg fogják változtatni nemcsak e szervek munkáját, hanem az emberek mindennapi életét is.”²² Számos kutatás folyik napjainkban a drónok Covid-19 elleni védekezésben történő alkalmazásával kapcsolatban. Óriási segítséget jelentene, ha olyan drónrajok járőrözhetnének a közterületeken, amelyek képesek lennének a megfelelő felszereltségük révén detektálni és kiszűrni a magas testhőmérséklettel rendelkező egyéneket, egyben érdemes megvizsgálni a Covid-19-teszteredmények gyors és biztonságos drónok általi szállításának lehetőségét is.

A koronavírus megjelenése és terjedése kapcsán a 2020. év olyan eljárások és módszerek kidolgozását és bevezetését követelte meg a Föld lakosságától, amire az elmúlt évtizedekben meglehetősen kevés példa volt. A publikációban leírtunk több módszert a fertőzés elkerülésére, visszaszorítására, valamint bemutattunk a vírussal összefüggő, egy adott indikátor detektálásának lehetőségét. Megmutattuk, hogy a megemelkedett testhőmérsékletet milyen kézi és milyen automata mérőeszközökkel lehetséges felismerni, majd ezt továbbfejlesztve milyen autonóm rendszereket lehet létrehozni, működtetni.

Ezen kérdéskörrel kapcsolatos ismeretek és a témához fűződő emberi érzések felkutatására készítettünk egy kérdőívet, amelyben cáfolatot vagy egyes esetekben megerősítést kaptunk a módszerek helyességét és biztonságos használatát illetően. A reprezentatív adatfelvétel során a vizsgálatához kvantitatív kutatási módszert használtunk.

A mintavételben részt vevő populáció (641 fő) azonos valószínűséggel történő kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy mind életkorban, mind pedig iskolai végzettségben a lehető legszélesebb körben tudjunk valóságos válaszokat kapni az egyéneket érintő kérdésekről. Az imént említett alapelvek mellett az értékelés során számunkra meglepő volt az előre nem tervezett nemek arányának alakulása (nő/férfi: 55%/45%), ami azt mutatja, hogy a kérdéskör nemtől független, mindenkit egyformán érint és érdekel, és a két nemet tekintve szinte megegyező részvételi aktivitást eredményezett. Ennek megfelelően a válaszadók legnagyobb része, a 48%-a 25–45 év közötti populációból ered, de 18–25 éves kor között is 21%, míg a másik véglet, a 65 év felettiek is 4%-os részvételi aránnyal vettek részt a felmérésben, ahogyan ez a szóródás a 12. ábrán megfigyelhető.

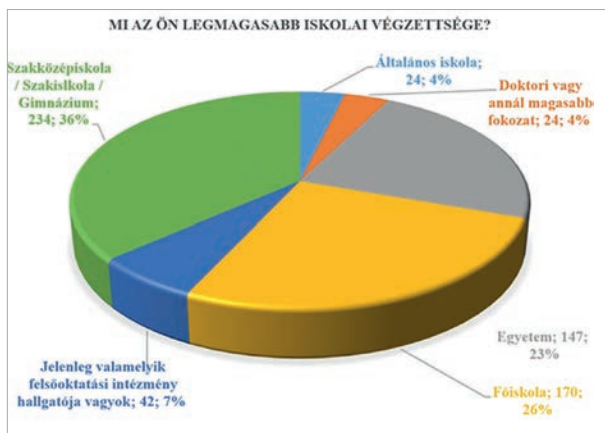
²² Nyitrai (2020) i. m. 95.



12. ábra: A kérdőívben megkérdezettek életkori eloszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az iskolai végzettségek eloszlását a 13. ábrán mutatjuk be, ahol jól látható, hogy a legnagyobb létszámot a szakközépiskola, szakiskola, gimnázium (azaz középfokú végzettség) adta, összesen 36%-ot. Itt is egyenletes eloszlásról beszélhetünk, ugyanis a két szélsőértéket formáló besorolás (általános iskola, valamint a doktori vagy annál magasabb végzettség) is 4–4%-os értéket produkált.

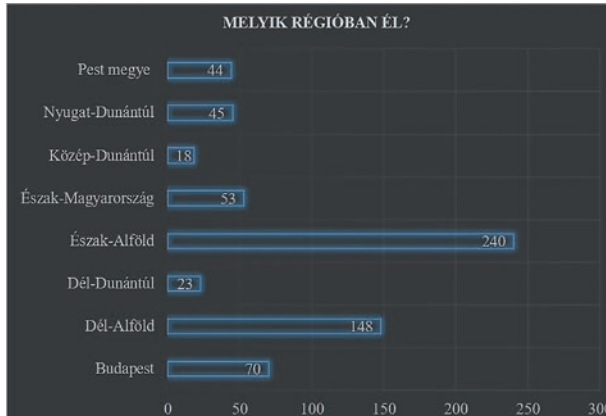


13. ábra: Iskolai végzettségek aránya a kérdőívben megkérdezettek között

Forrás: a szerzők

Amennyiben a kérdőívet kitöltők földrajzi elhelyezkedését figyeljük meg a 14. ábrán, akkor láthatjuk, hogy az ország minden területéről képviseltették magukat. Ez betudható az internetes kérdőívkitöltés lehetőségének, így bátrabban és nagyobb bizonyossággal megszólítható mindenki a lakhelyétől függetlenül. Igaz, az észak-alföldi kimagasló részvétel nagy valószínűséggel a személyes ismeretségnek és akár a mindennapi kapcsolatnak

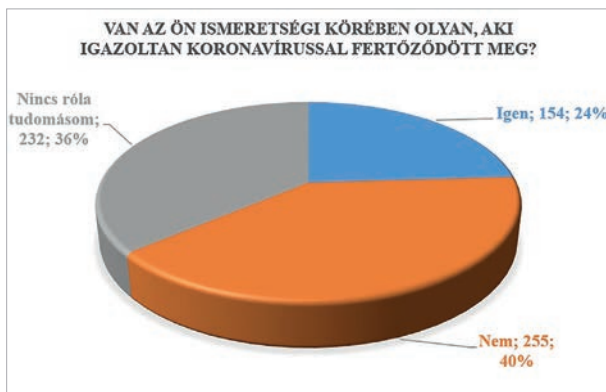
is betudható eredmény, ami nem befolyásolja feltétlenül a kérdésekre adott válaszok értékét, a témakörben szerzett ismereteket és hozzáállásokat.



14. ábra: Az országon belüli földrajzi elhelyezkedés a kérdőívben megkérdezettek között

Forrás: a szerzők szerkesztése

A következő kérdésfeltevéssel azt szeretnénk volna megtudni, hogy ebben a vírusos helyzetben mennyire figyelünk a környezetünkre, a környezetünkben előforduló megbetegedésekre. A válaszok alapján kijelenthető, ami a 15. ábrán látható (ami abszolút pillanatfüggő megoszlást mutat, ugyanis 2020 novemberében már gyakorlatilag mindenki tud közeli környezetében érintetről), hogy a fertőzésükkel tisztában lévők nem titkolják a megbetegedésüket a környezetük előtt, ám a másik két válasz teljes bizonyossággal történő kiértékelése további kérdéseket indokolna.

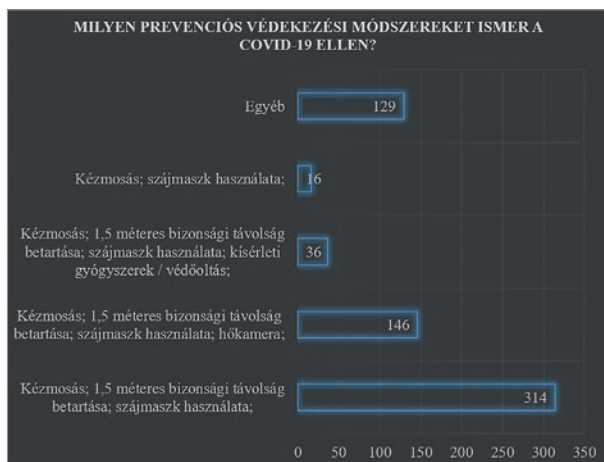


15. ábra: A fertőzöttekről tudomást szerzők

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 16. ábrán látható védekezési módszerekkel kapcsolatban megfogalmazott kérdés a leginkább kézenfekvő, és a válaszok azt az eloszlást produkálták, amely az elmúlt hónapok hosszas és kitartó kommunikációjának köszönhető, amely mindenhová eljutott, ahol

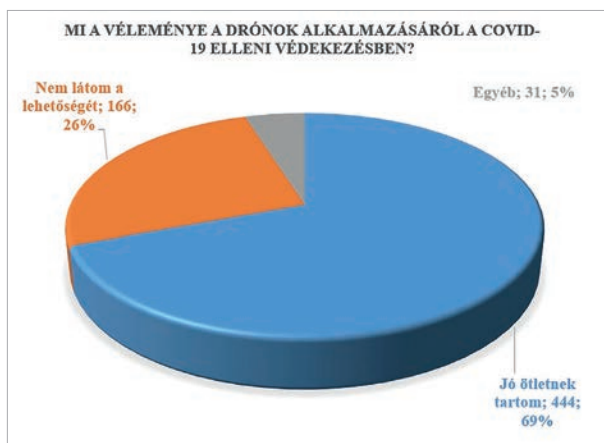
televízió és rádió van. A „bűvös hármas” (kézmosás, biztonsági távolság, szájmaszk) tudati szinten mindenkinél jelen van, ám annak valódi használata és betartása nem képezte részét a kérdőívnek. Érdekes továbbá, hogy a gyógyszerek és a védőoltás milyen kis számban fordul elő a válaszok között, aminek oka ugyancsak a kommunikációra vezethető vissza, ugyanúgy, mint a hőkamera (testhőmérséklet-mérés) ismerete is.



16. ábra: A prevenció lehetőségei

Forrás: a szerzők szerkesztése

A következő kérdéskör már a tanulmány lényegi kérdéseire irányítja a figyelmet, miszerint milyen módon, milyen körülmények között lehetne előnyösen felhasználni a pilóta nélküli légi járműveket ebben a pandémiás helyzetben.

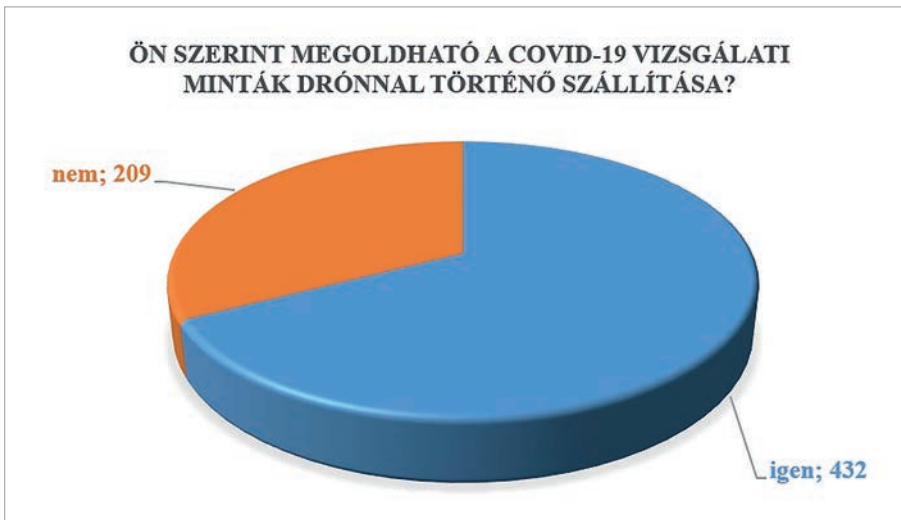


17. ábra: A drónok alkalmazása a Covid-19 elleni védekezésben

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 17. ábrából kiderül, hogy a megkérdezett lakosság elsőprő hányada (69%) jó ötletnek tartja, ha ezeket a légi eszközöket hasznosítanánk a hatékonyság növelésére és a fertőzés időszakának mielőbbi lezárására. A szkeptikus 26%-nak valószínűsíthetően magával a drónnal mint eszközzel lehetett negatív élménye, ezért véli úgy, hogy erre sem jók ezek a „játékok”. A tartózkodó 5% pedig véleményünk szerint nem tud sem pozitív, sem pedig negatív élményt, de még egy híradást sem társítani a drón kifejezéshez, ezért nem foglalt állást ebben a kérdésben.

Az előző kérdésre adott válaszokat a 18. ábra maximálisan alátámasztja, miszerint a drónokkal történő szállítás „csupán” azok szerint képzelhető el és hajtható végre, akik magának a légi eszköznek a használatát is jó ötletnek tartották, ám ez sem kevés a maga 67%-ával. Itt további érdekesség, hogy a válaszadók 2%-a, akik az előző kérdésben pártolták ennek az eszköznek a használatát, milyen ellenérveket fogalmaznának meg, ami szerint nem opció a légi szállítás.



18. ábra: A vizsgálati anyag drónokkal történő szállítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A drónok jelenléte egy-egy szabadtéri rendezvényen a mai napig megosztó szituáció. Azt, hogy ki mitől fél, jelentősen befolyásolja, hogy mennyire tájékozott ebben a kérdésben, és mennyire befolyásolható a média által. Ezt támasztja alá a 19. ábrán látott grafikon is, miszerint nem a pilóta nélküli eszközzel végzett feladat végrehajthatósága a probléma oka, hanem már az, ami néhány kérdéssel korábban felmerült, miszerint nem tartja jó ötletnek a légi jármű használatát.



19. ábra: Hőkamerás drón a rendezvények biztosításában

Forrás: a szerzők szerkesztése

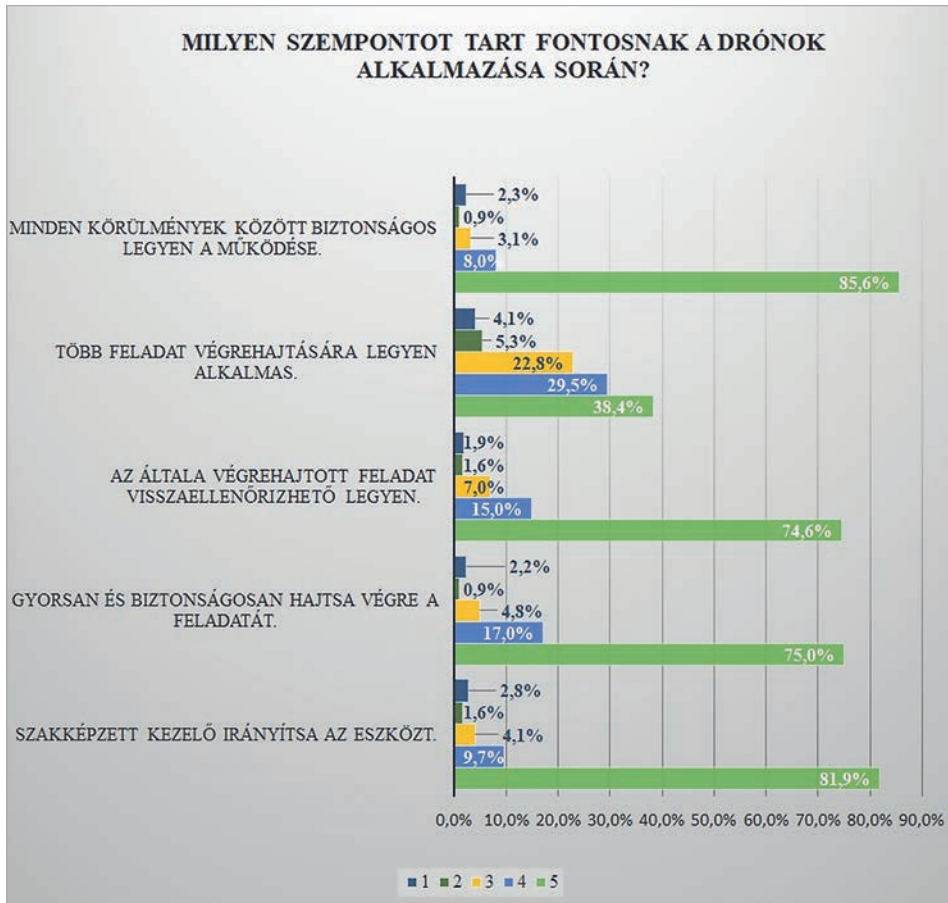
Az utolsó kérdés során a válaszadók meghatározhatták azokat az elveket, amelyek véleményük szerint minden pilóta nélküli légi eszköz használata során fontosak és elengedhetetlenek. Hasznos válaszok születtek, ugyanis azok is adtak választ a feltett kérdésre, és osztályozták, fontossági sorrendbe állították a lehetőségeket, akik amúgy nem tartják jó ötletnek, sőt ellenérzést táplálnak az eszköz vagy annak használata iránt. Így született meg a 20. ábrán látható diagram, amely sok érdekes és fontos következtetésnek, ezzel sok, a jövőt meghatározó tézisnek nyújt segítséget.

Magasan az egyik legmeghatározóbb a drón biztonságát firtató válasz, amely szerint „minden körülmények között biztonságos legyen a működése”. Ez lehet a táptalaja a szkeptikus tábor véleményének, miszerint nem tartják biztonságosan üzemelő eszközöknek a drónokat. A miértre ebben a kérdőívben nincs válasz, ám jelen esetben szintén a kommunikációt érezzük meghatározó jelentőségűnek még akkor is, ha maga az eszköz működése a biztonság követelményeit teljesíti, ám való igaz, hogy ott van mögötte az ember. A *homo sapiens* etikus, felkészült, szabálykövető viselkedése egy nehezebben befolyásolható, szabályozható tényező. Ehhez széles körű összefogás szükséges a tervezők, felhasználók és jogalkotók közreműködésével.

A másik sarkalatos kérdéskör a szakképzett kezelő irányítása, amely alapvető igény mindenki részéről, hiszen autót sem vezetünk megfelelő képzés és gyakorlat hiányában. Annak a keretét kell pontosan meghatározni, hogy ki képezhessen, taníthasson ehhez szükséges tananyagot, mert ennek egységes keretek között történő művelése is jelentősen befolyásolja a biztonság témakörét.

A következő meghatározó elemek a gyors, biztonságos és ellenőrizhető feladat-végrehajtásról szólnak. Ezen szempontok között talán leginkább elgondolkodtató az ellenőrizhetőség kérdése, ami valószínűleg a félelemmel függ össze. A válaszadók nagy része úgy gondolja, hogy információ- és adatvédelmi szempontból nagyon fontos az, hogy ellenőrizhető legyen az útvonal, a repülési paraméterek, a szállított csomag összetétele vagy akár a végrehajtott feladat típusa is. Ez jelentős technikai fejlesztéseket, valamint

nem kevés szabályalkotást és jogharmonizációt igényel ahhoz, hogy egyszer minden ember nyugodtan figyelhesse az égen felette átrepülő drónokat, elfogadva azt, hogy ez is az életünk szükséges része.



20. ábra: A drón alkalmazására vonatkozó meghatározó fontosságú elvek

Forrás: a szerzők szerkesztése

A kutatás megállapításait az alábbiakban lehet összefoglalni:

Az emberek tisztában vannak az egyéni védekezés lehetőségével és formáival, ám az alap-, mindenáron betartandó előírásokon kívül alacsony azok száma, akik szélesebb körben tájékozottak az előremutató, hatékony megoldásokat tekintve.

A második hipotézis teljes mértékű megerősítéséhez vagy cáfolatához, miszerint „mindenki teljes mértékben ismeri a közvetlen környezetét, tisztában van a fertőzés tényével az ismerősök között”, újabb kérdésekre lett volna/lenne szükség, ugyanis jelenleg annyit lehet megállapítani, hogy a fertőzött egyének nem titkolják a megbetegedésüket a környezetük előtt (tisztában voltunk azzal a kérdőív összeállításakor, hogy a személyes – különösen érzékeny – egészségügyi adatok védelme az elsődleges. Azt senkitől

nem lehet megkövetelni, hogy publikussá tegye, többek között ezért készült anonim módon a kérdőív).

A lakosság jelentős része ismeri, jó ötletnek tartja a pilóta nélküli légi jármű mint a védekezésbe bevethető technikai eszköz lehetőségét.

A drónok robbanásszerű elterjedése ellenére még mindig ellenérzés és bizonyos szituációkban félelem mutatkozik az emberekben, ami megfelelő kommunikációval, magas szintű felhasználóképzéssel, szakszerű, körültekintő üzemeltetéssel jelentős mértékben csökkenthető lenne, és akár az eszköz szélesebb körű használata mellé állíthatná a szkeptikusokat, mint ahogyan például a fényképezőgép lakossági körben történő elterjedését követően lezajlott.

Ha már nincs más lehetőség, és az UAV-ket szükséges használni egy adott védekezési feladatban a Covid ellen, akkor a biztonság, a szakképzett kezelő általi irányítás, a gyorsaság és az ellenőrizhetőség a legfontosabb szempontok. Ezek teljesítésével a válaszadók megnyugodhatnak, és a jövőben (talán) képesek elfogadni ezen pilóta nélküli légi járművek hasznos és hatékony közreműködését a mindennapjainkban.

Konklúzió

A technika terén elért jelentős fejlődés eredményének köszönhetően a drónok mint speciális repülő eszközök megjelenése, elterjedése jelentősen átalakítja az egészségügyi védekezés és megelőzés szabályait, de talán ezzel párhuzamosan a rohamosan fejlődő „technikai organizmusok” fejlesztése is újabb szegmensekkel, újabb szenzorokkal, újabb eljárásokkal és az általuk megoldható feladatokkal bővül.

Ha csupán a pilóta nélküli légi jármű elnevezést és a hozzá társított gondolati képeket idézzük fel, akkor is tisztán látható, hogy a fejlődés „rohamos”. Amennyiben a felhasználási területeket is megpróbáljuk tételesen felsorolni, akkor is helytállónak mutatkozna a „rohamos” jelző a fejlődést, a modernizációt és az innovációt tekintve.²³

Mindemellett a pilóta nélküli légijármű-rendszerek robbanásszerű fejlődésének köszönhetően a működésük egyre inkább az „önálló döntések, az autonóm módon történő gondolkodás” irányába tolódik el, nemcsak a repülési pályájuk megválasztása, de mindennapi alkalmazásuk terén is. A válaszok helyett egy újabb kérdést szükséges megfogalmazni, mégpedig azt, hogy meddig kaphatnak a robotok autonómiát, milyen feltételei vannak azok használatának. Erre jelenleg (és véleményünk szerint az elkövetkező néhány évben) egzakt feleletet adni lehetetlen, sőt felelőtlenség is lenne. Az biztos, hogy az ember ki fog használni minden előnyt, kényelmi szolgáltatást, információs látókörbővülést, amit a robotizált berendezések az egyén számára lehetővé tesznek. Ilyen lehet például, ha a feladat végrehajtása során – autonómiát biztosítva az UAV részére – egy operátor, egyidejűleg több légi eszköz manővereit koordinálja, mivel a „felnőtté vált, önálló” eszközünk „nem igényli” a folyamatos felügyeletet.²⁴

²³ Major Gábor: Etikus-e a drónok használata? *Honvédségi Szemle*, 144. (2016), 2. 102.

²⁴ Major Gábor: Does an autonomous drone return home at all time? *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 2. 282.

Az előző fejezetben taglalt kérdéseket körüljárva próbáltunk a meglévő, hatékony védekezési módszerek mellett egy olyan előremutató eszközt ajánlani, ami a fertőzés feltérképezésében jelentős szabadságot biztosít a rendkívüli hatékonyságával karöltve. Merjük ezt azért is tenni, mert a megkérdezettek jelentős része jó ötletnek tartja a drónokra telepített hatékony testhőmérséklet-mérést. A pilóta nélküli légi eszköz továbbfejlesztett változata a későbbiekben képes lehet mesterséges intelligenciával, arcfelismerési lehetőséggel programozva azonnali jelzéssel élni a fertőzött egyén felé, hogy mind saját maga, mind pedig a környezete érdekében hagyja el az adott területet, és ellenőriztesse fizikai, egészségügyi állapotát.

Igaz, mindez az integrált képesség újra etikai, adat- és információvédelmi kérdéseket vet föl, de azért kutatunk, hogy ezekre is megoldást találjunk a jövőben.

Felhasznált irodalom

- Békési Bertold: 2. Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk. In Palik Máttyás (szerk.): *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közszerológati Egyetem, 2013. 65–109.
- Breitbart, Mya – Forest Rohwer: Here a virus, there a virus, everywhere the same virus? *Trends in Microbiology*, 13. (2005), (6). 278–284. Online: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2005.04.003>
- Canchaya, Carlos – Ghislain Fournous – Sandra Chibani-Chennoufi – Marie-Lise Dillmann – Harald Brüssow: Phage as agents of lateral gene transfer. *Current Opinion in Microbiology*, (2003), 6. 417–424. Online: [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(03\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(03)00086-9)
- Dahua mesterséges intelligenciával ellátott hőkamerás testhőmérséklet-mérő rendszer. Online: <https://dahuatechnology.hu/dahua-testhomerseklet-mero/>
- Haraszti Ferenc: Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 11. (2019), 77–80. Online: <https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.15>
- InfiRay AT3003F Használatra Kész testhőmérséklet mérő hőkamera állomás – szett. Online: www.leitz-hungaria.hu/infray-at3003f-hasznalatra-kesz-testhomerseklet-mero-hokamera-allomas-szett
- Isakova-Sivak, Irina – Larisa Rudenko: A promising inactivated whole-virion SARS-CoV-2 vaccine. *The Lancet. Infectious Diseases*, 20. (2020). Online: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30832-X)
- Járványügyi és szociális intézkedések. *Infogygyzet*, 2020/34. Online: www.parlament.hu/documents/10181/4464848/Infogygyzet_2020_34_V4%2B_jarvanyugyi_es_szocialis_intezkedesek.pdf/0cf23cd6-cd8d-9c46-7a7e-3c0a5d3d7197?t=1589184001441
- Karanténok és pestisjárványok a középkorban (4. rész). Online: https://btk.mta.hu/hirek/1420-karantenok-es-pestisjarvanyok-a-kozepkorban-a-jarvanytorteneti-sorozat-4-resze?fbclid=IwAR-0jZHmGc9qzQDcm_RfdtEelu-sAuQtBchpswD9PFEA4Sp0E48Fvie2Ijo
- Kiderült, mikor kéri majd a magyarok a védőoltást. *Portfolio*, 2020. Online: www.portfolio.hu/gazdasag/20201006/koronavirus-kiderult-mikor-kerik-majd-a-magyarok-a-vedooltast-451712
- Kiss Béla: Pilóta nélküli repülőgépek alkalmazhatósága katasztrófavédelmi feladatok ellátása során. *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 16. (2012), november, klsz. Online: <https://docplayer.hu/2342455-Pilota-nelkuli-legi-jarmuvek-alkalmazhatosaga-ka-tasztrorafedelmi-feladatok-ellatas-a-soran-2.html>

- Koonin, Eugene V. – Tatiana G. Senkevich – Valerian V. Dolja: The ancient Virus World and evolution of cells. *Biology Direct*, 1. (2006), 29. Online: <https://doi.org/10.1186/1745-6150-1-29>
- Li, Heng – Shang-Ming Liu – Xiao-Hua Yu – Shi-Lin Tang – Chao-Ke Tang: Coronavirus disease 2019 (COVID-19): current status and future perspectives. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55. (2020), 5. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105951>
- Major Gábor: Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? *Repüléstudományi Közlemények*, 27. (2015), 1. 167–176.
- Major Gábor: Etikus-e a drónok használata? *Honvédségi Szemle*, 144. (2016), 2. 100–106.
- Major Gábor: Does an autonomous drone return home at all time? *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 2. 275–284.
- Makara Gábor: Új koronavírus – új tudományos eredmények – módosuló ajánlások. 2020. Online: https://mta.hu/tudomany_hirei/uj-koronavirus-uj-tudomanyos-eredmenyek-modosulo-ajanlasok-110668
- Már tesztelik a drónt, ami az utcán is képes kiszűrni a koronavírus-betegeket. *PCFórum.hu*. Online: <https://pcforum.hu/hirek/22272/mar-tesztelik-a-dront-ami-az-utcan-is-kepes-kiszurni-a-koronavirus-betegeket>
- Nagy Mariann: A mezőgazdaságot is gyökeresen átalakítják a drónok. *Piac & Profit*, 2018. július 18. Online: <https://piacesprofit.hu/infokom/a-mezogazdasagot-is-gyokeresen-atalakitjak-a-dronok/>
- Nem hanta a vírus. *Magyar Idők*, 2018. február 3. Online: www.magyaridok.hu/lugas/nem-hanta-virus-2726722/
- Németh András: UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során II. *Hadmérnök*, 13. (2018), 3. 68–86. Online: http://real.mtak.hu/87038/1/183_06_nemeth.pdf
- Nyitrai Endre: A drónok alkalmazásának lehetőségei a rendőrségi feladatok ellátása során. *Rendőrségi Tanulmányok*, (2020), 1. Online: www.bm-tt.hu/rtt/assets/letolt/rt/202001/Nyitrai.pdf
- Palik Mátyás: *Pilóta nélküli légijármű-rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben*. PhD-értekezés, Budapest, 2007.
- Resál Tamás – Rutka Mariann – Szántó Kata – Farkas Klaudia – Molnár Tamás: A gyulladásoos bélbetegségek kezelése a SARS-COV-2-járvány idején – gyakorlati javaslatok. *Orvosi Hetilap*, 161. (2020), 25. 1022–1027. Online: <https://doi.org/10.1556/650.2020.31871>
- Restás Ágoston: A tűz utáni UAV repülés tervezése és a forró pontok hőkamerával történő felfedése. In Palik Mátyás: *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013. 262. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/UAV_handbook_Secon_edition.pdf
- Szegedi Péter – Békési Bertold: Az UAV-on alkalmazható szenzorok. In *XIV. Természet-, műszaki és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia*. Szombathely, 2015. május 16., Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
- T-Hawk UAV enters Fukushima danger zone, returns with video. (2011) Online: www.engadget.com/2011-04-21-t-hawk-uav-enters-fukushima-danger-zone-returns-with-video.html
- Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System/Unmanned Aircraft. ICAO Circular 328. 1–38. Online: www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf

Repülőgép-hajtóművek hatásfokai és hatásuk a szén-dioxid-kibocsátásra

Absztrakt

Az elmúlt 30 évben jelentősen nőtt a polgári repülés környezeti hatásaival kapcsolatos tudatosság és politikai aggodalom. Ezt az sem írja felül, hogy napjainkban a nemzetközi légi közlekedési iparág is – mint a gazdaság minden területe – erősen sújtott a Covid-19-vírus hatásaival, ami háttérbe szoríthatja időlegesen a korábbi kihívásokat. Mindannyian láthattunk a képeket a légi közlekedés látványos visszaeséséről, de az élet, várhatóan, egy-két éven belül visszatér a régi kerékvágásba, és bár elképzelhető, hogy a válság megrázza az iparágat, a légi közlekedést érintő súlyos kérdések továbbra is érvényben maradnak. Ezek egyike a klímaváltozást figyelembe véve a szén-dioxid-kibocsátás emelkedő értéke, amelyet lefékezni, figyelembe véve a légi közlekedés növekedési ütemét, nem lesz egyszerű. Ebben a cikkben egyrészt elméleti háttér-információkkal alátámasztva bemutatjuk, mi a helyzet manapság a gázturbinás hajtóművek hatásfokainak terén, milyen lehetséges alternatívák léteznek, illetve ezekkel kapcsolatban milyen nehézségekkel néznek szembe manapság a repülőgéphajtómű-gyártók.

Bevezetés

A szénhidrogének tökéletes és tiszta égést feltételező kémiai reakciójából szén-dioxid és vízgőz keletkezik. Természetesen ez történik a gázturbinás hajtóművek égőtereiben is a kerozin égésekor. Az égés azonban nem tökéletes, így más égéstermékek (szennyező anyagok) is keletkeznek, többek között nitrogén-oxidok, kén-dioxid, szén-monoxid, korom, el nem égett üzemanyag-részecskék, aromás vegyületek, hogy csak a legfontosabbakat emeljük ki. Ezen szennyező anyagok kibocsátása csökkenthető az égési folyamat optimalizálásával, tökéletesítve az üzemanyag-fűvókákat és az égőtereket. Ezek a károsanyagok felelősek a talajközeli légszennyezésért, és keletkezésük alapvetően a gurulás, a fel- és leszállás, valamint az emelkedés és megközelítés repülési fázisokhoz köthetők. Mivel ezek közvetlenül érintették a repülőterek környezetét és ennek megfelelően az ott élő lakosságot és természeti környezetet, így ez került elsőként a figyelem középpontjába, és lett a szabályozások tárgya is. Ennek megfelelően az ICAO¹ már az 1960-as évektől egyre szigorúbb szabályozással törekszik ezeknek a szennyező anyagoknak a csökkentésére.²

¹ ICAO (International Civil Aviation Organization): az ENSZ szakosított intézménye, amely a nemzetközi polgári légi közlekedéssel foglalkozik.

² Varga Béla – Tóth József: A széndioxid, mint a legfőbb „ellenség”, avagy mi az ICAO által létrehozott „CORSIA” szerepe ebben a harcban. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 3. 243–252.

A magaslégköri környezetszennyezés nem annyira nyilvánvaló és azonnali hatású, de hosszabb távon következménye súlyosabb lehet, figyelembe véve a globális felmelegedés, a klímaváltozás és az ózonréteg károsodásának már ma is jelen lévő jelenségeit. A sztöchiometrikus égésnél keletkező vízre mondhatnánk, hogy ez ártalmatlan, hiszen a természetben előforduló, életünk szerves részét képező anyag. Magaslégköri kibocsátásának hatása azonban még ma sem tisztázott, és a környezet- és klímavédelmi szakértők számára egyre aggasztóbb a nagy mennyiségű vízgőz sztratoszférába kerülése. A fő „ellenség” ebből a szempontból azonban a szén-dioxid, hiszen minden tonna elégetett repülőgép-tüzelőanyag körülbelül 3,1 t szén-dioxid felszabadulásával jár együtt.³

Az emberi tevékenység miatti szén-dioxid-kibocsátás az Európai Bizottság és a Holland Környezetvédelmi Ügynökség által 2015-ben kiadott EDGAR-adatbázis⁴ alapján 36061,71 millió t. Egyéb, még potensebb üvegházhatású gázok – például a metán – nem szerepelnek ezekben az adatokban. Az éghajlatváltozással foglalkozó kormányközi munkacsoport (IPCC⁵) legfrissebb adatai szerint a légi közlekedés (belföldi és nemzetközi) az emberi tevékenység által termelt globális szén-dioxid-kibocsátás körülbelül 2%-át teszi ki (814 millió t), amelyből a nemzetközi légi közlekedés a kibocsátás közelítőleg 1,3%-áért felelős.⁶ Vannak ennél pesszimistább vélemények is, amely szerint a légi közlekedés növekedésének hatására az elmúlt évtizedekben (1960–2018) a CO₂-kibocsátás 6,8 millió t-ról 1034 millió t-ra nőtt.⁷ A károsanyag-kibocsátás növekedési üteme főként úgy csökkenthető, ha kevesebb tüzelőanyagot égetünk el ugyanazon járatot tekintve, amely elsősorban a hajtóművek hatásfokának javításával érhető el, de idetartozik az aerodinamikailag jobb szárny- és törzskialakítás, a tömegcsökkentés és a hatékonyabb légi forgalom szervezés is. A gondokkal együtt is, az utóbbi évtizedekben nagyon jelentős technológiai fejlődés történt a légi közlekedési ágazatban. A ma gyártott légi járművek utaskilométerenkénti tüzelőanyag-fogyasztása mintegy 80%-kal csökkent az 1960-as évekkel összehasonlítva. Ebben az eredményben hatalmas, de nem egyedülálló szerepe van a hajtóművek fejlődésének. Az elkövetkezendő évtizedekben a légi járművek tüzelőanyag-hatékonysága mintegy 1-2%-kal javulhat, miközben a légi közlekedési iparág várható 5%-os éves növekedése nagymértékben meghaladja ezt. A két tendencia tükröződik az ICAO Tanácsának légi közlekedési környezetvédelmi bizottsága (ICAO Council's Committee on Aviation Environmental Protection [CAEP]) környezeti trendértékelésében, amely szerint a nemzetközi légi közlekedés tüzelőanyag-felhasználása a 2010-es szinthez képest 2040-re körülbelül 2,8–3,9-szeresre nő. Sokféle becslés megjelent már e témában, és valamennyiben egyetértés van abban, hogy a helyzet több mint aggasztó.

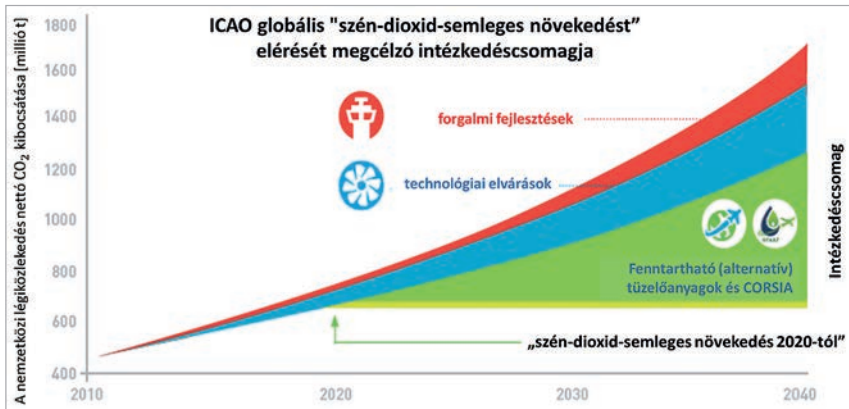
³ Varga-Tóth (2017) i. m.

⁴ EDGAR database created by European Commission and Netherlands Environmental Assessment Agency.

⁵ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

⁶ *Why ICAO decided to develop a global MBM scheme for international aviation?* Online: www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSA_FAQ1.aspx

⁷ *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018.* Online: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689?via%3Dihub



1. ábra: Az ICAO intézkedéscsomagja a nemzetközi repülés fenntarthatóvá tételére

Forrás: www.icao.int/environmental-protection/Pages/default.aspx

Ennek következtében 2013 októberében az ICAO Közgyűlés 38. ülészsaka elfogadta az A38-18. sz. határozatot, amely szerint az ICAO és tagállamai – az érintett szervezetekkel együttműködve – törekednek arra, hogy elérjék a nemzetközi légi közlekedés globális nettó szén-dioxid-kibocsátás 2020-as szinten történő befagyaszttását (az úgynevezett „szén-dioxid-semleges növekedést 2020-tól”, vagy az eredeti angol kifejezéssel „Carbon Neutral Growth from 2020”)⁸. Lásd 1. ábra.

A Közgyűlés rögzítette az ICAO globális törekvéseinek elérését célzó intézkedéscsomagot:

- a technológiai elvárásokat mind hajtómű, mind a sárkányszerkezeti szempontból (Aircraft Technology);
- a forgalmi fejlesztéseket úgy a földi műveletek, mint a légi forgalmi irányítás szempontjából (Operational Improvements);
- valamint a fenntartható alternatív üzemanyagok alkalmazását (Sustainable Aviation Fuels);
- Piaci Alapú Intézkedéseket (Market Based Measures [MBM]).

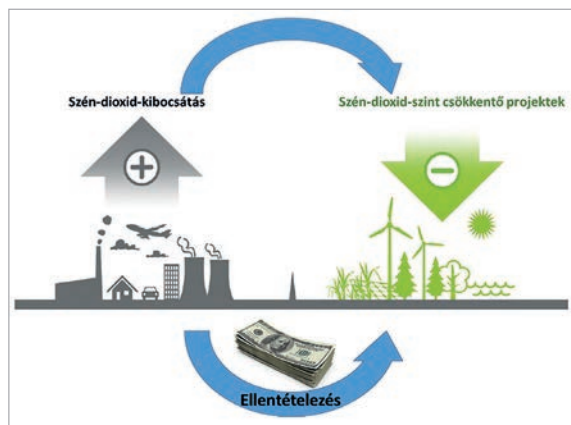
Bár nem témája a jelen publikációnak, de mindenképpen rövid magyarázatra szorul, hogy mit jelentenek az úgynevezett piaci alapú intézkedések. Ez a projekt az ICAO által a CORSIA elnevezést kapta (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation), amelynek talán a „Nemzetközi Légi Közlekedés Szén(-dioxid) Ellentételezési és Csökkentési Tervezete” kifejezés felel meg. A CORSIA csak a nemzetközi légi forgalomra, és ezen belül is csak a merevszárnyú repülésre vonatkozik, illetve a 9000 kg felszálló tömeg feletti repülőgépekre.

A projekt elindításának oka, hogy a szakemberek feltételezése szerint a nem MBM-intézkedésekkel (1-3 a felsorolásban) elért összesített környezeti előny sem lesz elegendő ahhoz, hogy a nemzetközi légi közlekedési ágazat 2020 után (értendő itt a pandémia utáni

⁸ Why ICAO decided to develop a global MBM scheme for international aviation?

időszakot) tartani tudja a szén-dioxid-semleges növekedést a forgalom intenzív növekedése miatt. A globális MBM-rendszer a megmaradt rés ellentételezésével, szén-dioxid-kibocsátás csökkentő vagy éppen a már kibocsátott szén-dioxidot elnyelő projektek finanszírozásával teszi lehetővé a nettó kibocsátás szinten tartását, aminek esszenciája a 2. ábrán látható.

Mit jelent az ellentételezés? Az érintett repülőgép-üzemeltető (légitársaság) a többlet szén-dioxid kibocsátását kompenzálja a szén-dioxid-piacon (Carbon Market) úgynevezett karbonkrediteket vásárolva. A karbonkreditek teremtik meg a pénzügyi alapját a világ különböző pontjain létrehozott szén-dioxid-kibocsátás csökkentő projekteknek, amivel a Nemzetközi Repülési Iparág nettó szén-dioxid-kibocsátása „remélhetőleg” szinten tartható.



2. ábra: A piaci alapú intézkedések (Market Based Measures, MBM) lényege

Forrás: www.firstclimate.com/

Az ICAO igyekezett egy egységes globális szén-dioxid ellentételezési rendszert kidolgozni, és ezzel elkerülni az úgynevezett „patchwork” (foltozgatásos) megoldásokat, ami alatt a nemzeti vagy regionális rendszerben működő szén-dioxid-adókat, vagy más ellentételezéseket értik. Ez utóbbiak nem képeznének egységes sztenderdet, ennek megfelelően bonyolultabb és költségesebb lenne megvalósításuk, ugyanakkor például adók esetében ezek a pénzek nem feltétlenül jelennének meg a ténylegesen szén-dioxid-kibocsátás csökkentő projektekben. Az egységes intézkedés nemcsak egyszerűbbé teszi a rendszert, hanem csökkenti a piaci torzulás kockázatát is, mivel minden légitársasággal szemben egységes követelményeket támaszt. A CORSIA önmagában nem vezet a repülés fenntartható jövőjéhez, sőt az ICAO ezt átmeneti, szükségmegoldásnak tekinti mindaddig, amíg az intézkedéscsomag első három pontjával is célt lehet elérni. Az elképzelések szerint kb. 2050-től a CORSIA nélkül is nemhogy szinten tarthatónak, de csökkenőnek kell lennie a szén-dioxid-kibocsátásnak.⁹ Ebben a legnagyobb szerepet a fenntartható alternatív tüzelőanyagoknak szánják.¹⁰ Erre az időszakra, minden bizonnyal, azok előál-

⁹ Why ICAO decided to develop a global MBM scheme for international aviation?

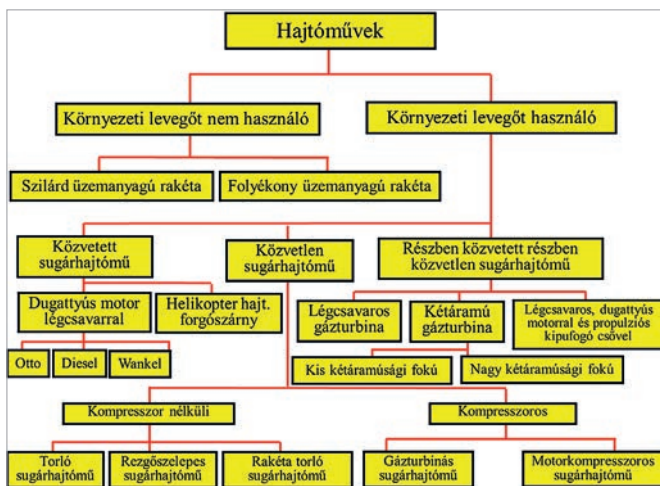
¹⁰ Fehér Krisztina: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazása a repülésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28. (2018), 2. 43–56.

lítási költsége versenyképes lesz a fosszilis tüzelőanyagokéval. A legfontosabb pozitív tulajdonságuk ezeknek az alternatív tüzelőanyagoknak, hogy az életciklusuknak egy része nem szén-dioxid-termelő, hanem éppen ellenkezőleg, szén-dioxid-abszorbeáló. Maga a gyártási folyamat is környezetkímélő technológiával történhet, megújuló energiaforrások felhasználásával.¹¹

Ahogy az előzőekben is láhattuk, a program egyik oszlopa a repülőszerkezetek technológiai fejlesztése, beleértve a hajtóművek hatásfokának javítását, ami továbbra is a CO₂-kibocsátás csökkentésének egyik leghatékonyabb eszköze. De hogyan állunk jelenleg, és milyen lehetőségek vannak ezen a téren?

A repülőgép-hajtóművek osztályozása

Mielőtt rátérnénk a hatásfokok tárgyalására, definiáljuk, mi a repülőgép-hajtómű. Repülőgép-hajtómű alatt egy erőgép (közte esetlegesen egy közlőmű az erőgép fordulatszámának csökkentése érdekében) és egy munkagép egy egységben történő alkalmazását értjük, amelynek feladata a repülőgép mozgatásához szükséges vonóerő vagy tolóerő létrehozása. A repülőgép-hajtóművek egy lehetséges csoportosítása a 3. ábrán látható.



3. ábra: Repülőgép-hajtóművek osztályozása

Forrás: a szerző szerkesztése

Az erőgép manapság még legtöbb esetben hőerőgépet jelent, amely a jól ismert klaszikus körfolyamatok valamelyikét, Ottó, Diesel, Brayton,¹² valósítja meg. A munkagép

¹¹ Krisztina Fehér: Biomass as Raw Material of Aircraft Fuels. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 3. 123–138.

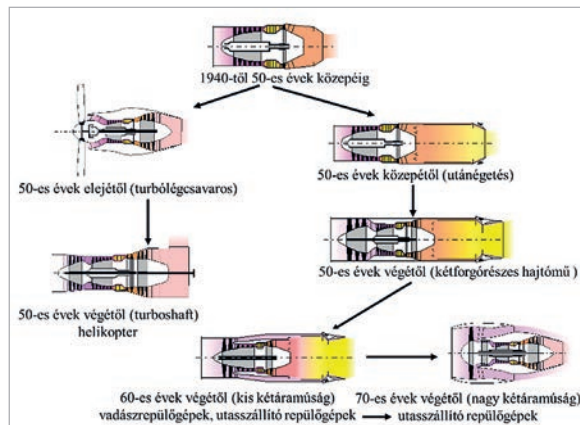
¹² A Brayton-körfolyamat egy termodinamikai körfolyamat, amely nevét George Brayton (1830–1892) amerikai mérnök után kapta.

a hajtómű azon szerkezeti egysége, amely a toló(vonó)erő közvetlen létrehozását biztosítja. Ez praktikusán a propulziós rendszereknél azt jelenti, hogy valamilyen közeget a rendszer felgyorsít, a felgyorsításhoz szükséges erő reakcióereje, Newton III. törvénye alapján, a toló(vonó)erő.

Ezen szempontok szerint a légi járművek környező levegőt az égéshez felhasználó hajtóművei három kategóriába sorolhatók:

- közvetett sugárhajtóművek: a felgyorsított közeg ebben a környező levegő;
- közvetlen sugárhajtóművek: a felgyorsított közeg a hőerőgép munkaközege;
- részben közvetett, részben közvetlen sugárhajtóművek: a felgyorsított közeg részben a környező levegő, részben a hőerőgép munkaközege.

Láthatóan mind a három fenti csoportban megjelentek a gázturbinás hajtóművek, amelyek az ötvenes évektől – a kisgépes repüléstől eltekintve – egyeduralmukodókká váltak, mint repülőgép propulziós rendszerek. Az első gyakorlatban alkalmazott gázturbinás hajtóművek esetében a tolóerő létrehozásának eszköze a hajtómű utolsó részegysége, az úgynevezett fúvócső volt. Ezzel meg is született a gázturbinás hajtóművek első kategóriája, nevezetesen az egyáramú gázturbinás sugárhajtómű. Hamarosan azonban megindult a további specializálódásuk, és három újabb, jól elkülöníthető kategória jelent meg. Ezek a turbólégcsavaros hajtóművek (légcsavaros gázturbina), a kétáramú sugárhajtóművek és a tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinás hajtóművek. Az említett eszközök angol terminológia szerinti elnevezése rendkívül rövid és tömör, nevezetesen az előbbi sorrend szerint turbojet, turboprop, turbofan és turboshaft hajtóművek. A 4. ábrán, fentről jobbra lefelé három, bár némileg módosított, de egyáramú gázturbinás sugárhajtóművet látunk (turbojet). Az alsó kettő kétáramú gázturbinás sugárhajtómű (turbofan), amelyek között a különbséget a kétáramúsági fokuk¹³ jelenti. A bal oldali kis kétáramúsági fokú gázturbinás hajtóművek manapság a harcászati repülőgépek, illetve kiképző-, könnyű harcászati repülőgépek jellemző hajtóművei.



4. ábra: Gázturbinás hajtóművek evolúciós folyamata

Forrás: a szerző szerkesztése

¹³ Kétáramúsági fok: kétáramú sugárhajtóművek esetében a külső és belső tömegáramok viszonya.

A jobb oldali nagy kétáramúsági fokú hajtóműveket az utasszállító repülőgépeknél alkalmazzák. Mindazonáltal az ábra egyfajta evolúciós folyamatot is jelent, amelynek során az utasszállító repülőgépek eljutottak az egyáramú sugárhajtóművektől a nagy kétáramúsági fokú (6–12) hajtóművekig, jelentősen előre lépve ezzel fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásuk¹⁴ csökkentésében (hatásfokuk növelésében). A bal oldalon felső turbólégcsavaros gázturbinás hajtóművek (turboprop) a katonai szállító-repülőgépek és a kis hatótávolságú, jellemzően kis és közepes méretű polgári utasszállító repülőgépek hajtóművei. Ez alatt egy tengelyteljesítményt adó gázturбина „(turbó)tengelyes” következik. A magyar szaknyelvben ennek a hajtómű-kategóriának a megnevezésénél van a legnagyobb bizonytalanság. Talán ma nincs is erre a magyar terminológiában olyan jellemző megnevezés, mint az angol „turbo shaft engine”, vagy az orosz „турбовальный двигатель”. A „(turbó)tengelyes gázturбина” elnevezés lehet vitatható, bár az előző „turbólégcsavaros hajtómű”, „turboprop engine” és „турбовинтовой двигатель” elnevezések analógiájára elfogadható lehet.

A repülőgép-hajtóművek hatásfokai

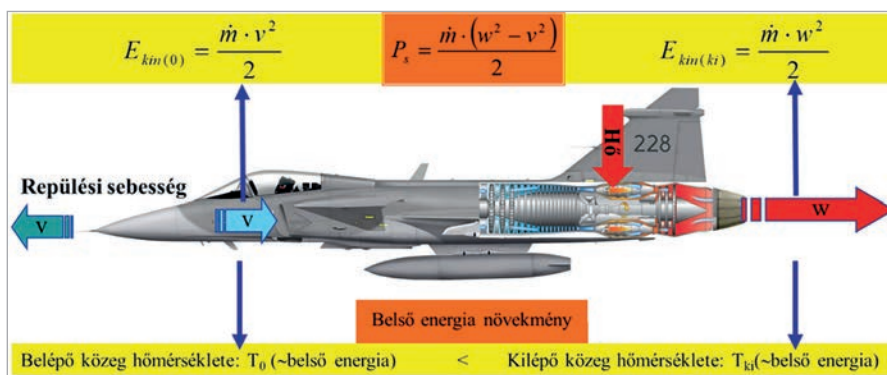
Figyelembe véve, hogy minden propulziós rendszer két alrendszerre bontható, kétféle hatásfokot kell meghatároznunk. Nevezetesen a hőerőgép részéről a termikus hatásfokot, a munkagép (közeg felgyorsítása) részéről pedig a propulziós hatásfokot. A hajtómű összh hatásfoka ennek a két hatásfoknak a szorzata lesz. Összegzésében ez azt fejezi ki, hogy a tüzelőanyag kémiai energiáján keresztül bevitt hőt milyen arányban tudjuk a repülőszerkezet mozgatására fordítani. Az a hő, ami nem hasznosul, természetesen a környezetet fogja „fűteni”, ami részben „kidobott” pénz, hiszen kifizettük azt a tüzelőanyagot is, részben pedig feleslegesen kibocsátott szén-dioxid.

Termikus hatásfok

A termodinamika II. főtétele szerint nem tudunk létrehozni olyan ciklikusan működő gépet, amely a hőt teljes mértékben munkává tudná alakítani. Ez azt jelenti, hogy a bevitt hő (a tüzelőanyag elégetéséből származó hőenergia) egy része a környezetbe távozik, ennek megfelelően még az úgynevezett ideális körfolyamatok sem adnak 100%-os hatásfokot. Gázturбина (Brayton-) körfolyamat esetében a kompresszor nyomásviszonyával határozható meg a körfolyamat ideális termikus hatásfoka, amely tájékoztató értéként például egy 25-ös nyomásviszony esetében 60%. Ehhez jönnek még a gépegységvesztések, amivel megkapjuk a gázturбина valós termikus hatásfokát, vagyis a munkává átalakuló hő százalékos arányát.

¹⁴ Tolóerő vagy teljesítményegységre eső tüzelőanyag-fogyasztás, jellemzi a hajtómű tüzelőanyag-hatékonyságát, egyenértékű a hatásfokkal [kg/Nh, kg/kWh].

A gyártók általában az adott gázturbinás hajtóműtípus számos jellemző adatát megadják, de legkevésbé a termikus hatásfokát. Ezt többféleképpen is meghatározhatjuk, például a kör-folyamat-számítás során a fent említett, megadott adatok alapján (tolóerő, tüzelőanyag-fogyasztás, nyomásviszony, turbina előtti gázhőmérséklet, tömegáram). Ezeket az adatokat a gyártó általában felszálló üzemmódra adja meg, illetve a NEL¹⁵ $H = 0$ m magasságra. Ennél létezik egyszerűbb módszer, amely az energiamegmaradás törvényét felhasználva vizsgálja a hajtóműbe belépő és a hajtóműből kilépő közeg energiáját, valamint a rendszer (hajtómű) és környezete közötti kölcsönhatást. Ebben az esetben a kölcsönhatást a rendszerbe a tüzelőanyag elégetésével bevitt hő jelenti, 5. ábra.



5. ábra: Gázturbinás hajtómű energia mérlege

Forrás: Varga Béla: Elektronikus Tansegédlet

Ez a hő a közegnek mind a kinetikai energiáját, mind a belső energiáját növeli a belépő keresztmetszetbeli állapothoz képest. Ebből számunkra a közeg kinetikai energiájának a növekedése a hasznos, ami közvetlenül adja a hőerőgép fajlagos hasznos munkáját, amelyet a tömegárammal szorozva kapjuk a hajtómű úgynevezett sugárteljesítményét. Vizsgáljuk meg az 5. ábra alapján, hogy kapunk ebből egy közelítő termikus hatásfokot, ami legalábbis első információt jelenthet, hogy ebben a hajtómű-kategóriában (kis kétáramúsági fokú hajtómű) milyen hatásfokértékekkel számolhatunk, és ezt hogyan kell értelmezni!

A vizsgálatunk tárgyát képező hajtómű publikusan is elérhető alapadatai a következők NEL, $H = 0$ m, $v = 0$ km/h feltételek mellett:

- maximális tolóerő utánégetés nélkül (F): 54 kN;
- tömegáram ($\dot{m}$): 68 kg/s;
- tüzelőanyag-fogyasztás ($\dot{m}_{tüza}$): 1,27 kg/s;
- tüzelőanyag fűtőértéke ($Fü$): 42,845 MJ/kg.

¹⁵ NEL: Nemzetközi Egyezményes Légkör a légkör állapotjelzőinek sztenderd változása a magasság függvényében. Közepes tengerszintre ($H = 0$ m) vonatkozó légköri nyomás 101 325 Pa, hőmérséklet: 288 K, sűrűség: 1,225 kg/m³.

$$F = \dot{m}(w - v) = \dot{m}w \rightarrow w = \frac{F}{\dot{m}} = \frac{54000N}{68kg/s} = 794 \text{ m/s} \quad (1)$$

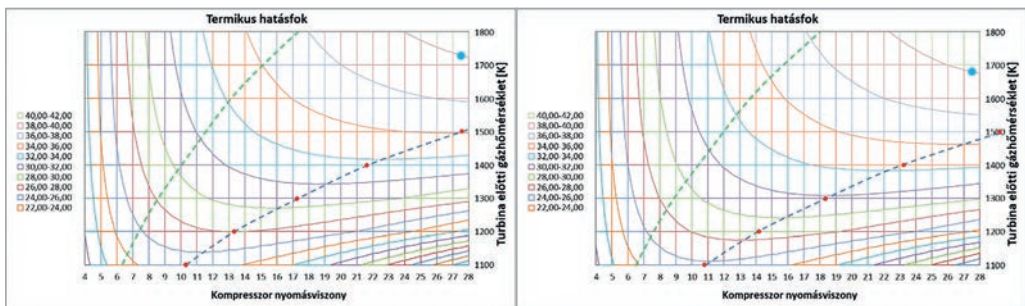
$$P_s = \frac{\dot{m}(w^2 - v^2)}{2} = \frac{68 \cdot 794^2}{2} = 21,43 \text{ MW} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_b = F \cdot \dot{m}_{\text{tüza}} = 54,41 \text{ MW} \quad (3)$$

A tolóerőből (F) visszaszámítva a közeg fúvócsőből kiáramlási sebessége (w) 794 m/s, ebből a sugárteljesítmény (P_s) 21,43 MW. A bevitt hőáram a tüzelőanyag-fogyasztásból és a tüzelőanyag fűtőértékéből ($\dot{Q}_b$) 54,41 MW. A kettő hányadosa megadja a 39,5%-os termikus hatásfokot. Ez reálisnak tekinthető, figyelembe véve a vizsgált hajtómű 1721 K-es turbina előtti gázhőmérsékletét, és a hozzátartozó 27,5-es kompresszor nyomásviszonyt.

Ezt igazolta a szerzők egyikének korábban fejlesztett termikus matematikai modellje¹⁶ is, amely a következő hatásfokadatokkal:

- ➔ kompresszor politrópus hatásfok: 0,845;
- ➔ expanzió hatásfoka: 0,88;
- ➔ égőtér hatásfoka: 0,97;
- ➔ összegzett nyomásveszteségi tényező: 0,94;
- ➔ mechanikai hatásfok (beleértve a segédberendezések meghajtását is): 0,97 adta a korábban meghatározott 40% körüli termikus hatásfokértéket.



6. ábra: Termikus hatásfokgörbék a turbina előtti gázhőmérséklet kompresszor nyomásviszony diagramban
Forrás: Varga (2013) i. m.

Ezt szemlélteti a 6. ábra bal oldali diagram jobb felső kék pontja. Az is látszik, hogy ez a hatásfok csak az adott üzemmódra érvényes. Alacsonyabb üzemmódokon (csökkenő turbina előtti gázhőmérséklet és kompresszor nyomásviszony) még változatlan gépegység-hatásfokok esetében is rohamosan csökken a termikus hatásfok értéke. Az egyik legfontosabb hátrányuk a gázturbináknak az, hogy éppen a részüzemmódokon intenzíven esik a termikus hatásfokuk.

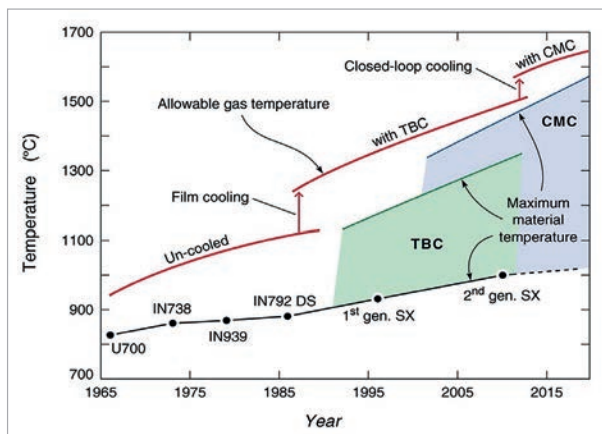
¹⁶ Varga Béla: *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*. PhD-értekezés, Budapest, 2013. Online: <http://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/9584/Varga%20B%20c3%a9la%20c3%a9rt-kezc3%a9s?sequence=1&isAllowed=y>. 47–81.

Megjegyzendő még, hogy a jobb oldali piros pontokkal is jelölt szaggatott vonal jelzi az adott turbina előtti gázhőmérséklet esetén azt a nyomásviszonyt, ahol legmagasabb a termikus hatásfok, míg a bal oldali szaggatott vonal a legmagasabb fajlagos hasznos munkához tartozó nyomásviszonyértékeket. Ennek megfelelően biztosak lehetünk benne, hogy a hajtómű munkapontja többnyire a két szaggatott vonal közé esik. Ezek a görbék magasabb gépegység-hatásfokok esetében jobbra, a hatásfokgörbék pedig lefelé tolódnak. A 6. ábra jobb oldali diagramja ezt szemlélteti, ahol 1%-os kompresszor politrópikus hatásfokjavulás feltételezhető. Jól láthatóak a változások. A ~40%-os hatásfokhoz 50 K-nel alacsonyabb turbina előtti gázhőmérséklet is elegendő, vagy azonos hőmérsékleten és nyomásviszonynál durván 0,5%-os termikus hatásfoknövekedés tapasztalható.

A fentiek alapján levonható következtetésként, hogy a gázturbinás hajtóművek termikus hatásfoka függ a körfolyamat hőmérséklet-határaitól (nevezetesen turbina előtti hőmérséklet mint legmagasabb és a környezeti hőmérséklet mint a legalacsonyabb hőmérséklet), a kompresszor nyomásviszonyától és a gépegység-hatásfokoktól. Ez utóbbiak meg, mint később látni fogjuk, függenek a gépegységek (hajtóművek) méretétől.

Turbina előtti gázhőmérséklet hatása a termikus hatásfokra

A felső hőmérséklet-határt az úgynevezett turbina előtti gázhőmérséklet képezi, amelynek maximális értékét általában megadják a hajtóműleírásokban. Ennek értéke folyamatosan és jelentősen növekedett az elmúlt évtizedekben, jellemzően az anyagtechnológiai és gyártástechnológiai és hűtési eljárások fejlődésével, 7. ábra. A turbina előtti hőmérséklet az 50-es évek 1000 K körüli értékéről manapság megközelíti a 2000 K-t. A fejlesztések első lépésként a szerkezeti anyagok korszerűsítése jöhetett szóba. Az alsó fekete görbe, illetve a pontok melletti jelzések (U700, IN738, IN939, IN792 DS) jelzik az alkalmazott nikkelt alapú ötvözeteket.



7. ábra: Turbina előtti gázhőmérséklet változása az elmúlt 50 évben (High temperature coatings)

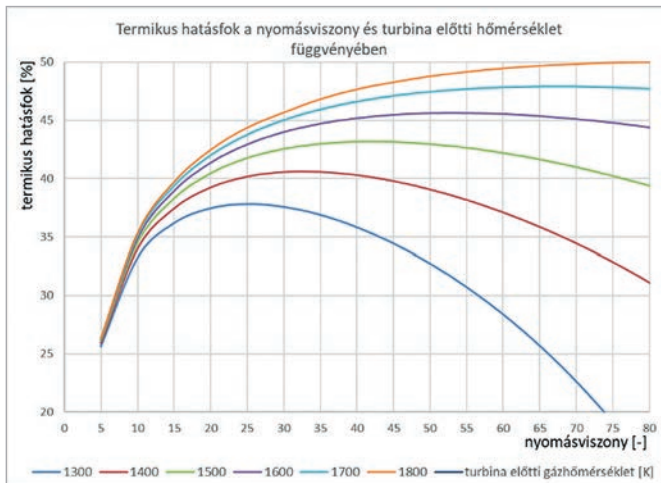
Forrás: www2.virginia.edu/ms/research/wadley/high-temp.html

Következő lépésként, az öntési technológiák fejlődésével megjelentek az egy irányba rendeződött kristályszerkezetű lapátok, majd az egykristálylapátok (1st generation, 2nd generation SX). A szemcsehatároktól teljesen mentes, egyetlen kristályból álló egykristály-turbinalapátokat az irányított kristályosítás tovább fejlesztéseként hozták létre az 1970-es évektől kezdődően. Az öntés hasonlít az irányított kristályosításnál alkalmazott módszerhez, a hűtött rézlapon oszlopos kristályok kezdenek nőni, de ez az alsó, indító tartomány felül egy spirál alakú, „malacfarok”-nak nevezett öntőcsatornába torkollik, amely a több növekvő szemcséből kiválaszt egyetlen egyet. Ez a malacfarokból kijutva belenő a lapát tövébe, és a forma megfelelően vezérelt süllyesztésével tovább növekedve felépíti az egész bonyolult turbinalapátot egyetlen kristályból. Az egykristálylapátok tulajdonságai tovább javíthatók hővédő bevonattal (Thermal Barrier Coating [TBC]). Az eljárás lényege, hogy azok felületét kb. 0,2 mm, hőszigetelő kerámiaréteggel vonják be, ami 100–300 K hőmérséklet-különbséget képes fenntartani a forró gáz és a lapát anyaga között. Ennek a fejlődési folyamatnak köszönhetően napjainkban a turbina előtti maximális gázhőmérséklet 1800 K-es értéke már átlagosnak számít.

A szerzők egyike (Varga Béla) által elkészített termikus matematikai modellen lefuttatva a következő gépegységveszteségek mellett:

- politrópikus kompresszor hatásfok: 0,91;
- expanzió politrópikus hatásfoka: 0,93;
- égőtér hatásfoka: 0,99;
- összezett nyomásveszteségi tényező: 0,94;
- mechanikai hatásfok: 0,97

a 8. ábrának megfelelő hatásfokgörbéket kaptunk a kompresszor nyomásviszony és a turbina előtti gázhőmérséklet függvényében.



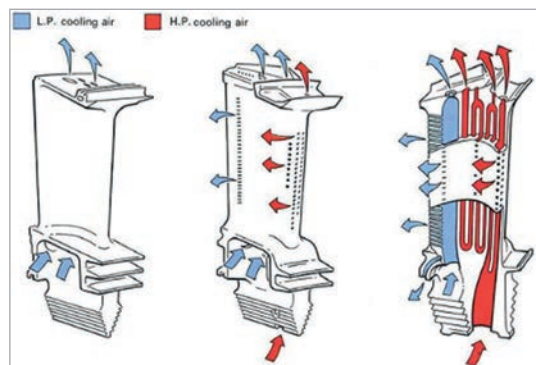
8. ábra: A turbina előtti gázhőmérséklet és a nyomásviszony hatása a termikus hatásfokra

Forrás: Varga (2013) i. m.

Az egykristály szerkezeti megoldást nemcsak a turbinalapátoknál alkalmazzák, hanem az eljárás továbbfejlesztéseként megvalósíthatóvá vált, hogy a tárcsa a lapátozással együtt, egyetlen fémkristályból álljon, amelyet speciális háromdimenziós forgácsolási eljárással alakítanak ki. Az így kialakított turbinák esetében a maximális turbina előtti hőmérséklet meghaladhatja a 2200 K-t (F119-es hajtómű, az F-22 Raptorba, illetve az F135-ös hajtómű az F-35 Lightning II-be építve)¹⁷. Megjegyzendő, hogy a gázturbinás hajtóművek esetében 2,5-3,5-szer annyi levegőt termel a kompresszor, mint a sztöchiometrikus égéshez¹⁸ szükséges éppen a gázáram visszahűtése miatt. A 2200 K-es hőmérsékletnél már alig van szükség visszahűtésre, és ennek megfelelően többlet levegőre, ami a gázturbina méretét (tömegét) is csökkenti.

Mindez párhuzamos volt a turbinatárcsák és -lapátok egyre kifinomultabb hűtési rendszereivel, amivel a turbina előtti hőmérséklet tovább növekedhetett, 9. ábra. A hűtő levegő elvétele a kompresszor különböző fokozataitól történik. Megjegyzendő, hogy a turbinalapátok hűtése elengedhetetlen, de negatív mellékhatással is jár, nevezetesen a kompresszortól elvett hűtőlevegő gyakorlatilag felemészteti a turbina előtti gázhőmérséklet növeléséből származó hatásfok-növekedés egy részét. Ennek tárgyalására még később visszatérünk.

Szinte minden gázturbinás hajtómű esetében a kompresszorból több-kevesebb levegő elvételre kerül. Ez lehet átmeneti (például kompresszor pompázs elkerülése miatt) vagy folyamatos (a hajtómű vagy a repülőszerkezet egyéb rendszereinek kiszolgálására). Ugyanakkor a kompresszortól elvezetett levegő visszakerülhet a gázáramba (turbina-hűtés), vagy végleg elvezetésre kerül (helikopter-hajtóművek porkiválasztó rendszereihez vezetett ejektáló levegő, kondicionáló rendszer, berendezések hűtése). Ugyanakkor nagyon fontos, mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok szempontjából, hogy a kompresszor mely részéből, illetve milyen mennyiségű levegő kerül elvezetésre.



9. ábra: Turbinalapátok hűtési módjainak fejlődése

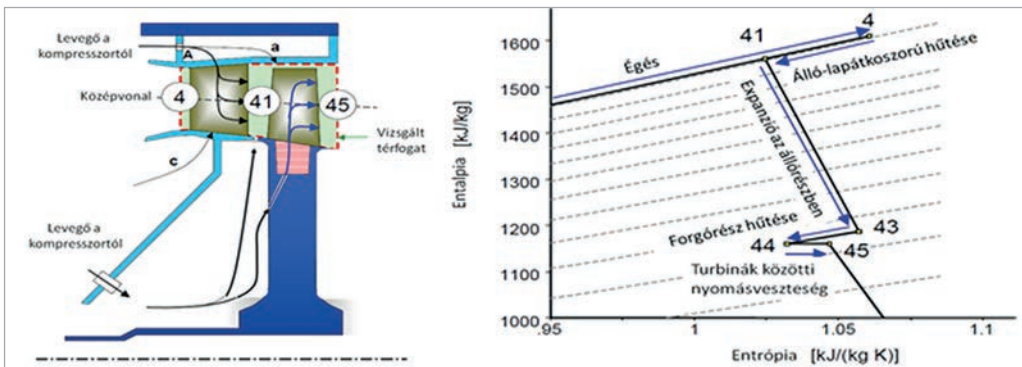
Forrás: Jet Engine Design: Turbine Cooling

¹⁷ Kolláth Szabolcs: *Gázturbinás hajtóművek evolúciós fejlődése*. Szakdolgozat. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2010. 64.

¹⁸ Sztöchiometrikus égés: pontosan annyi a levegő (oxigén), mint amennyi az égéshez mint kémiai reakcióhoz szükséges.

A turbinahűtésnél a turbina első fokozatok hűtése döntő többségében a kompresszor kilépő keresztmetszetéből elvont levegővel történik. Ennek egyrészt az az oka, hogy a turbina előtt a legmagasabb a hőmérséklet, és a kompresszió viszonylag magas vég-hőmérsékletű (manapság akár 900 K felett) levegője is megfelelő hűtést biztosít. Másrészt megfelelő nyomás szükséges a hűtő levegőnek a hűtési helyekre juttatásához, amit csak a kompresszor utolsó fokozata(i) képesek biztosítani. A középső és hátsó turbina fokozatok esetében a hűtőlevegő elvétele már általában valahonnan a kompresszor középső fokozataitól történik, mivel itt a turbina előtt már mind a hőmérséklet, mind a nyomás az expánzió miatt jelentősen kisebb lesz.

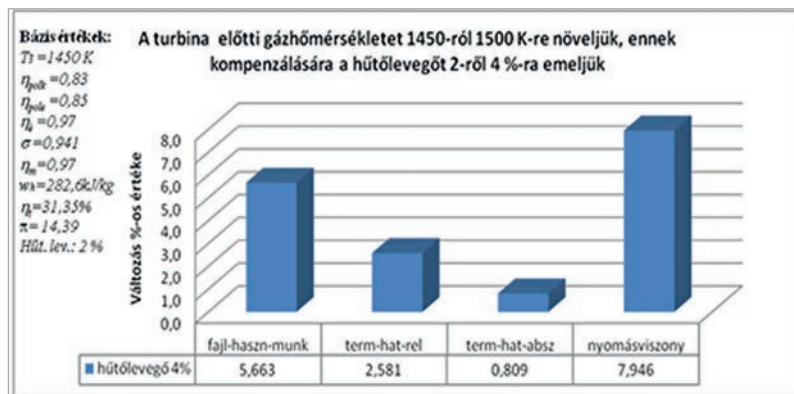
A hűtő levegő termikus hatásfokára (és fajlagos hasznos munkára) gyakorolt hatása a 10. ábra alapján szemléltethető. Az állórészben bevezetett hűtő levegő, míg növeli a tömegáramot, egy izobár hőcserét feltételezve, csökkenti a turbina előtti gázhőmérsékletet. Ugyanez történik a forgórészben, ahol tovább növekszik a tömegáram, illetve csökken a hőcsere hatására a gázhőmérséklet. Mindezzel együtt természetesen a hűtésből eredő hőmérséklet-csökkenéssel is a turbina előtti gázhőmérséklet jóval magasabb marad, mint amit hűtés nélkül elviselne az adott turbinafokozat. De ez mindenképpen felveti, hogy magának a hűtés hatékonyságának is kiemelkedő szerepe van a gázturbinák termikus hatásfokának szempontjából. Értelemszerűen hatékonyabb hűtés, ezzel kevesebb hűtőlevegő-felhasználás javítja a termikus hatásfokot.



10. ábra: Hűtőlevegő áramok a turbinafokozatokban és hatása a turbinában lejátszódó expánzióra

Forrás: Component modelling for system models. Online: <http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-AVT-036/TR-AVT-036-04.pdf>

A 11. ábrán látszik az eredménye egy gondolatkísérletnek, amelyben modelleztünk egy olyan szituációt, ahol a turbina előtti hőmérsékletet 1450 K-ről 1500 K-re emeljük. Feltételeztük, hogy a turbina magasabb hőterhelését a meglévő 2%-os hűtőlevegő 4%-ra növelésével lehet kompenzálni. A hűtőlevegő elvétele a kompresszor utolsó fokozatától történik. Kérdés, hogy ebben az esetben pozitív lesz-e az egyenleg? A válasz igen.



11. ábra: Turbina előtti gázhőmérséklet-növelés a hűtőlevegő mennyiségének növelésével

Forrás: Varga (2013) i. m.

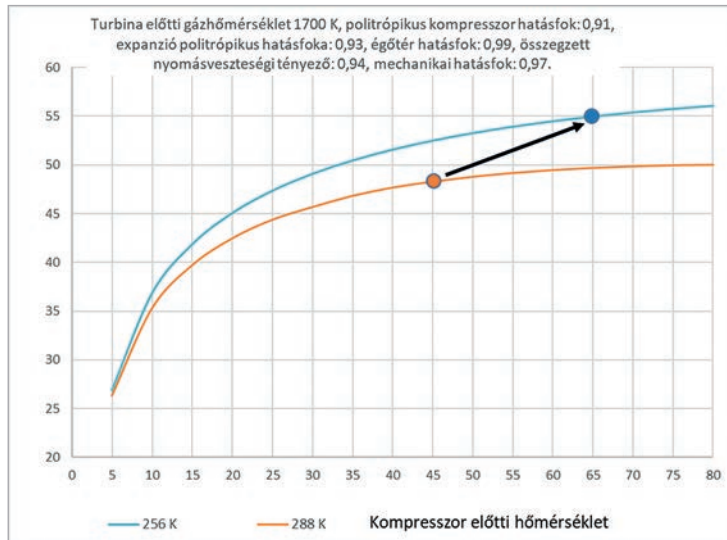
A levegőelvitel negatív hatása ellenére ez különösen a fajlagos hasznos munka, de a termikus hatásfok szempontjából is javulást eredményezett. Figyelembe kell venni azonban, hogy ehhez a kompresszor-nyomásviszonyt a kezdeti 14,39-es értékről 15,53-ra kellene emelni. A modell ugyanis figyelembe veszi a hűtő levegő növelésének negatív és a turbina előtti gázhőmérséklet növelésének pozitív hatását is.

Környezeti hőmérséklet hatása a termikus hatásfokra

Nagyon fontos tényező a termikus hatásfok szempontjából a környezeti hőmérséklet. Ahogy azt már korábban is említettük, a hajtómű jellemző paramétereit a NEL tengerszintnek megfelelő adataira adják meg. A számításokat is ezekkel az adatokkal végezzük, így az egyes hajtóművek teljesítményadatai jól összehasonlíthatók. Általában a hatásfokokat is ilyen feltételek mellett adják meg, vagy számoljuk.

Értelemszerűen a hajtóműveket nagyon sokfajta környezeti körülmények között üzemeltetjük, miközben a hajtóműbe belépő levegő hőmérséklete hatással van a termikus hatásfokára is. Olyan hajtóműveknél, amelyek adott üzemi körülmények között sokat üzemelnek, sőt teljes életciklusuk döntő többségét itt töltik, érdemes megvizsgálni ennek hatását. Itt elsősorban a nagy kétáramúsági fokú hajtóművekre kell gondolni, amelyeknek repülési magassága 9–11 km közé esik, és repülési Mach-számuk zömében 0,78–0,82 közé. Feltételezve egy 10 000 m-es repülési magasságot és 0,8-as Mach-számot, a lefékezés következtében a szívócsatorna nyomásviszonya a nyomásvesztéssel együtt is körülbelül 1,5 (egy jó fokozatnyi). A kompresszor előtti hőmérséklet pedig a NEL 10 000 m-re megadott hőmérsékletéből a fékezett hőmérsékletet számolva körülbelül 256 K, ami több mint 30 K-el kevesebb, mint a 288 K-es standard érték. Mivel a hidegebb levegő kisebb munkával komprimálható, kvázi változatlan turbinamunka nagyobb kompresszor-nyomásviszonyt hoz létre. Tehát az alacsonyabb környezeti hőmérséklet miatt a hatásfokgörbe magasabbra kerül. A szívócsatornában létrejövő nyomásnövekedés

és az alacsonyabb környezeti hőmérséklet miatti kompresszor nyomásviszony-növekedés miatt a teljes nyomásviszony elérheti a 60-65-ös értéket is.



12. ábra: Hatásfokkülönbség földön álló helyzetben (barna), illetve 10 km magasságon 0,8-as M -szám mellett

Forrás: Varga (2013) i. m.

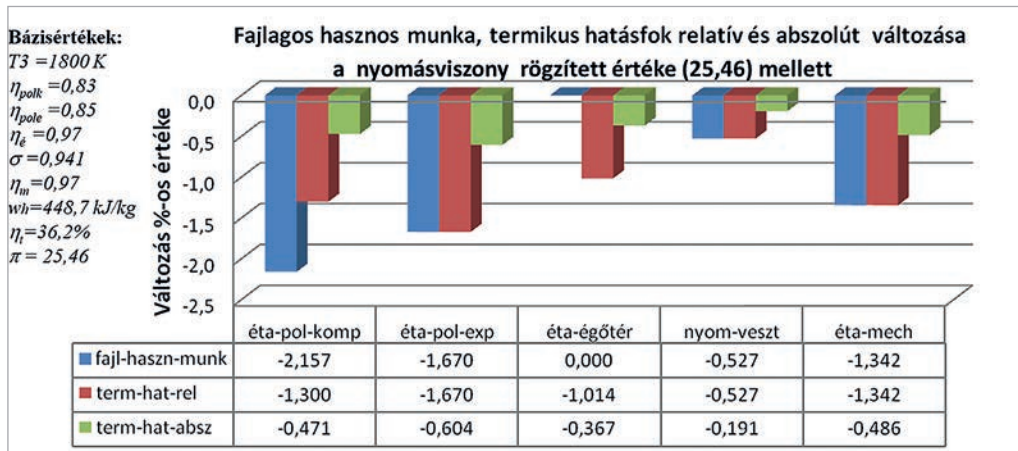
Ez 5-7%-os hatásfok-növekedéshez vezet a tengerszinti hajtóműteszt hatásfokához képest. Ezt jól szemlélteti 12. ábrán a két pont távolsága (barna $H = 0$ m, $M = 0$, kék $H = 10\,000$ m, $M = 0,8$). Ebből következik, hogy manapság a nagyobb méretű nagy kétáramúsági fokú hajtóművek termikus hatásfoka utazósebességen és magasságon a 60%-ot közelíti.

Gépegységhatásfokok hatása a termikus hatásfokra

A gépegységhatásfokoknak és veszteségeknek természetesen jelentős, de nem azonos mértékű hatásuk van a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok, illetve az optimális kompresszor nyomásviszony értékekre. Termikus matematikai modellel az úgynevezett paraméterérzékenységet vizsgálva megkaphatjuk, hogy az egyes gépegységveszteségek milyen hatással lesznek a hajtómű termikus hatásfokára, illetve a fajlagos hasznos munkájára, valamint a hozzájuk tartozó optimális nyomásviszonyokra.

A turbina előtti gázhőmérséklet, valamint a kiinduló hatásfok- és veszteségadatok a 13. ábra bal felső sarkában olvashatóak. Az első lépésben az egyes hatásfokokat és veszteségeket 1%-kal rontani kell a bázisértékhez képest, és a változásokat százalékosan szükséges megadni a kiinduló értékekhez képest a következő összefüggéssel:

$$\Delta\eta_t(\%) = -\left(1 - \frac{\eta_{t/akt}}{\eta_{t/bázis}}\right) * 100 \quad (4)$$



13. ábra: A gépegységveszteségek hatása fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra

Forrás: Varga (2013) i. m.

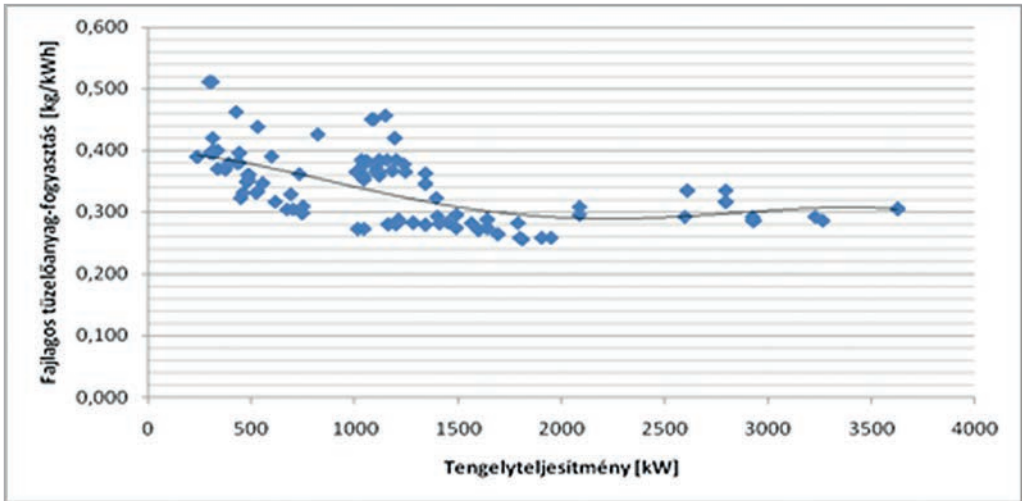
A 13. ábrán látható, hogy a gépegységhatásfokok hogyan befolyásolják a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok értékét. Jelen esetben csak a termikus hatásfokkal foglalkozunk, és abból is az egyszerűbb követhetőség miatt a termikus hatásfok abszolút megváltozásával (zöld oszlopok és a táblázat alsó sora a numerikus értékek szempontjából). Láthatóan a kompresszor (éta-pol-komp) és a turbina (éta-pol-exp) politrópikus hatásfokok javulására vagy romlására reagál a legérzékenyebben a hajtómű és ezzel együtt a termikus hatásfoka.

A többi veszteség esetén (égőtér hatásfoka és nyomásvesztései tényező, mechanikai hatásfok) nincs nagy tér ezek csökkentésére, másrészt hatásuk kisebb a termikus hatásfokra. Ennek megfelelően a kompresszor és a turbina politrópikus hatásfokának javítása adja a legkedvezőbb eredményt. Egy-egy százalékos javulásuk összességében a termikus hatásfokban is körülbelül egy százalékos javulást eredményez.¹⁹

Hogyan bünteti a kis méret a gázturbinás hajtóműveket a termikus hatásfokuk szempontjából

Általánosságban is elmondható, hogy minél kisebb egy gázturbinás hajtómű mérete, annál nehezebb jó termikus hatásfokot elérni. Ez különösen sújtja a helikopter turboshaft hajtóműveket. De még ezen a kategórián belül is jól szemlélteti ezt a hatást a 14. ábra.

¹⁹ Varga Béla et al.: *Parameter sensitivity examination of gas turbine engines Proceedings Transport Means*. Conference Kaunas, 2015.



14. ábra: A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás és a teljesítmény statisztikai összefüggése

Forrás: Varga (2013) i. m.

Ami első látásra szembetűnő, hogy teljesítmény szempontjából a helikopter-hajtóművek három jól elkülöníthető csoportra oszthatók fel, amelyek között jól érzékelhető szakadás van. A legkisebb teljesítménycategória 200–800 kW-os felszálló teljesítményt biztosít. A közepes teljesítménycategóriába 1000–2200 kW-ot szolgáltató hajtóművek tartoznak, míg a nagy kategóriában 2500–3700 kW-os felszállóteljesítményekkel találkozhatunk. Láthatóan ez utóbbi kategória tartalmazza a legkevesebb példányt. Ez nem jelenti azt, hogy összesen ennyi hajtómű létezne ebben a kategóriában, de mindenképpen a „nehéz” szállítóhelikopter-típusok kis száma és egy-egy típuson belül a viszonylag alacsony gyártási szám miatt koránt sincs az a bőség, mint a kis és közepes kategóriákban. A teljes teljesítményvertikumban először egy jelentős csökkenést, majd többé-kevésbé állandó fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás (0,3 kg/kWh, megfelel kb. 27-28%-os termikus hatásfoknak) értéket mutat.

Az átlagot tekintve mindenképpen az látható, hogy a nagyobb teljesítmények felé csökken a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve nő a termikus hatásfok. Ez persze csak áttételesen kapcsolódik a teljesítményhez. A valós ok az, hogy a nagyobb teljesítményhez nagyobb levegőszállítás tartozik, ami a nagyobb geometriai méretek (kisebb relatív lapátrések) miatt jobb kompresszor hatásfokot eredményez. Ez még inkább igaz, ha a levegőfogyasztás maximuma nem 10 kg/s körül van, hanem, mint más kategóriák esetében, 30 kg/s vagy afelett.²⁰

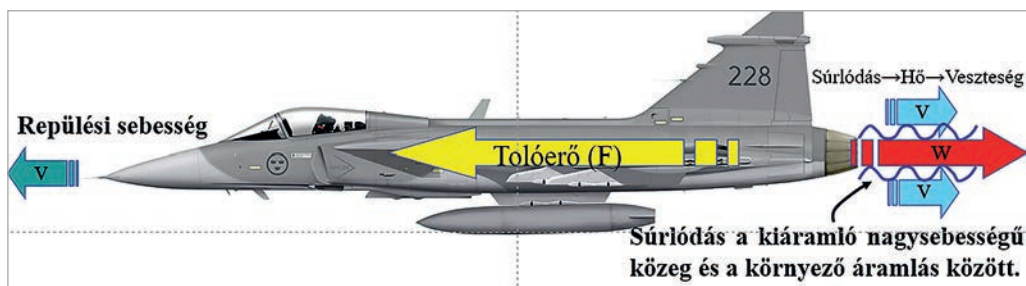
²⁰ Varga Béla – Békési László: „Tényleg nem a méret számít?”, avagy hogyan bünteti a kis méret a helikopter „turboshaft” hajtóműveket. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 81–93.

A gázturbinás hajtómű-kategóriák átlagos termikus hatásfoka

Ahogy az a fenti részből kiderült, számos gázturbina-kategória került kifejlesztésre a 40-es évek óta, viszont a kategóriák között nagyon jelentős eltérés van az átlagos termikus hatásfokaik szempontjából. A viszonylag kicsi helikopter turboshaft hajtóművek a legrosszabb hatásfokúak, 20-30%-kal. A turbólégcsavaros hajtóművek 25-40%-ot, az egyáramú sugárhajtóművek (minimum 30 kg/s tömegáram mellett) 25-40%-ot, a kis kétáramúsági fokú hajtóművek 40-45%-ot teljesítenek. A nagy kétáramúsági fokú hajtóművek elérhetik a 40-50%-os termikus hatásfokot a rendelkezésre álló adatok és számításaink szerint (NEL tengerszinten, zérus repülési sebességet feltételezve). A kategórián belüli eltéréseket indokolhatja a „származási” idő, eltérő technológiai szint és még a méretek is. A méret rendkívül fontos kategórián belül, de a különböző kategóriák összehasonlításakor is. Gyakorlatilag kisebb méret mindig alacsonyabb hatásfokkal bünteti a gázturbinákat.

Propulziós hatásfok

A propulziós hatásfok az effektív teljesítmény (a sugárteljesítménynek az a része, ami ténylegesen megjelenik a repülőgép mozgatásában) és a sugárteljesítmény (a hőerőgép által leadott teljesítmény) hányadosa. Az egyenletet megvizsgálva látható, hogy értéke függ részben a repülési sebességtől (v), részben pedig a munkaközeg felgyorsításától, vagy más kifejezéssel a fajlagos tolóerőtől ($w-v$), 5. egyenlet.



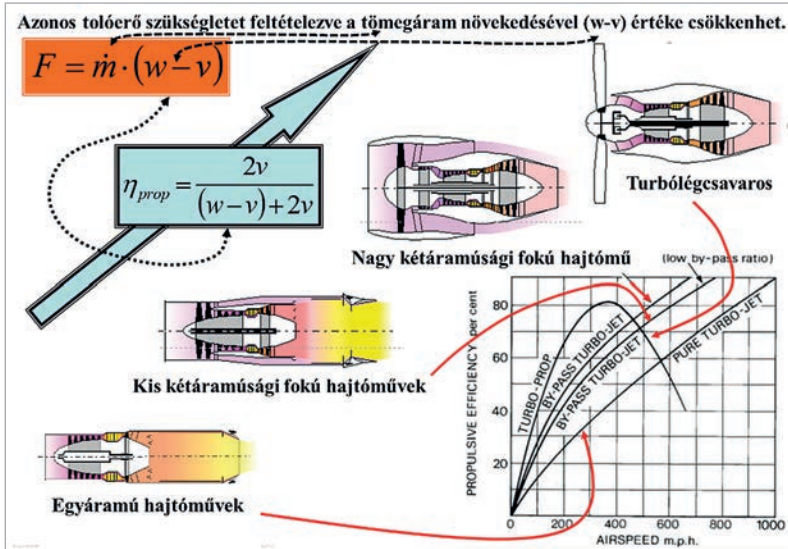
15. ábra: Gázturbinás hajtómű propulziós vesztesége

Forrás: a szerző szerkesztése

Ebben az esetben is a két teljesítmény különbsége hővé alakul, mégpedig a 15. ábra szerint a felgyorsított közeg és a környező levegő közti súrlódás következtében.

$$\eta_{prop} = \frac{\dot{m}(w-v)v}{\frac{\dot{m}(w^2-v^2)}{2}} = \frac{2v(w-v)}{(w-v)(w+v)} = \frac{2v}{(w-v)+2v} \quad (5)$$

A 16. ábrán láthatjuk a különböző gázturbinás hajtóművek propulziós hatásfokgörbéit. Az ábrából és az 5. egyenletből látszik, hogy egy adott repülési sebességnél, ha a fajlagos tolóerő csökken (kisebb a munkaközeg felgyorsítása), a propulziós hatásfok nő.



16. ábra: Különböző gázturbinás hajtóművek propulziós hatásfokai

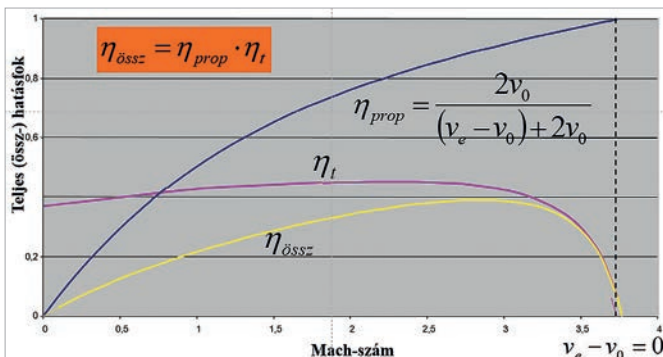
Forrás: a szerző szerkesztése

Az összefüggésből az a következtetés vonható le, hogy adott vonóerőt jó propulziós hatásfokkal a tömegáram növelésével lehet elérni, például turbólégcsavaros vagy nagy kétáramúsági fokú hajtóművekkel. Az utóbbi hajtómű hőerőgép része, más szóval gázgenerátor-egység, Bryton-körfolyamatot valósít meg, míg a felgyorsított közeg részben a környező levegő a ventilátor (fan) fokozat által, részben a hőerőgép forró égésterméke a fúvócső által gyorsul. A tolóerő körülbelül ~85%-át adja a ventilátorfokozat és csak a maradék ~15%-ot a fúvócső. Ennek megfelelően a propulziós hatásfok szempontjából az előbbi tarthat számot fokozottabb érdeklődésre a kétáramúsági fokon keresztül. Nem véletlen, hogy a nagy kétáramúsági fokú hajtóművek kétáramúsági foka folyamatosan nőtt az elmúlt évtizedekben, elérve a manapság 10-12-es értéket (CFM Leap hajtómű). Ez esetben azonban számolnunk kell azzal, hogy a repülési sebesség korlátozott lesz. Ezeknél a hajtóműveknél jól behatárolható a maximális sebességük, de ami még fontosabb, az utazósebességük és a repülési magasságuk (a kettő alapján pedig a Mach-szám is), így a propulziós hatásfokuk szempontjából is ezt a tartományt kell alapvetően vizsgálni, és ennek megfelelően ez jól becsülhető.

Teljes hatásfok

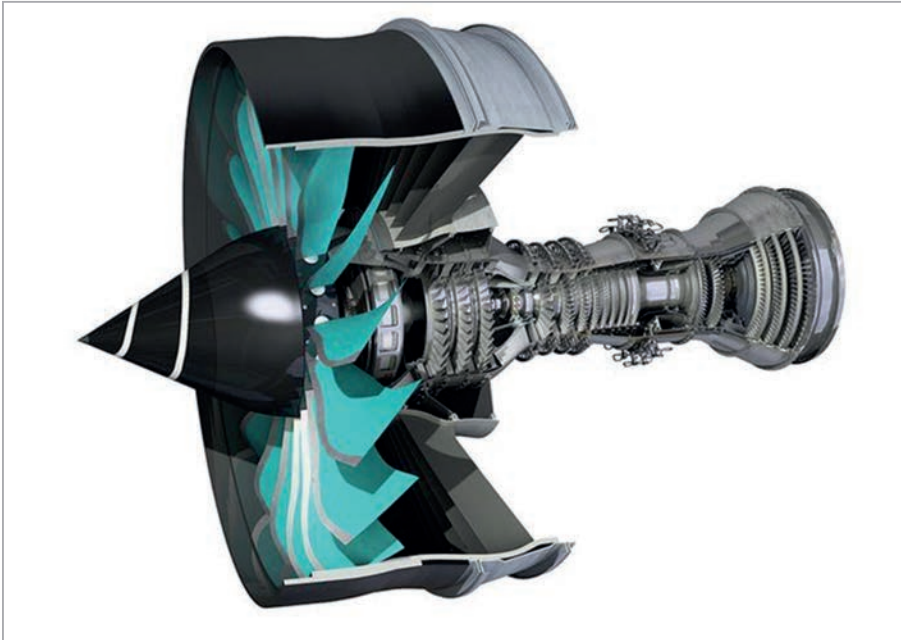
A teljes hatásfokot a termikus és a propulziós hatásfok szorzata adja meg. A 17. ábrán egy harcászati repülőgép kis kétáramúsági fokú hajtóművének a hatásfokgörbéi láthatóak a Mach-szám függvényében, NEL tengersizinti adatokra számítva. A termikus hatásfok (η_t) kezdeti emelkedését a szívócsatornában való lefékeződés és nyomásnövekedés, illetve ennek következtében a magasabb teljes nyomásviszony okozza. A magasság növekedésével a termikus hatásfokgörbék némileg felfelé tolódnának. 10-11 km magasságon elérve a $+(4-6)\%$ -ot a tengersizinti értékekhez képest. A görbék a kiinduló alapadatok (turbina előtti gázhőmérséklet, nyomásviszony) alapján körülbelül 3,7-es Mach-számnál záródnak. Ugyanakkor $M > 1$ értéknél már csak teoretikusak, hiszen az e fölötti Mach-számokat legtöbb esetben csak utánégetővel képesek elérni, illetve tartani ezek a repülőgépek, ami a termikus hatásfokot és a propulziós hatásfokot is drasztikusan rontja. Ez egyben mutatja, hogy ezek a gázturbinák még teoretikusan sem léphetik át a 3-4-es Mach-számot. Ami fontosabb, hogy semmilyen üzemi körülmények között nem haladják meg a 20-25%-os teljes hatásfokot, ahol a magasabb érték 11 km, vagy e feletti repülési magasságra, utazósebességre és maximális körüli hajtómű-teljesítményre vonatkozik. Minden egyéb repülési állapotban ennél a teljes hatásfok csak kisebb lesz, lásd a piros ponttól jobbra eső sárga teljes (össz-) hatásfokgörbét. Tekintve ennek a kategóriának a változatos repülési profilját, csak becslésekbe lehet bocsátkozni az átlagos teljes hatásfokuk tekintetében, ami valószínűleg 10–20% közé esik. Szemléletesebbé téve, 1 tonna tüzelőanyag elégetéséből 100-200 kg hasznosul a repülőgép mozgatásában.

Ahogy már korábban a propulziós hatásfoknál jeleztük, a nagy kétáramúsági fokú hajtóműveket, 18. ábra, használó légi járművek esetében (és abból is a nagyobb kategóriáknál) a görbék trendjének alakulása azonos. Azonban propulziós hatásfok görbe meredekebb, vagyis $M = 0,8$ körül már 70-75% a propulziós hatásfok értéke, és ennél az Mach-számnál és 9-11 km-es repülési magasságon a termikus hatásfok is eléri az 50-55%-ot, ami 30-40%-os teljes hatásfokot eredményez.



17. ábra: Egy kis kétáramúsági fokú hajtóművel szerelt repülőgép teljes hatásfoka a Mach-szám függvényében

Forrás: a szerző szerkesztése



18. ábra: Nagy kétáramúsági fokú hajtóművek általános felépítése

Forrás: <https://hu.pinterest.com/pin/459578336954944534/>

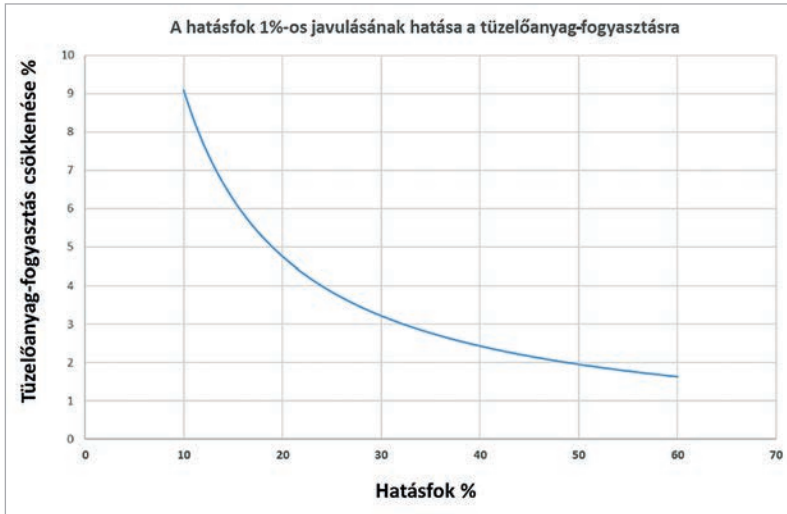
Habár ez a hajtóműtípus mutatja az egyik legjobb tüzelőanyag-hatékonyságot, a CO₂-kibocsátás szempontjából ezek vizsgálata a legindokoltabb. Mivel ezzel a hajtómű-kategóriával szerelt repülőgépek adják a világ kereskedelmirepülőgép-flottájának 88,7%-át, összegésében a legnagyobb CO₂-kibocsátó is. A turbólégcsavaros repülőgépek adják a maradék 11,3%-ot, eleve kisebb szállító kapacitással (maximum 80-100 fő), rövid távú járatokon (500-1000 km), így ezek kibocsátása az előbbieket mellett elhanyagolható.²¹ A helikopterek, bár hajtóműveik a legrosszabb termikus hatásfokkal rendelkeznek, relatív kisebb méreteikkel és kisebb számukkal világviszonylatban nem jelentős szén-dioxid-kibocsátók.

Végül lássuk, hogy a teljes hatásfok, illetve annak változása milyen hatással lesz a tüzelőanyag-fogyasztásra, illetve ennek megfelelően a szén-dioxid-kibocsátásra. A teljes hatásfok, a 6. egyenlet szerint, a vontatási teljesítmény, vagyis a tolóerő és a sebesség ($F \cdot v$) szorzatának és a hőbevitelnek, vagyis a tüzelőanyag-fogyasztás és a tüzelőanyag fűtőértéke ($\dot{m}_t \cdot F_{\text{ü}}$) szorzatának a hányadosa.

$$\eta = \frac{F \cdot v}{\dot{m}_t \cdot F_{\text{ü}}} \gg \dot{m}_{t2} = \dot{m}_{t1} \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (6)$$

²¹ Tables Relating to the World of Air Transport in 2015. Online: www.icao.int/sustainability/pages/facts-figures.aspx

Feltételezve egy adott hatásfokjavulást, rögzítenünk kell, hogy ugyanazt a vontatási teljesítményt várjuk el. A jobb oldali egyenletben az 1-es index egy adott hatásfokot és tüzelőanyag-fogyasztást a 2-es index a magasabb hatásfokot és a hozzátartozó tüzelőanyag-fogyasztást jelenti. A 19. ábrán láthatjuk, hogy minél magasabb a kiinduló hatásfok, annál kisebb tüzelőanyagfogyasztás-csökkenéssel jár egy százalékos hatásfokjavulás.



19. ábra: A tüzelőanyag-fogyasztás csökkenése a hatásfok 1%-os javulása esetében

Forrás: a szerzők szerkesztése

Példaként: a helikopterek esetében meglehetősen gyakori, hogy egy teljes típus flottának lecserélik a hajtóművét egy korszerűbb, erősebb és jobb hatásfokkal bíró új típusra. A General Electric T901 (GE3000) turboshaft hajtóműve a 2200 kW-os kategóriában 2019 februárjában az Improved Turbine Engine Program (ITEP) nyertese lett. Ezzel a hajtóművel tervezik 2025 után lecserélni 1300 Sikorsky UH-60 Black Hawk és több mint 600 Boeing AH-64 Apache helikopter T700-as hajtóművét. A hajtómű fejlesztésénél különös figyelmet fordítottak a T700-as hajtóművel megegyező méretre, ami a zökkenőmentes hajtóműcserét nagyban elősegíti. A gyártó General Electric szerint a T700-701D hajtóműhöz képest 25%-al javult a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása az új hajtóműnek. Figyelembe véve, hogy ez az előbb említett hajtómű esetében a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás 0,283 kg/kWh (ez nagyjából megfelel 29,5%-os termikus hatásfoknak) a T901 fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása ennek megfelelően 0,22 kg/kWh,²² ami ebben az esetben körülbelül 10%-os hatásfok-növekedésnek felel meg. Ez persze szén-dioxid-kibocsátás-csökkenést is jelent, de ebben az esetben aligha ez járt a megrendelő fejében, hanem sokkal inkább a megnövekedett hatótávolság, hasznos teher vagy műveleti területen való tartózkodás időtartama.

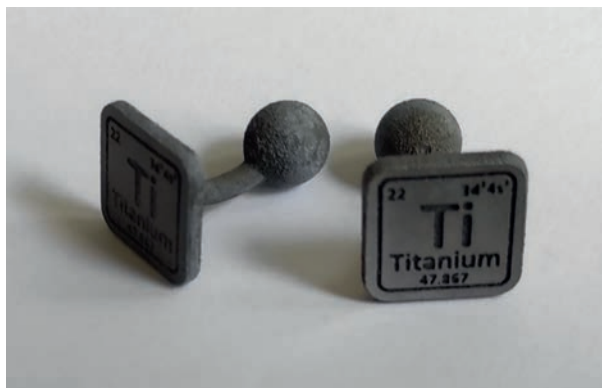
²² The New Beginning, T901. Online: www.geaviation.com/military/engines/t901-turboshaft-engine

Ma látható fejlesztési irányok

A gépegységhatásfokok esetében a kompresszor és a turbina politrópikus hatásfokának javítása a paraméterérzékenységi vizsgálatokat is figyelembe véve a legtöbb nyereséget hozhatja. A turbinalapátok hűtési hatásfokának növelése és a kerámia mátrix kompozit (CMC) turbinalapátok szintén eredményezhetnek néhány százalékos termikus hatásfok-növekedést. A propulziós hatásfok esetében a kétáramúsági fok további növelése gondot okozhat, mert növeli a hajtómű átmérőjét, ami még a hajtómű elhelyezésénél is problémát okoz, nem is beszélve az okozott extra légellenállásról. A magasabb kétáramúsági fok a kisebb mag eredményeként is megvalósulhat, amely nagyobb fajlagos hasznos munkát feltételez. A kisebb méret azonban gyakran kisebb gépegységhatásfokokat eredményezhet. Manapság a legizgalmasabbak a hajtóműgyártás és egyben a repülőgépipar területén az új gyártástechnológiai és anyagtechnológiai eredmények, amelyek már vagy megjelentek, vagy közvetlenül megjelenés előtt állnak a gyártási folyamatban is. Ebben a fejezetben ezek közül vizsgálunk meg néhányat.

Additív gyártási eljárások

2019 októberében részt vettünk szerzőtársammal a GKN az RM 12 üzemeltetők konferenciáján. A konferencia végén, mintegy érdekességként, az egyik gyári menedzser tartott egy rövid prezentációt, amelynek keretében minden résztvevőnek átadott egy mandzsettagomb-készletet ajándékként. Némileg értetlenkedve néztük, és utána hallgattuk, hogy ezek a titánból készült mandzsettagombok, 20. ábra, additív technológiával (3D-s nyomtatással) készültek, és lehet, hogy a repülőgépipar jövőjét tartjuk a kezünkben. Miért is?



20. ábra: 3D-s nyomtatással készült tárgy

Forrás: a szerzők egyikének saját fotója

A hagyományos megmunkálási és gyártási módszerekkel az egyes alkatrészeket öntvényből vagy kovácsolt előgyártmányból kész alkatrészekké dolgozzák fel, majd különböző hegesztési, forrasztási vagy csavarkötésekkel építik össze egy bonyolultabb alkatrésszé.

A 3D nyomtatás lehetőséget nyújt komplex alkatrészek előállítására a hagyományos gyártási tervezési korlátok nélkül. Az úgynevezett additív eljárás manapság már nemcsak egy prototípus-készítési technológia, hanem sorozatgyártást is lehetővé tesz a legigényesebb alkatrészek esetén is, sőt ezekben az esetekben nyújtja a legnagyobb előnyt a hagyományos eljárásokkal szemben.



21. ábra: Ugyanaz az alkatrész hátul hagyományos, elől 3D nyomtatási eljárással

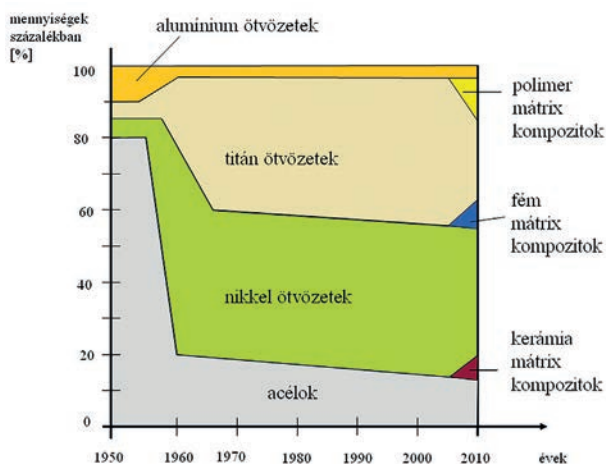
Forrás: *Metals in additive manufacturing*. Online: www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/metal-additive-manufacturing-materials

A 3D-s nyomtatás rétegekben közvetlenül a számítógépes fájl alapján épít alkatrészeket oly módon, hogy a rendkívül vékony fémrétegeket összeolvasztja egy lézer vagy egy elektronikus sugárral, 21. ábra. Az így kapott elemek könnyebbek és erősebbek lehetnek, mint a hagyományosan előállított fém alkatrészek, ugyanakkor fejlettebb aerodinamikai formákat tesznek lehetővé a jobb teljesítmény, megbízhatóság és tartósság javítása érdekében, valamint a tömegcsökkentés révén is hozzájárulhatnak a kedvezőbb tüzelőanyag-fogyasztáshoz.²³

Korszerű hajtómű-alapanyagok

A korszerű hajtómű-alapanyagok használata két nagy előnnyel jár: a belőlük készült hajtóműveknek kisebb a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásuk, mert magasabb hőmérsékleten mehet végbe az égés az égéstérben („tökéletesebb” lesz az égés, tehát kevesebb üzemanyag szükséges), illetve szerkezetük könnyebb lesz, így olcsóbbá válik az üzemeltetés és alacsonyabb szintű lesz a károsanyag-kibocsátás.

²³ *Metals in Additive Manufacturing*. Online: www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/metal-additive-manufacturing-materials



22. ábra: Alapanyagok felhasználása a hajtóműgyártás alkatrészeiben 1950-es évektől napjainkig

Forrás: Klaus Steffens – Hans Wilhelm: *Next engine generation: materials, surface technology, manufacturing processes*, MTU Aero Engines munkanyaga alapján a szerzők egyikének rajza

Két fontos csoport emelhető ki a korszerű hajtómű-alapanyagok közül: a szálerősítésű kompozitok, amelyek polimer, fém vagy kerámia mátrixúak és a monolitikus intermetalikus anyagok. A kompozitok magas hőmérsékleten tanúsított viselkedése nagymértékben függ az alkalmazott mátrix anyagától. A szálerősítésű kompozitok, ahogy a 22. ábrán is látható, nemcsak megjelentek a 21. században, hanem egyre nagyobb részben használatosak alapanyagként a hajtóműgyártásban.

Polimer mátrix kompozitok (Polymer Matrix Composites [PMC])

Az 1940-es évek elején felmerült az igény olyan anyag iránt a katonai repülőgépgyártásban, amelyek alkalmazása esetén nehezebben lehet a repülőgépeket rádiólokátorral felderíteni, vagyis csökken a radarkeresztmetszetük. Innentől kezdve datálható a polimer mátrix kompozitok megjelenése a repülés területén belül. Nemcsak „radarállósága” miatt lett népszerű ez az anyagcsoport a repülésben, hanem gazdasági okokból is, hiszen az alkatrészek tömegének csökkenésével az előállítási költségük szintén csökken. Termikus stabilitás javítására és szilárdságnövelésre használják, ugyanakkor korrózióálló, alaktartó, hosszú élettartamú, ellenáll az időjárás viszontagságainak.

A polimer mátrixú anyagok legalább két alkotórészből állnak. Az egyik a hordozóanyag – más néven mátrix –, a másik pedig az erősítőanyag, amelyet körülölel a hordozóanyag. Két nagy csoportra oszthatóak a polimer mátrixú kompozitok: hőre lágyuló és hőre keményedő fajtákra. A polimer mátrix alapanyaga lehet poliészter, epoxigyanta, vinilészter, míg az erősítőanyagnál leggyakrabban használt alapanyagok az üveg, a szén, az aramid és a polietilén.

Az üvegszál erősítésű epoxigyanta mátrixú kompozitokat főként olyan helyeken használják, ahol nincs kitéve ez az anyag nagyon magas hőmérsékletnek, mint például a hajtómű ventilátorának burkolata, szárnyborítás, tömítések és távtartó. Ezen alkatrészek megtalálhatóak a CF6-80, CFM 56, illetve a GE 90 típusú hajtóművekben. A jövőben a PMC-alapanyagú elemek száma minden bizonnyal növekedni fog a hajtóművekben, jó tulajdonságai és gazdaságossága miatt.

Fém mátrix kompozitok (Metal Matrix Composites [MMC])

A fém mátrix kompozitok előállításánál hordozóanyagként bármilyen fém szóba jöhet, de legelterjedtebben a könnyűfémeket, mint például a magnéziumot, az alumíniumot, a titánt használják, valamint a szuperötvözeteket is. Erősítőanyagként pedig fém-, bór-, szén-, grafit-szálakat, illetve különböző anyagú kerámiákat helyeznek a mátrixba.

Jó szívósságot és magasabb működési hőmérsékletet biztosítanak ezen kompozitok, de mégsem annyira elterjedtek, mint a polimer mátrixú kompozitok, valószínű az előállítási technológiájuk bonyolultsága és ez által drágább előállításuk miatt. Az egyik legígéretesebb a titán mátrixú kompozit. Körülbelül 50%-os a tömegcsökkenés a hagyományos titánötvözetekhez képest, mindez nagy merevség és szilárdság mellett. Ehhez a kompozithoz főként szilícium-karbid (SiC-) szálakat adnak erősítésként, amelyeket karbon réteggel vonnak be, hogy elkerüljék a mátrix és az erősítőanyag reakcióba lépését a gyártás során. Jellemzően centrifugál kompresszor járókereket, 23. ábra, állítanak elő ebből az anyagból továbbá tengelyeket, valamint ventilátorlapátokat is.



23. ábra: Centrifugál kompresszor járókerék

Forrás: *First Refraction Enhanced 3D Computed Tomography – Application to Metal Matrix Composites*.
Online: www.ndt.net/article/ct2003/v02/v02.htm

Nemcsak szilícium-karbid, hanem a bór szálak is megjelennek erősítőanyagként alumínium és titán mátrixú kompozitokban, attól függően, hogy mely hajtóműalkatrész készül belőle; titán-bór társításban sugárhajtómű-ventilátor forgórészénél használatos, míg az alumínium-bór társítást kompresszor forgórész alapanyagaként használják.

Kerámia mátrix kompozitok (CMC-Ceramics Matrix Composites)

A kerámia mátrix kompozitok ígéretesnek bizonyulnak a hajtóműgyártásban az alábbi tulajdonságaik miatt: nagy merevség, magas hőmérsékleten jó szilárdság, termikus stabilitás, oxidatív környezetben korrózióval szembeni jó ellenálló képesség, alacsony sűrűség.

Eltérést mutat a fém és a polimer mátrix kompozitokhoz képest, hogy a mátrix nagyon rideg, és ha külső hatás miatt repedés keletkezik, akkor az először a mátrixban jelentkezik, nem pedig a szálakban, mint a másik két fajtájú kompozitnál. A CMC-k erősítőanyagaként szilícium-karbid, karbon és alumínium-oxid szálakat használnak, míg a befogadó anyagnál szintén megtalálható a szilícium-karbid, alumínium-oxid, illetve e két anyag keveréke. Természetesen más anyagokat is használnak mátrixként, mint például cink-oxid vagy üveg.

Kétféle szálanyag kerülhet szóba a hajtóműgyártásnál: az oxid, illetve a nem oxid szálak. A nem oxid szálak fő képviselője a szilícium-karbid (SiC), amely megfelelő kúszási jellemzőkkel rendelkezik, de kémiai reakció jöhet létre a szálanyag és mátrix között, ha nincs megfelelő bevonat a szálakon. A 2. táblázat mutatja be, hogy mennyit javít bizonyos anyagok műszaki paraméterein, ha szilícium-karbid szálakkal lettek megerősítve. Az oxid szálaknál az alumínium-oxid (Al_2O_3) emelkedik ki, amely termikusan stabil, viszont kúszási mutatói nem a legmegfelelőbbek. Tulajdonságai miatt a kerámia mátrix kompozitokat a hajtóműveknél inkább az alacsony nyomású részeknél használják, mint például diffúzor rész kúpja vagy terelő lapátok. A General Electric és Rolls Royce együttműködése folytán jött létre az F136 gázturbinás hajtómű, amelynek állórész lapátjainál, illetve a Snecma M88 hajtóműnek, 24. ábra, a gázsebesség-fokozó redőny elemeinél jelenik meg alapanyagként.

2. táblázat: Szilícium-karbid erősítésű szálak hatása kerámia anyagok műszaki tulajdonságaira

Anyagok	Szakítószilárdság [MPa]	Törési szívósság [MPa $\sqrt{\text{m}}$]
Al_2O_3	550	5,5
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$	790	8,8
SiC	495	4,4
SiC/SiC	756	25,3
ZrO_2	206	5,5
ZrO_2/SiC	446	22
Si_3N_4	467	4,4
$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$	790	56,1
üveg	62	1,1
üveg/SiC	825	18,7
üvegkerámia	206	8,2
üvegkerámia/SiC	825	17,6

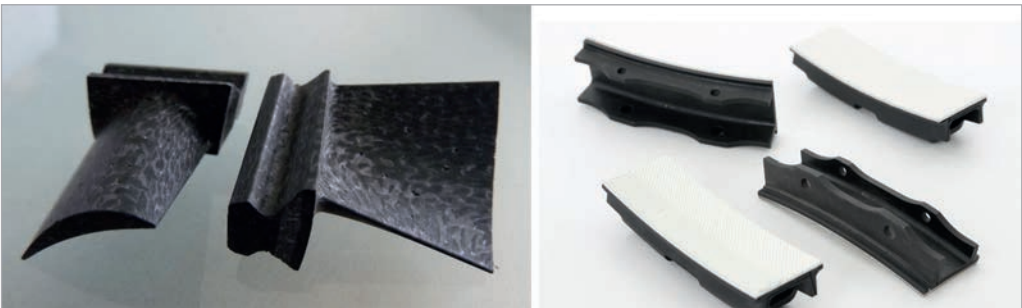
Forrás: Konczos (é. n.) i. m.



24. ábra: F136 hajtómű és Sneema M88 hajtómű

Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sdd_f136_006.jpg; http://en.wikipedia.org/wiki/File:M88-2_Engine.JPG

A General Electric már tapasztalatokra tett szert korábban is a CFM LEAP, a GE9X és a GE ATP hajtóművek esetében. A tartósabb és magasabb hőmérséklet-tűrésű és könnyebb CMC-kel helyettesítve a fémötvözeteket. Mivel esetükben kevesebb hűtésre van szükség, jobb termikus hatásfok érhető el, ugyanis a hűtőlevegő-elvétel a kompresszortól mindig hatásfokromlással jár, 25. ábra.



25. ábra: CMC turbinalapátok és gyűrűk

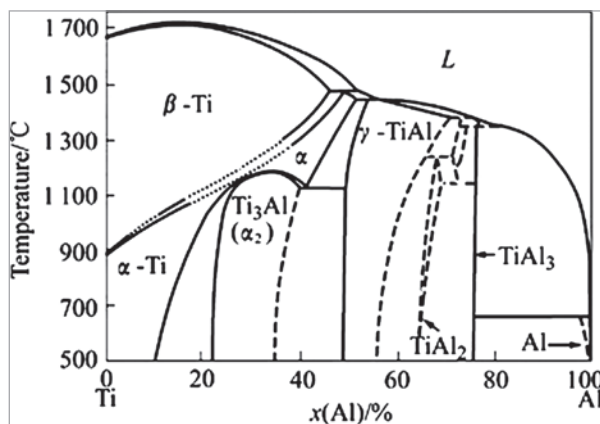
Forrás: *Space age ceramics are aviation's new cup of tea*. Online: www.ge.com/news/reports/space-age-cmc-aviations-new-cup-of-tea

A GE szerint a gázturbinás korszak kezdete óta az új anyagok lehetővé tették minden évtizedben a turbina előtti gázhőmérséklet kb. 25 °C-kal való növekedését. A CMC-összetevőkkel ez a növekedés ebben az évtizedben megháromszorozódhat.

Intermetallikus vegyületek

Az intermetallikus (fémközi) vegyületek általában kétkomponensű ötvözetek megszilárdulásából alakulnak ki.²⁴ Ezen vegyületek közül a titán és alumínium alkotta intermetallikus vegyület emelkedik ki a repülőgépkatrész-gyártás területén.

Három fő fémközi vegyülete ismert: γ -TiAl, α_2 -Ti₃Al és Ti-Al₃, 26. ábra. Általános jellemzőjük, hogy a belőlük készült alkatrészeknek kicsi a tömegük, jó az ellenálló képességük a korrózióval és a hővel szemben, viszont elég rideg anyagok, különösen alacsony hőmérsékleten. Hajlékonyságuk növelhető kémiai összetevők módosításával, illetve a gyártási paraméterek optimalizálásával. Mintegy 40 évvel ezelőtt kezdték ezen anyagok fejlesztését az autó- és a repülőgépgyártásban.²⁵



26. ábra: Ti-Al fázis diagramja

Forrás: Lan Huang: *Microstructural Control of Ti-Al-Nb-W-B Alloys*. PhD diss. University of Tennessee, 2008. Online: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11661-007-9113-x/fulltext.html>

A három vegyület közül a γ -TiAl-t használják a legelterjedtebben. Kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, amelyekből kiemelkedik a magas hőmérsékleten tapasztalható korrózióállósága (600 °C felett). Nagy lehetőség mutatkozik a hajtómű tolóerő-tömeg arány javítására ezen vegyületek mind szélesebb körű alkalmazásával. Az alacsony nyomású turbinalapátok és nagy nyomású kompresszorlapátok alapanyagaként már kezdi átvenni a nikkelötvözetek helyét.²⁶

²⁴ Konczos Géza: *Korszerű anyagok és technológiák. Előadás III. éves BME mérnök-fizikus hallgatók részére*. 9. fejezet: Kompozit anyagok. Online: www.szfk.hu/~konczos/tanfolyam/9.pdf

²⁵ www.reade.com/products/titanium-aluminide-powder-titanium-aluminide-sheet-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2-alnb

²⁶ www.reade.com/products/titanium-aluminide-powder-titanium-aluminide-sheet-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2-alnb



27. ábra: GEnx-hajtómű a Boeing 747-8I prototípusában

Forrás: Online: http://en.wikipedia.org/wiki/File:General_Electric_GEnx_on_747-8I_prototype.jpg

A General Electric a GEnx hajtóművében az alacsony nyomású turbinalapátok alapanyaga a γ -TiAl vegyületet, amelyeket a Boeing B 787, illetve a B 747-8-as repülőgépekben alkalmaznak, 27. ábra.

Összefoglalás

Figyelembe véve az általunk vizsgált tüzelőanyag-hatékonyság és gazdaságosság kérdését, még a polgári légi közlekedésben is jelentős előrelépési lehetőségek vannak. Sajnos szinte biztos, hogy egyetlen áttörést sem várhatunk. Egyes kutatók ugyan az elkövetkező néhány évtizedben az összhatásfok akár 30%-os növekedését is elképzelik, erre kevés az esély. A kompresszor és a turbina politrópikus hatásfokának javítása, a turbinalapát-hűtés hűtési hatásfokának növelése néhány százalékot eredményezhet. Az anyagokat illetően a kerámia mátrix kompozitok nagyon ígéretesek, mert magasabb hőállóságuk, mint a jelenlegi nikkal alapú szuperötvözeteknek. Az új szerkezeti anyagok felhasználása nem feltétlenül közvetlenül, hanem a tömegcsökkentés révén is hozzájárulhat a jobb üzemanyag-fogyasztáshoz. És az is bizonyos, hogy az ICAO jelentős erőfeszítéseket tesz a nemzetközi repülési iparág folyamatosan növekvő CO₂-kibocsátásának visszaszorítása érdekében, valamint az is, hogy a tüzelőanyag-hatékonyság minden tizedszázalékos növelése komoly erőfeszítéseket és folyamatos innovatív megoldásokat követel a hajtóműgyártóktól. Amiben bízhatunk még, hogy a verseny éles a gyártók között, és ez is folytonos előre tekintésre sarkallja a piac résztvevőit.

Felhasznált irodalom

- Fehér Krisztina: Alternatív tüzelőanyagok alkalmazása a repülésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28. (2018), 2. 43–56.
- Krisztina Fehér: Biomass as raw material of aircraft fuels. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 3. 123–138.
- First refraction enhanced 3D computed tomography – Application to metal matrix composites*. Online: www.ndt.net/article/ct2003/v02/v02.htm
- High temperature coatings. Online: www2.virginia.edu/ms/research/wadley/high-temp.html
- Jet Engine Design: Turbine Cooling. Online: <https://aerospaceengineeringblog.com/turbine-cooling/>
- Kavás László – Békési László – Rozovicsné Fehér Krisztina: A hajtómű alkatrész alapanyagok jelene és jövője. *Repüléstudományi közlemények*, 25. (2014), 2. 24–34.
- Kolláth Szabolcs: *Gázturbinás hajtóművek evolúciós fejlődése*. Szakdolgozat.
- Konczos Géza: *Korszerű anyagok és technológiák. Előadás III. éves BME mérnök-fizikus hallgatók részére*. 9. fejezet: Kompozit anyagok. É. n. Online: www.szfdki.hu/~konczos/tanfolyam/9.pdf
- Huang, Lan: *Microstructural control of Ti-Al-Nb-W-B Alloys*. PhD diss. University of Tennessee, 2008. Online: https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1515&context=utk_graddiss
- Metals in additive manufacturing*. Online: www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/metal-additive-manufacturing-materials
- Cumpsty, Nichholas: *Jet propulsion*. Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- Space age ceramics are aviation's new cup of tea*. Online: www.ge.com/news/reports/space-age-cmc-s-aviations-new-cup-of-tea
- Tables relating to the world of air transport in 2015*. Online: www.icao.int/sustainability/pages/factsfigures.aspx
- The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*. Online: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689?via%3Dihub
- The New Beginning, T901*. Online: www.geaviation.com/military/engines/t901-turboshaft-engine
- Varga Béla – Tóth József: A széndioxid, mint a legfőbb „ellenség”, avagy mi az ICAO által létrehozott „CORSIA” szerepe ebben a harcban. *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 3. 243–252.
- Varga Béla: *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*. PhD-értekezés, Budapest, 2013. Online: <http://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/9584/Varga%20B%20c3%a9la%20c3%a9rtkez%20c3%a9s?sequence=1&isAllowed=y>
- Varga Béla – Békési László: „Tényleg nem a méret számít?”, avagy hogyan bünteti a kis méret a helikopter „turboshaft” hajtóműveket. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 81–93.
- Varga Béla – Kavás László – Rozovicsné Fehér Krisztina – Bozóki János: *Parameter sensitivity examination of gas turbine engines Proceedings Transport Means*. Conference Kaunas, 2015.
- Why ICAO decided to develop a global MBM scheme for international aviation?* Online: www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSIA_FAQ1.aspx

Milyen közeli és a távolabbi célok felé „repül” a légi forgalom?

Absztrakt

Jelen tanulmány a Covid-19-világjárvány kellős közepén készült. A pandémia következményeként a kritikus egészségügyi helyzeten túl gazdasági válságban is vagyunk. Néhány ágazat különösen nehéz helyzetben van, próbálja túlélni a jelent a jövő reményében. Ilyen többek között a légi közlekedés is. Tanulmányomban a légi közlekedés helyzetét mutatom be az elmúlt másfél-két évtizedben Magyarországon, a környező országokban, Európában és a világban, kitérve a következő időszak várható fejleményeire is, végül érintem a Wizz Air kilátásait a piacon a közeli időben. Hatással van az ágazatra a változó demográfiai helyzet: az elöregedő népesség, a csökkenő munkaerő-állomány negatívan hatnak a légi közlekedésre, viszont globális szinten javul a népesség jövedelmi helyzete, így növekszik a kereslet a repülés iránt. Koncentrálódnak a piacon a meghatározó szereplők: a repülőtársaságok, a légi kikötők. Már ma is érezhető a szakemberhiány a légi közlekedés teljes vertikumában: a pilóták, a légi forgalmi irányítók, a mérnökök, a logisztikusok stb. Mindezek és a Covid-járvány kapcsán bemutatom a nemzetközi szervezetek és a saját véleményemet is azzal kapcsolatban, hogy hogyan fog lefutni a válságból kivezető folyamat a légi szállítás szempontjából.

Bevezetés

Jelen tanulmány a Covid-19-pandémia – magyarul világjárvány – kellős közepén készült Magyarországon. A kór következtében – az egészségügyi helyzeten túl – a reálgazdaság ágazataiban is kisebb-nagyobb arányú válság tapasztalható. A többi ágazathoz hasonlóan a légi közlekedés is a túlélésben bízik.

Szeretnék képet adni napjaink európai és magyar légi forgalmáról, valamint időben közelebbi és távolabbi víziót festeni róluk. Tanulmányom forrásait leginkább az Airports Council International (ACI, Repülőterek Nemzetközi Tanácsa) és az International Air Transport Association (IATA, Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség) elemzései, illetve médiaközlései teszik ki. Természetesen ezeken kívül más forrásokat is felhasználok: az Airport Regions Council (ARC, Regionális Repülőterek Tanácsa), az Eurostat és a magyar KSH-adatbázisokat, valamint az egyéb nyilvánosan elérhető információkat. Végül, de nem utolsósorban, saját korábbi projektjeimet is felhasználom jelen írásomhoz.

Tanulmányomban a légi közlekedés szűkebb értelmezésű fogalmával, azaz a légi forgalommal, a légikikötőkkel és a légi utas- és teherszállító társaságokkal foglalkozom. Ezzel szemben nem tárgyalom a légi- és űrjárműgyártással és -javítással, a léginavigáció-szolgáltatással, a légiközlekedés-biztonsággal, a légvédelemmel és a légi közlekedés környezetével kapcsolatos kérdéseket. A repülőterek, valamint az utas- és teherszállító

légitársaságok állnak az érdeklődésem középpontjában, mert ezek érzékeny és gyorsan változó keresleti viszonyok között működnek.

Írásom felépítése a következő:

- először megvizsgálom, hogy a lényeges folyamatokban milyen változások következtek be az elmúlt bő évtized alatt;
- majd a jövőre vonatkozó elképzeléseket, prognózisokat sorolom fel;
- ezt követően vizsgálom a világ, az európai, valamint a magyar és a környező országok légi forgalommal kapcsolatos helyzetét;
- ezután a jelenlegi egészségügyi világjárvány speciális következményeit mutatom be;
- külön felvázolom a magyarországi bázisú Wizz Air vonatkozó adatait, a cégnél tapasztalható változásokat és folyamatokat;
- végül levonom a következtetéseket.

A tényeket lehetőleg ábrákon, grafikonokon keresztül ismertetem meg az olvasókkal, az adatokat táblázatba rendezem.

A légi forgalom és a repülőterek

E fejezetben először a légi forgalmat és a repülőtereket mutatom be a 2008-as pénzügyi válságtól a jelenlegi egészségügyi válságig.

A légi forgalom Európában és a világban

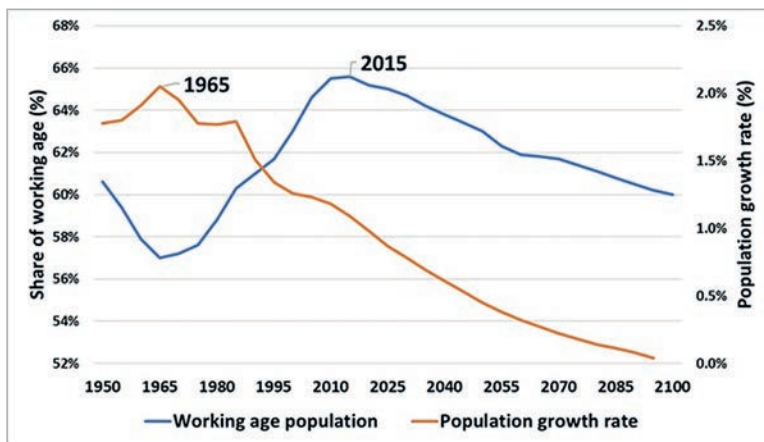
Legtöbb forrásomban az elemzők a világ egészére vázolják a helyzetet, de néhány esetben külön rámutatnak az európai sajátságokra is. Ezek sok esetben az Európa – Közel-Kelet –Távol-Kelet – Ázsia tengellyel állnak kapcsolatban.

A forgalom és tényezői 2018-ban

A közlekedés forgalmát két alapvető tényező alakulása határozza meg: a lakosság és a gazdaság változása. Közelebbről: a lakosság nagysága és a népesség korfájának szerkezete, a jövedelem összessége és a jövedelemtulajdonosok koncentrációja.

A fejlett gazdaságokban folyamatosan előregedő lakosság figyelhető meg, míg a fejlődő és feltörekvő gazdaságokban a munkaképes korú népesség aránya növekszik. Ez utóbbi piacokon a virágzó, polgárosodó középosztály érdeklődése a légi forgalom iránt gyorsan növekszik, míg az előregedő gazdaságokban sokkal mérsékeltebb az utasok számának bővülése.

Az ACI elemzése²⁷ bemutatja a Föld lakosságának növekedési rátáját és a munkaképes korú népesség arányának alakulását 1950-től (lásd 1. ábra); illetve a különböző nagy világrégiókban (lásd 2. ábra). Az elemzések a Világbanknak 2016-ban és az ENSZ-nek 2019-ben készített jelentések alapján a világ populációs kilátásait mutatják be.



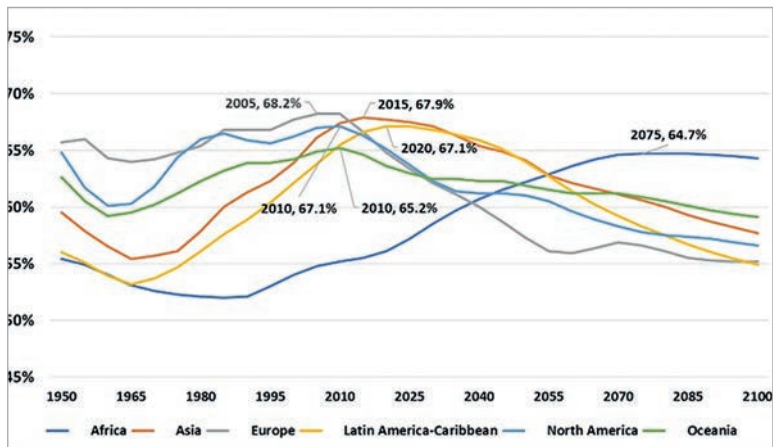
1. ábra: A munkaképes korú népesség aránya és a népességnövekedési ráta (1950–2100)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

A 2. ábrán az látható, hogy az egyes világrégiókban melyik évben és milyen aránnyal éri el a munkaképes korú népesség aránya a csúcst. Ez legkorábban Európában tapasztalható. A 15–65 éves korú népesség aránya 68,2%-ról 2005-től lassan, majd az elmúlt évtized elejétől kezdve meredeken csökken egészen 2050 körül. A mutató ehhez képest Magyarországon 3 évvel később, 2008-ban érte el a csúcst, 69,9%-kal. Nálunk az ezt megelőző időszakban a folyamat lassúbb ütemű volt. Az úgynevezett Ratkó-gyerekek (1950–1956 között születettek) ekkor váltak aktív munkaerőpiaci munkavállalókból nyugdíjassá. Magyarországon a Ratkó-unokák (1970–1979 között születettek) generációja után viszont sokkal kevesebb gyermek született, és a mutató csökkenő tendenciájúvá vált. A jelenség Európa egyéb térségeiben is megfigyelhető: a II. világháború után megszorodott a népesség, a jobb születési arányszámokat egy ideig megtartották, később azonban csökkent az egy nőre számított gyerekszülések száma. A tendenciát befolyásoló jelenség az is, hogy a gyermeket vállaló édesanya életkora a húszas éveiről egyre inkább a harmincas, sőt a negyvenes éveire tolódott ki.

Az észak-amerikai és a csendes-óceáni régióban 2010-ben, az ázsiaiban pedig 2015-ben érte el csúcst a mutató. A legmagasabb munkaképes korú népesség aránya a latin-amerikai régióban is rövidesen eléri/elérte tetőpontját, ez valószínűleg már 2020-ban bekövetkezett. Csak Afrikában növekszik ez az aránymutató egészen 2075-ig, így a viszonylag nagyobb munkaképes korú lakosság jobban teljesítő gazdaságot eredményezhet.

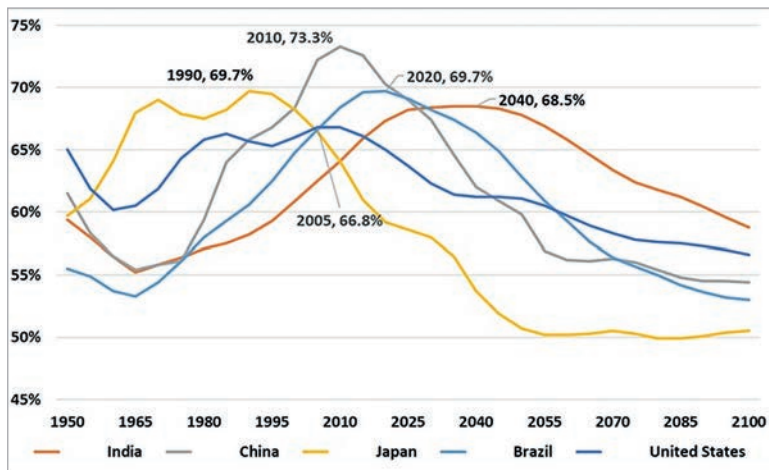
²⁷ Patrick Lucas: Demography, geography, and airport traffic. *ACI Insights*, 2019. október 3.



2. ábra: A munkaképes korú népesség aránya a régiók szerint (1950–2100)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

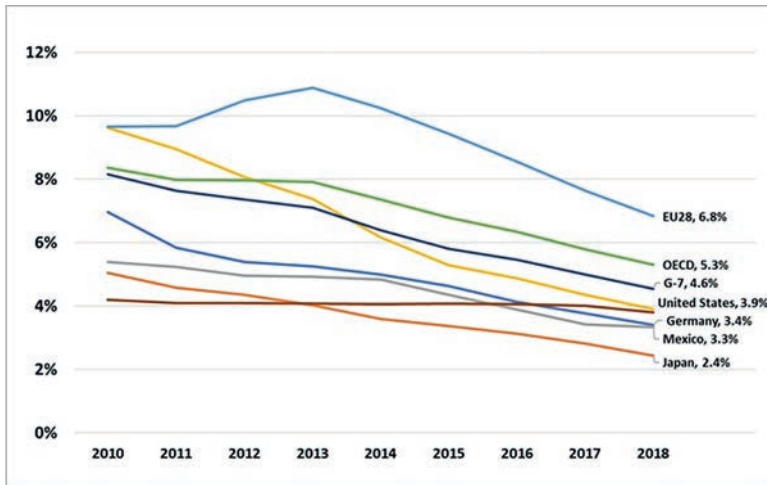
Természetesen egy-egy régió belül nem minden országban egyformán alakulnak a demográfiai viszonyok. Leginkább Ázsiában láthatók nagyobb eltérések a népesség korfaszerkezetében az egyes országok között. Japánban már az előző évezred utolsó évtizedében csúcsra ért a munkaképes korú lakosság aránya, míg Kína esetében – köszönhetően az egykepolitikának – ez 2010-ben történt meg. Indiában azonban majd csak húsz évvel később, 2040 körül lesz a legnagyobb a munkaképes korú népesség aránya. (3. ábra)



3. ábra: A munkaképes korú népesség aránya néhány kiválasztott országban (1950–2100)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

Az is látható, hogy a munkaképes korú népesség arányának folyamatos csökkenésével együtt általában csökken a munkanélküliség rátája is (4. ábra), hiszen a gazdaságoknak a munkaerő iránti kereslete változatlan, különösen a gazdasági válság után.



4. ábra: Munkanélküliségi ráta néhány országban és piacon (2010–2018)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

A fejlett és a feltörekvő piacokon megszokott, hogy a munkaerő az úgynevezett „normális” munkanélküliségi ráta felé tart, amely a megszokott munkaerőpiaci problémák miatt mutatkozik (munkaerővel, munkavállalóval szembeni nem megfelelő elvárás, átszerveződő gazdaság, munkaéletpálya-változás stb). Az alacsonyabb munkanélküliségi ráta azt is jelenti, hogy a munkavállalók, fogyasztók körében nő az üzleti bizalom, többek között a légi közlekedéssel szemben is.

A közlekedés, illetve a légi forgalom iránti kereslet nagyban az árak, a jövedelmek szintje és a társadalom jövedelmi szerkezetének függvénye. Ahol nagyobb az egy főre jutó jövedelem, és e szempontból kisebb az alsó és felső rétegek közötti különbség, ott nagyobb a kereslet a légi közlekedés iránt.

Az elmúlt 20 évben (2000–2020) az egy főre jutó jövedelem aránya folyamatosan felfelé ívelő pályán haladt a világon. A tendenciát csak a 2008. szeptember 15-én kitörő, másodlagos jelzálogkölcsön-válság törte meg, illetve az azt követő krízis, amely 2009-ben csökkentette a jövedelmeket és a keresletet. A különböző nemzetgazdaságok 2-4 év alatt lábaltak ki a válságból.

A gazdasági konjunktúrán túl jelentős előrehaladást adott a légi forgalom perspektívájához a légi közlekedés több évtizedes liberalizációja. Hatalmas előny származott a megerősödött versenyből. A légitársaságok a magtevékenységre koncentrálva tudták véghezvinni az árak lenyomását. Azt a célt helyezték középpontba, hogy az utast a lehető leggyorsabban és a legolcsóbban juttassák el úti céljához. A magtevékenységen túli szolgáltatások pedig, természetesen, légitársaságokként különböznek.

Elsősorban a „fapados” (LCC, *low-cost carrier*) társaságok célja, hogy egy repülőgépből a lehető legtöbb utast lehessen elszállítani a szűk ülésorokkal, a kisebb – még ingyenesen szállított – fedélzeten vihető kézipoggyásszal és legfeljebb egy pohár víz felszolgálásával. Viszont sok várost kapcsolnak össze közvetlenül, és a kontinensen belül csak néhány (1–3) órát repülnek.

Az IATA szerint a légi járatok egyedi várospár-összeköttetései száma megduplázódott a húsz évvel korábbihoz képest, és 2018-ig elérte a 21 ezret.¹ Ugyanakkor a szállítási költségek is csökkentek az idők során.

A forgalom és tényezői 2008–2018

A GDP az említett, viszonylag rövid pénzügyi válságot követően folyamatosan növekszik a világban. A tendenciát még a közel-keleti feszültségek sem tudják negatívan befolyásolni a térségén túli régiókban. A jövedelem a világ nagy részében emelkedik, sok feltörekvő gazdaságban egyre gazdagodik a középosztály. Az utazási költségek mérséklődnek a turizmusban. Mindezek következtében a repülési piac folyamatosan bővül, az utasok létszáma 2018-ra elérte a 8,8 milliárd főt (lásd 5. ábra). Így az előző évhez képest 6,4%-kal nőtt az utasok száma, amellyel még az előző évtizedben megfigyelhető éves átlagos növekedési ütem 5,1%-os szintjét is átlépte.² A továbbiakban Patrick Lucas és Angela Gittens írásaira alapozva mutatom be, hogyan alakult a forgalom az elmúlt évtizedben.



5. ábra: A világ utasforgalma 2008–2018 (milliárd fő, előző évvel szemben, %)

Forrás: Lucas (2019. szept.) i. m.

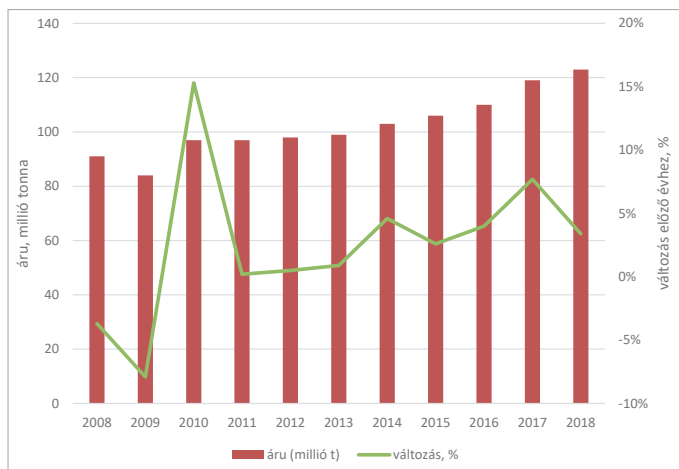
A légi áruforgalom jobban megsínyli a válságból való kilábalás elhúzódását, mint az utasforgalom. Annak ellenére is, hogy a légi áruforgalom fontos tényező a magas hozzáadott értékkel bíró, relatíve alacsony tömegű termékek körében (gyógyszer, műszer, elektronika).

¹ IATA: *International Air Connectivity Crisis Threatens Global Economic Recovery* (2020. november 25.)

² Patrick Lucas: *The high-wire balancing act – Global air transport demand in 2018 and 2019. *Acı Insights*, 2019. szeptember 6. és Angela Gittens: *In the balance: Global air transport demand in 2018 and 2019. *International Airport Review*, 2019. szeptember 11.**

kai részegységek, romló élelmiszer, parfüm stb.), az éves átlagos növekedés – az egyes években erős volatilitással – csupán 3,4% volt.

Ezzel együtt az elmúlt évtized alatt valamivel több mint harmadával bővült a teherszállítás. Mintegy 123 millió t árut szállítottak repülőgéppel 2018-ban (lásd 6. ábra). Azonban kisebb volt a növekedés üteme, lelassult a forgalom növekedési trendje, ami nem kis részben az USA és Kína közötti vámharc hatása. Végül is a világ légi áruszállításának közel felét tartja kezében ez a két ország, a világ két legnagyobb gazdasága.



6. ábra: A világ áruszállítási volumenei (2008–2018)

Forrás: Lucas (2019. szept.) i. m.

Kilátások 2019-ben és az után

A világgazdaság növekedése lelassult 2019-ben. A légi forgalom bővülési üteme is mérséklődött. Az utasforgalom csak 3,9%-kal, az áruforgalom pedig alig 3,2%-kal bővült az első félév során az előző évhez viszonyítva. A számok még rosszabbak a 2020. évre (ezeket majd a későbbiekben mutatom be). Annak ellenére, hogy a Covid-19-világjárvány a 2021. évre is átnyúlik, a hosszabb távokra készített prognózisokat meg lehet tartani. Az ACI például az átlag 4,1%-os éves növekedéssel, 20,9 milliárd fővel várja az utasforgalmat 2034-re. Ezen belül a fejlett gazdaságokban az éves átlagos növekedési ütemet 2,8%-ra, a fejlődő és feltörekvő gazdaságokban viszont 5,3%-ra jelzi előre. A légi áruszállítás évi átlagos növekedését 2,4%-ra, a légi járatok számát pedig még alacsonyabbra, 2,0%-ra prognosztizálja 2040-ig.

Néhány kockázatra is fel kell hívni a figyelmet. Elsőként arra, hogy a következő öt évben sok ország fog szembenézni a repülőterei infrastruktúrájának szűk keresztmetszetével a növekvő utasszám mellett. Több mint 200 légikikötő esetében a kereslethez viszonyítva napról napra kisebb befogadóképességgel kell számolni. A világ egyes régi-

óiban más és más a kapacitáshiány szintje. Kelet-, Dél- és Délkelet-Ázsiában a gyorsan növekvő kereslet miatt ez már valós problémát jelent.

Vannak helyek, ahol verseny folyik a csomóponti légikikötők zöld beruházásaiért, mint például Kínában. Más régiókban sokkal korlátozottabbak az építési és bővítési lehetőségek. Európában nemcsak az új repülőtér építésére korlátozódnak a lehetőségek, de további gondokat okoz a meglévő járatok zsúfoltsága is a légtérben. Az Eurocontrolra hivatkozva azt írja az ACI elemzője, hogy 2040-ben mintegy 1,5 millió gép nem fog tudni felszállni időben. Jelenleg e probléma miatt napi 50 000 utas késik, 2040-re pedig már napi 470 000 utas nem fog időben elindulni.

További kockázatot jelent a légi közlekedésben az emberi tőke. Az utas- és teherforgalommal szemben folyamatosan növekvő kereslet következménye, hogy gyorsan növekszik a repülőgépflootta, így a pilótákkal szemben is nő a kereslet. A következő tíz év során 255 000 új pilótára lenne igény. A pilóták magas nyugdíjazási rátája miatt is további 180 000 első tisztből kell kapitányt képezni. A következő tíz éven belül a mostani pilótalétszám több mint 150%-ára lesz szükség; minél előbb el kell kezdeni kiképzésüket.

A repülőterek helyzete a világban és Európában

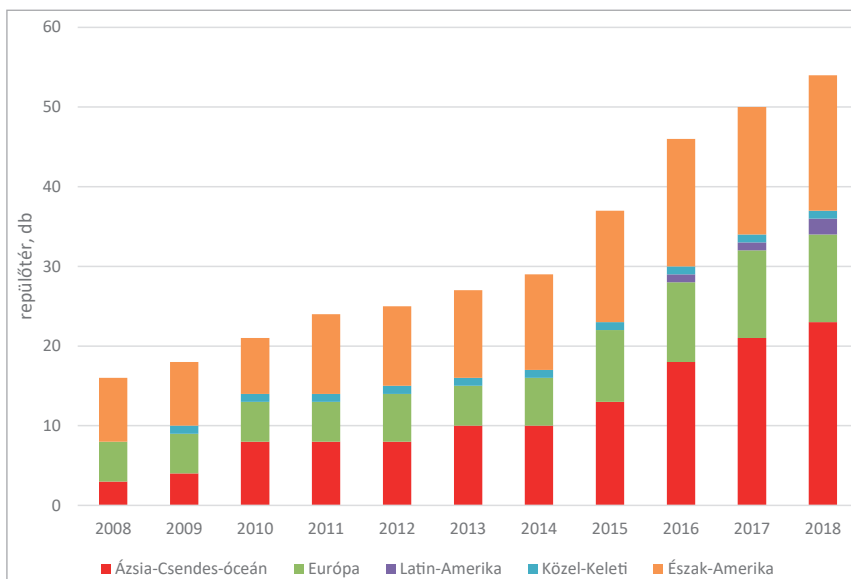
A következő részben a repülőterek forgalmának megváltozott helyzetét mutatom be a fejlődő és feltörekvő, illetve a fejlett országok között.

Nyugatról Keletre települ át a központ

A forgalom megváltozásához szorosan hozzátartozik a repülőterek állapota és egymáshoz viszonyított helyzetük, illetve az utas- és áruforgalom megnövekedése. A fókuszunkba tartozó légikikötőket az ACI elemző munkatársai mutatják be.³ A világ nagy csomópontjai (hub-ok) nagy lépéseket tesznek előre. Az előző évtizedben azt látjuk, hogy 2008-ban csak 16 évi 40 milliónál több utast kiszolgáló légikikötő volt, ám 2018-ra már 54-re emelkedett a számuk. Az ázsiai-csendes-óceáni régióban, ahol sok feltörekvő piac található, a legnagyobb hub-repülőterek száma 23-mal növekedett. A régió utasforgalma 2018-ban már 42%-át tette ki a világ forgalmának. Az észak-amerikai 17 nagy csomópont 2018-ban az összes forgalom 31%-ából részesedett. A harmadik lényeges régióban, Európában pedig 11 nagy hub⁴ található (7. ábra), amelyek a forgalom 20%-át adták.

³ Patrick Lucas – Aram Karagueuzian: The eastward shift and the world's fastest-growing airports. *Acı Insights*, 2019. október 9.

⁴ Gyűjtő-elosztó repülőtér.



7. ábra: 40 milliós éves utasforgalommal bíró repülőtér száma régiók szerint (2008–2018)

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. okt.) i. m.

A világon leggyorsabban növekvő repülőterek

A világon leggyorsabban növekvő repülőterek közül a legtöbb a feltörekvő piacon, főként az ázsiai-csendes-óceáni régióban van. A 2008–2018 közötti időszakban a 30 leggyorsabban bővülő repülőtérből 23 légikikötő az ázsiai-csendes-óceáni régióban, ebből 7 Kínában, 5 pedig Indiában található. A Suvarnabhumi Airport (BKK) megnyitása után a bangkoki Don Mueang repülőtér (DMK) forgalma is jelentősen növekszik, elsősorban az LCC társaságok ellátását szolgálva. Az LCC-utasforgalomból a legnagyobbal dicsekvő DMK évi 23,2%-kal növekedett ebben az időszakban (1. táblázat).

1. táblázat: Top 5 leggyorsabban növekvő repülőtér, évi 15 millió utasnál több átlagos növekedési ütemmel 2008–2018 között

Helyezett	Város, ország	Kód	Utas, 2018	Évi átlagos növekedés 2008–2018,%	Régió	Világranglista helyezés, utas
1.	Bangkok, Thaiföld	DMK	40 757 935	23,2%	Ázsia–Csendes-óceán	54
2.	Isztambul, Törökország	SAW	34 058 917	22,8%	Európa	63
3.	Surabaya, Indonézia	SUB	20 950 983	17,3%	Ázsia–Csendes-óceán	123
4.	Csengcsou, Kína	CGO	27 334 730	16,6%	Ázsia–Csendes-óceán	83
5.	Muskat, Omán	MCT	15 415 985	14,4%	Közel-Kelet	155

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. okt.) i. m.

A légi áruszállításban a Cincinnati/Northern Kentucky International Airport (CVG) hatalmas, 41,0%-os éves átlagos növekedési ütemet mutatott 2008–2018 között. A hubot az Amazon e-kereskedőóriás választotta ki légi áruforgalma lebonyolításához, és együtt fejlődtek. További nagy bővülést mutatott fel a Csengcsou (CGO), a Hanoi (HAN), a Doha (DOH) és az Isztambul (ISL) cargo központok, amelyek jelentős mértékben foglalkoznak áruszállítással. Fontos tény, hogy a 30 leggyorsabban növekvő repülőtérből 20 az ázsiai-csendes-óceáni régióban található, közülük 10 Kínában van.

2. táblázat: Top 5 leggyorsabban növekvő repülőtér, évi 250 000 tonna légi áruszállításnál több évi átlagos növekedés (2008–2018)

Helyezett	Város, ország	Kód	Áru, 2018; tonna	Évi átl. növ. 2008–2018, %	Régió	Világranglista helyezés, áru-tonna
1	Cincinnati, OH USA	CVG	1 125 877	41,0%	Észak-Amerika	27
2	Csengcsou, Kína	CGO	514 922	23,1%	Ázsia–Csendes-óceán	60
3	Hanoi, Vietnám	HAN	728 414	18,0%	Ázsia–Csendes-óceán	42
4	Doha, Katar	DOH	2 198 308	17,3%	Közel-Kelet	11
5	Isztambul, Törökország	ISL	1 318 137	13,9%	Európa	24

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. okt.) i. m.

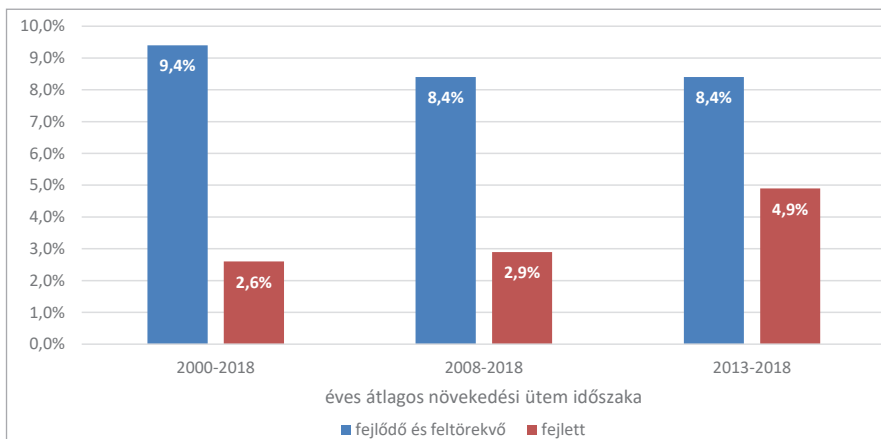
A feltörekvő piacok elfoglalják a teret a fejlett gazdaságokkal szemben

A folyamatra az ACI két elemzője mutatott néhány igen fontos adatot.⁵ Az utasforgalom évi 5,8%-os átlagos növekedése világszinten figyelemre méltó a 2008–2018 közötti évtizedben. Jelentős növekedési különbség található azonban a különböző régiók között, különösen a feltörekvő és a fejlett gazdaságok repülőterei esetében. Észak-Amerika és Európa érett piaci szerény növekedési szinteket mutatnak, míg a főbb feltörekvő gazdaságok évről évre nagyobb utasforgalom-növekedést könyvelhettek el.

Az ezredfordulótól 2018-ig a fejlett gazdaságok és a feltörekvő piacok légikikötői éves szinten 2,6%-os, illetve évi 9,4%-os növekedést regisztráltak (8. ábra). Az olyan feltörekvő piacon, mint Kína, a ciklus lassulás nem eredményezett alacsonyabb bővülési ütemet az utasforgalomban. A feltörekvő piacokon a légi forgalom növekedése stabilizálódott a 8,4%-os ütemmel évről évre.

A diszkont légitársaságok üzleti modelljének széles körű elfogadása a lakosság nagy részének megfizethető hozzáférést biztosított a légi közlekedéshez. A főbb fapados fuvarozók – például a Ryanair, az EasyJet és a Wizz Air Európában, az Egyesült Államokban a Southwest Airlines, a délkelet-ázsiai AirAsia – agresszívan bővítették a menetrend szerinti férőhelyeket azért, hogy kielégítsék a légi utazások iránti igényeket, különösen a rövid és a közepes távolságokon. Ennek hatására a fejlett és a fejlődő országokban a légi utasforgalom nagysága egyre jobban közelít egymáshoz.

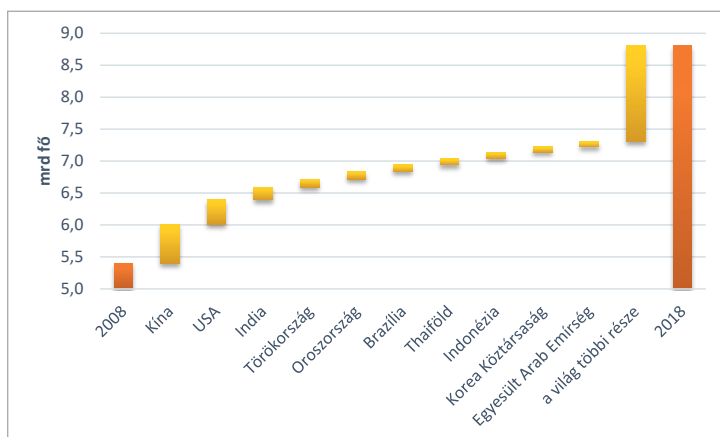
⁵ Patrick Lucas – Aram Karagueuzian: A glimpse at emerging markets. *Acı Insights*, 2019. szeptember 26.



8. ábra: Az évi átlagos növekedési ráta az utasforgalomban – a feltörekvő és a fejlett gazdaságok egymással szemben (2000–2018)

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.

Kína volt a vezető hozzájáruló az utasforgalom globális növekedéséhez 2008 és 2018 között. A kínai repülőterek az összes utasforgalom növekedésének 18,1% -át tették ki. Ezt követi az USA és India, amelyek részesedése 11,1%-ot, illetve 5,9%-ot mutat fel. Törökország 3,7%-kal, Oroszország 3,4%-kal járult hozzá a növekedéshez ugyanebben az időszakban. A TOP 10 ország a globális utasforgalom-növekedésnek több mint a felét (55,9%) adja. A 2008. évi 5,4 milliárd főről 2018-ra évi 8,8 milliárd főre bővült a világ légi utasforgalma (9. ábra).

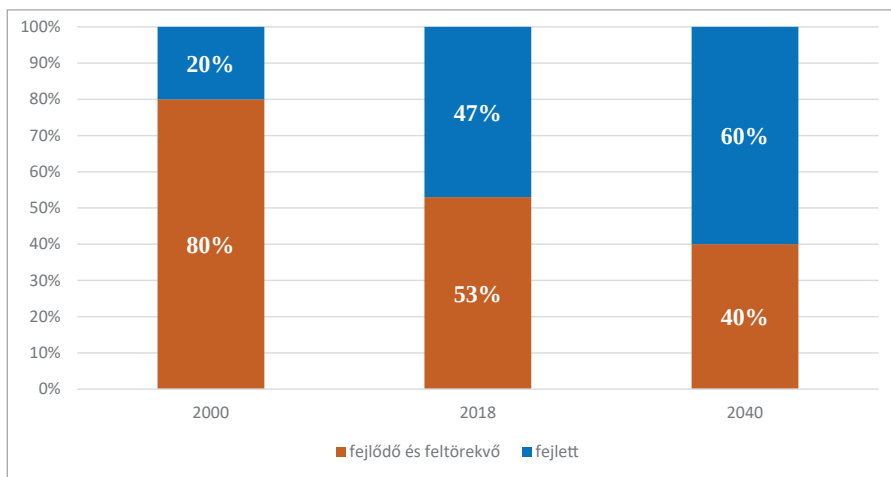


9. ábra: Hozzájárulás a globális utasforgalom növekedéséhez a főbb országok által (2008–2018)

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.

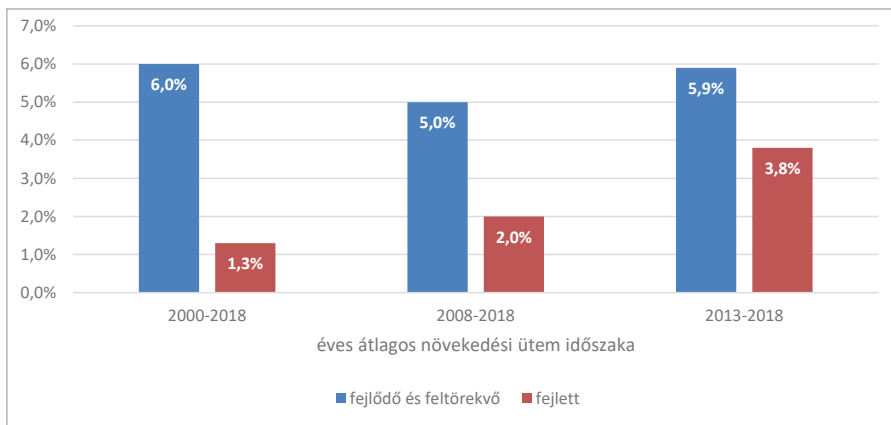
Nyugat-Európa és Észak-Amerika érettebb piacai más régiók új hub-repülőtereinek adják át a teret. A feltörekvő és fejlődő országok adják a világ népességének több mint 85%-át,

míg a világ kibocsátásnak fele a fejlett gazdaságokból származik. 2000-ben a feltörekvő és a fejlődő piacok közé sorolt országok a világ utasforgalmának 20%-át bonyolították le. A globális utasforgalomból a feltörekvő piacok országainak részaránya 47%-ra nőtt 2018-ra. 2040-re a jelenleg feltörekvő és fejlődő gazdaságok országai az összes utasforgalomnak már 60%-át fogják adni. (10. ábra)



10. ábra: A globális utasforgalom aránya – a feltörekvő és a fejlett gazdaságok viszonyában (2000–2040)

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.



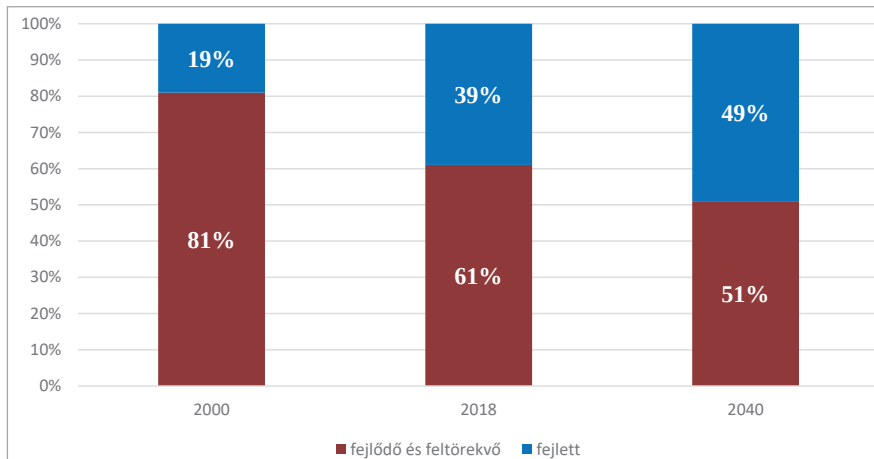
11. ábra: Az évi átlagos növekedési ráta a teherforgalomban – a feltörekvő és a fejlett gazdaságok viszonyában (2000–2018)

Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.

2012 után az erős kereslet a világ gazdaságban meglódította a légi áruszállítást is. Hasonló sémát látunk az áru fuvarozás bővülésében, mint az utasforgalomban. A légi áruszállítás viszonylag egyenletesen, ráadásul a fejlett piacoknál jóval gyorsabban növekedett a fejlődő és feltörekvő piacokon. A fejlett gazdaságok piacain azonban a gazdasági-pénzügyi

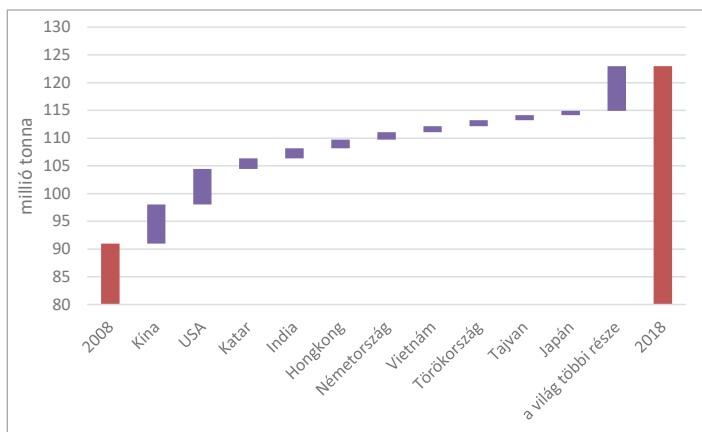
válságot követő időszakban gyorsabb ütem volt tapasztalható. (11. ábra) Hosszabb távon valószínűleg vissza fog állni a korábban látható lassabb bővülési ütem.

A feltörekvő piaci repülőterek által kezelt légi áru a 2000-es 19%-ról 2018-ra a világ árumennyiségének 39%-ára ugrott (12. ábra), s 2040-re ez az arány várhatóan 49%-ra nő.



12. ábra: A globális teherforgalom aránya – a feltörekvő és a fejlett gazdaságok viszonyában (2000–2040)
Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.

Mivel Kína a világ egyik legnagyobb exportőre és emellett gyorsan növekvő a gazdasága, nem meglepő, hogy 2008 és 2018 között éppen ez az ország volt a legnagyobb hozzájáruló a légiáru-mennyiség növekedéséhez. Az Egyesült Államok a második legnagyobb mértékben járult hozzá a világ légi áruszállításának növekedéséhez. Ezt a növekedést főként a belföldi áru fuvarozás hajtotta 2017-ben és 2018-ban. A 2008 és 2018 közötti növekedéshez való hozzájárulás országokénti megoszlását a 13. ábra mutatja.



13. ábra: Hozzájárulás a légi áruforgalom növekedéséhez a főbb országok részesedése szerint (2008–2018)
Forrás: Lucas–Karagueuzian (2019. szept.) i. m.

Kína a teljes növekedés 22%-át adta ebben az időszakban. Ezt az Egyesült Államok (20%), Katar (5,9%), India (5,7%) és Hongkong (4,9%) követte. Az első öt közreműködő ország az összes légi árufuvarozás együttes növekedésének 58,5%-át tette ki. A teljes, 32 millió t-s áruszállítás növekedésének $\frac{3}{4}$ -ét (74,8%) a TOP 10 ország adja. Az áruforgalom a 2008. évi 91 millió tonnáról a 2018. évre 123 millió tonnára bővült.

A forgalom földrajzi koncentrációja

Amint azt a 14. ábra mutatja, Nyugat-Európa, Kína, illetve az USA keleti partján tömörül a legtöbb repülő. Ezekben a térségekben is működnek csomóponti légikikötők, de az előbb felsoroltakon kívül még néhány további megállapítás tehető.



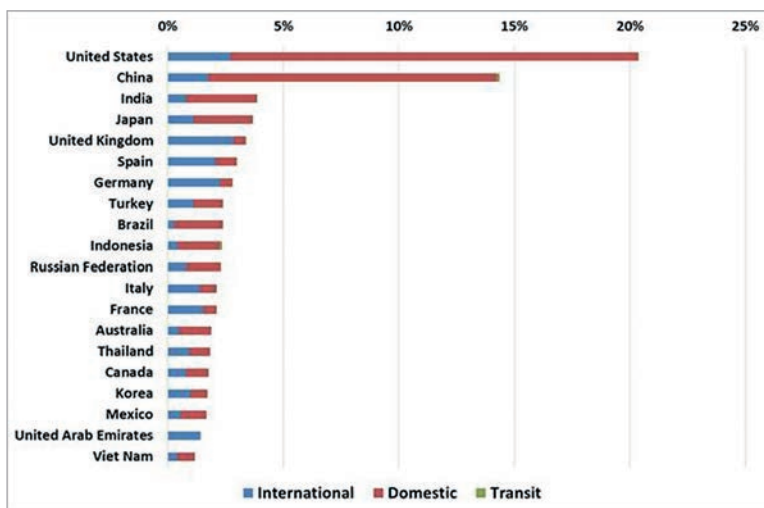
14. ábra: A főbb csomóponti (hub-) repülőterek és a közöttük lebonyolított repülőforgalom

Forrás: Guillaume Rodier: Projections for international and domestic passenger traffic at airports. *Acı Insights*, 2019. október 31.

Ezek a hubok a periferiális Dél-Amerika, Dél-Afrika és Ausztrália régiókba érkezők, illetve az onnan indulók számára osztják szét a főbb utazási célpontok felé a járatokat. A nagyon zsúfolt légtér közelében kvázisubhubok működnek például Dél- és Észak-Európában. S végül, de nem utolsósorban olyan csomópontok is vannak, amelyek az Európa–

Távol-Kelet–Ázsia nagy távolság közé ékelődő hublégitársaságok: Közép-Kelet-Európában, a Közel-Keleten és Dél-Ázsiában.

A korábbiakban említett ACI-elemzés⁶ megmutatja azt is, hogyan koncentrálódik a repülőforgalom földrajzi tekintetben. 2018-ban két nagy ország viszi el a világ légi forgalmának egy harmadát. Az Egyesült Államok és Kína a világ teljes összforgalmának 34,7%-át tette ki, amelyet India, Japán és az Egyesült Királyság követ, összesen 11,0%-kal (körülbelül azonos arányban). Ha a következő két legnagyobb piac – Spanyolország és Németország, amelyek 3,0%-os, illetve 2,8%-os forgalomrészesedésekkel rendelkeznek – szintén szerepelnek, ez a szám 51% fölé emelkedik a hét legnagyobb piaccal. A legnagyobb 20 ország kezelte a légi utasforgalomból a világforgalom 76,5%-át. (15. ábra)

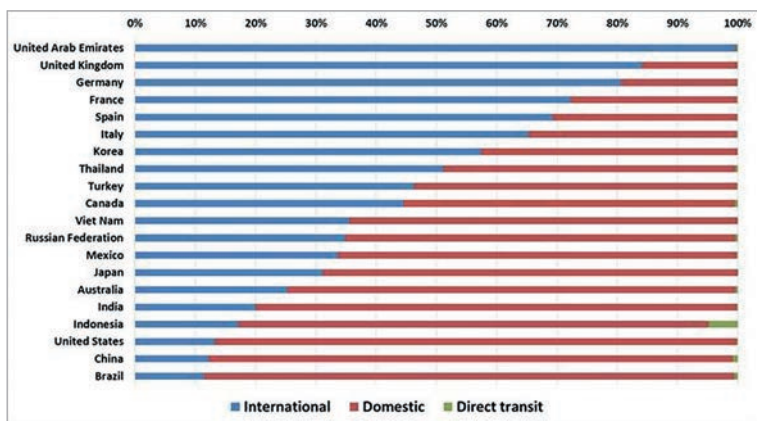


15. ábra: Az utasforgalom országokénti koncentrációja a globális összforgalomból, százalékban – TOP 20 (2018)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

A TOP20 piac közül az Egyesült Királyságban van a legtöbb nemzetközi utas, míg az Egyesült Államok rendelkezik a legnagyobb hazai piaccal. Dubai, az Egyesült Arab Emírségek központja a nemzetközi transzferutasok egyik fő piaca. (16. ábra)

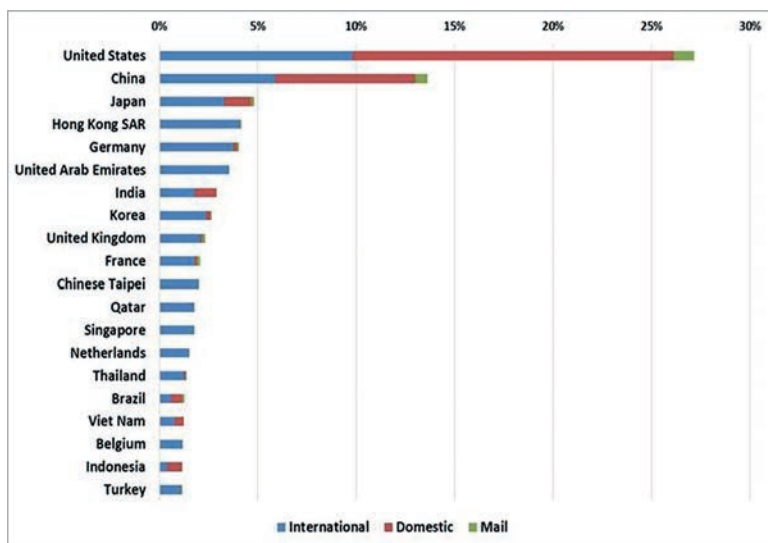
⁶ Lucas (2019. okt.) i. m.



16. ábra: Az utasforgalom megoszlása – TOP 20 (2018)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

Az utasforgalomhoz hasonló a helyzet a légi áruszállításban. (17. ábra) A világ legnagyobb légi piaca az Egyesült Államok (27,2%), amelyet Kína követ (13,6%). Hozzáadva a hongkongi mintegy 4%-ot a két ország már a világ teljes légi áruszállítási piacának mintegy 45%-át teszi ki. 2018-ban az áruszállítás TOP 20 országa már az összes mennyiség 81,8%-át kezelte.

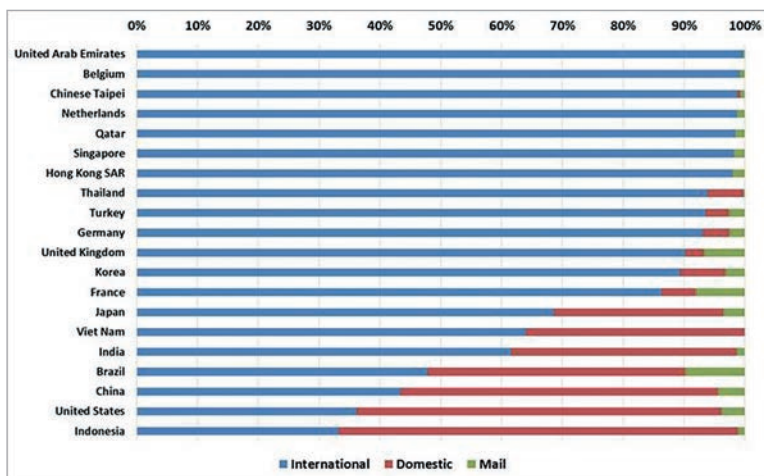


17. ábra: A légi áruforgalom országokénti koncentrációja a globális összeforgalom százalékában, TOP 20 (2018)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

A teljes légi áruszállítás több mint 2/5-e az ázsiai régióban jelentkezett, bizonyítva a világkereskedelemhez való hozzájárulásukat. A 18. ábra a légi áruszállítás forgalmá-

nak megoszlását mutatja. Látható, hogy a két nagy légi áruszállító esetében az összes forgalomnak több mint a felét saját, belső piaca adja. A nagy áruszállító országok közül még Brazília, India, Indonézia, Japán és Vietnám esetében karakteres a belső áruszállítás. A többi országban a nemzetközi légi áruszállítás a meghatározó.



18. ábra: A légi teherforgalom megoszlása – TOP 20 (2018)

Forrás: Lucas (2019. okt.) i. m.

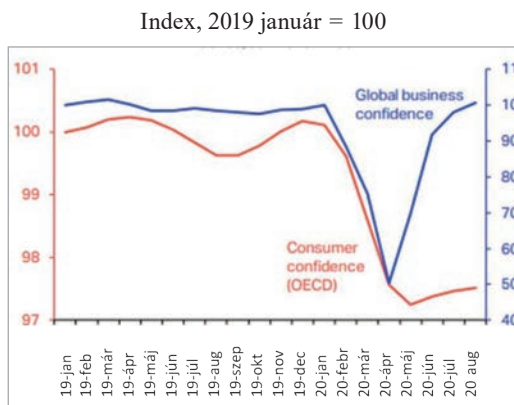
A globális kereslet a légi közlekedésben 2020-ban

Az IATA havonta publikálja a légi utas- és áruforgalommal kapcsolatos elemzéseit.⁷ Az augusztusig feldolgozott adatok, információk 2020. szeptember 29-én álltak rendelkezésre. Megállapították, hogy „a kereslet fő mozgatórugói továbbra is vegyes eredményeket mutatnak”. Leszögezik, hogy „a globális gazdaság második negyedéves GDP-eredményei megerősítették a világjárvány súlyos hatását”. A GDP 2020. második negyedéve alatt mintegy 9%-kal csökkent 2019. második negyedévéhez képest. A csapás úgy érzékeltethető, hogy ez mintegy háromszor nagyobb és gyorsabb visszaesés volt, mint annak idején a pénzügyi válság „legrosszabb” negyedévében. Ráadásul a munkanélküliségi ráta is sok országban magasabb. Ugyanakkor úgy tűnik, hogy talán gyorsabb lesz az úgynevezett „utolérési időszak” is. (Egy válság után két ciklusban rendeződnek a gazdasági növekedési folyamatok. Az elsőben, a válság mélypontjától a válság előtti szintig nagyon gyors a növekedés. Majd a másodikban, még szintén viszonylag gyors ütemű a növekedés a hosszú távon megfigyelhető trend szintjéig. Végül ettől az időponttól az adott gazdasági folyamat a „megszokott”, normális növekedési rátával folytatja tovább.)⁸

⁷ Air Passenger Market Analysis – August 2020; IATA 2020. szeptember és Air Cargo Market Analysis – August 2020; IATA 2020. szeptember.

⁸ Jánossy Ferenc: *A gazdasági fejlődés trendvonalai és a helyreállítási periódusok*. Budapest, KJK, 1966.

Az (világ) üzleti bizalom index azt mutatja, hogy a második szakasz végére elkezd helyreállni a gazdasági tevékenység. A fogyasztói bizalom index azonban csak később és sokkal lassabban kezd növekedni, és még mindig igen alacsonyan mozog. (19. ábra)

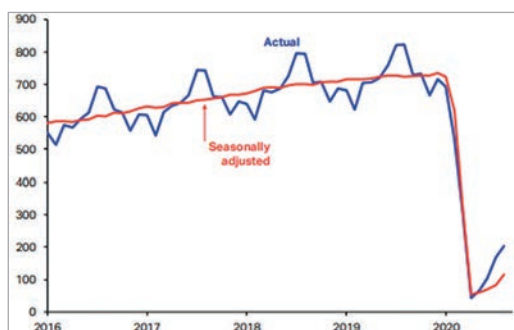


19. ábra: Az üzleti bizalom (az összetett üzleti bizalmi indexek havi adatai) és a fogyasztói bizalom

Forrás: IATA Economics, a Markit és a Thomson Reuters Datastream adatait felhasználva

Az utasok iránti kereslet enyhén nőtt augusztusban

A légi utasok száma továbbra is emelkedik a 2020. áprilisi mélyponthoz képest, de a javulás üteme lassú. Az utaskilométer (utaskm) 79,5%-os zuhanást mutatott júliusban az előző évihez viszonyítva, a csökkenés augusztusban már „csak” 75,3%-os volt. A szezonálisan kiigazított volumenek szintén magasabbak augusztusban, mint júliusban, de a közelében sincsenek a Covid-19-járvány előtti szintnek. (20. ábra)

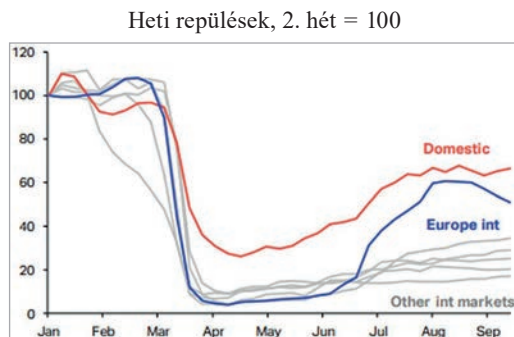


20. ábra: Utasforgalom tényleges és szezonálisan igazított adatai 2016–2020

Forrás: IATA: Air passenger monthly analysis. (2020. szeptember)

A belföldi piacok felülmúlják a nemzetközi utasforgalmat

A belföldi piacok továbbvitték az utasforgalom bővítését, azonban a világjárvány miatt sokkal kisebb mértékben. Voltak olyan országok is, ahol visszafordították a helyreállítást a járvány előtti szintig, köztük Vietnám, Dél-Korea és Japán. Európában pedig a 2020. június közepén lazított rendelkezések (olcsó/kényelmes betegségtesztelés és a kötelező karanténok hiánya) miatt gyorsan növekedett a forgalom. Ehhez járult a szokásos nyári iskolai szünidő és a szabadságolás is. Azonban a gyorsan növekedő fertőzési esetszámok miatt ismét az látható a heti repülőgépmozgásokból, hogy csökkent szeptemberben az utasforgalom. (21. ábra)



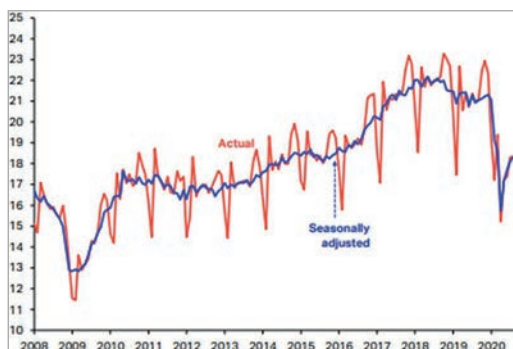
21. ábra: Belföldi és nemzetközi járatok, hetente 2020

Forrás: IATA Economics elemzés a FlightRadar 24 engedélyével szolgáltatott adatokon alapul.

A légi teherforgalom továbbra is gyengébb, mint 2019-ben

A légi teherszállítás 2020 augusztusában lassan tovább javult. A teljes légi áruszállítás áru tonnakilométerben számítva 12,6%-kal esett vissza augusztusban éves szinten, szemben a júliusi 14,4%-kal. A szezonálisan kiigazított mennyiségek gyengén emelkedő tendenciát mutatnak, de messze a 2019-es szint alatt maradnak. Annak ellenére, hogy az 2019. augusztus „puha” hónap volt a világkereskedelmi feszültségek közepette, a légi teherszállítás iránti kereslet továbbra is messze volt 2020 augusztusában az előző évi szinttől. A szezonálisan kiigazított áru tkm-ek a négy egymást követő hónapban emelkedtek (1,1% havonta), így augusztusban is. A javulás üteme azonban az idő múlásával újra lassult a május havi 8,8%-os emelkedéshez képest. (22. ábra)

Havi áru-tonnakilométer (mrd/hó)



22. ábra: Áruforgalom tényleges és szezonálisan kiigazított adatai, 2008–2020

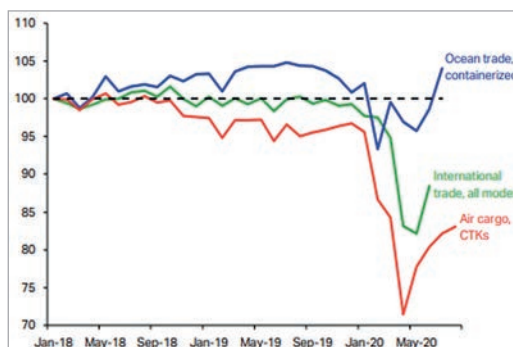
Forrás: IATA Economics, IATA havi statisztikák, július.

Lehet, hogy a légi áruk szokásos csúc szezonja a következő hetekben kezdődik. A gazdasági aktivitás egyes mutatóiban megfigyelt viszonylag erőteljes fellendülés valószínűleg továbbra is támogatja a keresletet. A termékbevezetések szintén hozzájárulhatnak az erősebb év végéhez.

A légi teherforgalom lassan helyreáll az elégtelen kapacitás közepette

A légi áruszállítás iránti kereslet bővülése lassú volt májusban. Az egyik magyarázat az, hogy a válságok kezdetén a szállítványozók az olcsóbb, de lassúbb tengeri szállításhoz fordulnak. Akkor kezd növekedni a légi áruszállítás részesedése, amikor a fellendülés kezdetén megtöltik a készleteket. A jelenséget a 23. ábra jeleníti meg, azonban a legfrissebb adatok (világkereskedelem, június) nem mutatják még egyértelműen a légi közlekedés piaci részesedésének javulását.

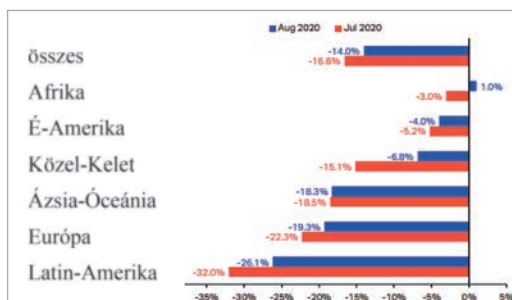
Volumenek, 2018. január = 100



23. ábra: A légi közlekedés piaci részesedése a világkereskedelemben (piros)

Forrás: IATA Economics az IATA Statistics, Holland CPB, RWI / ISL adatainak felhasználásával

A gazdasági aktivitás mutatói erőteljes fellendülés jeleit mutatták az elmúlt hónapokban. Annak ellenére, hogy a Covid-19-járványnak globálisan új esetei jelentkeznek. A rakomány mennyiség fellendülése lassabb volt, mint az említett mutatók alapján várták. Ez főleg azért van, mert a légi teherkapacitás mértéke továbbra sem elegendő, áru tonnakilométerben számítva 29,4%-kal csökkent.



24. ábra: Nemzetközi árutkm-csökkenés 2020 július-augusztusban 2019-hez viszonyítva

Forrás: IATA Economics, IATA Monthly Statistics

A repülőgépek szállító rakodóterének nemzetközi befogadóképessége továbbra is szűkös volt, mert az utasforgalom járatainak száma csökkent. Hiába volt közel 11 órás a széles törzsű teherszállítók napi kihasználtsága, ez kevésnek bizonyult. A légitársaságok nem tudták annyira megnövelni a teherszállítás kapacitását, mint amennyire szükségük lett volna. Egyes piacokon, ahol korábban a teherszállítás legnagyobb részét utasszállítók végezték, küzdöttek, hogy a szabad légi járművek utas nélkül is elvigyék az árut. (24. ábra)

Az ACI előrejelzései 2040-ig

A World Airport 2019–2040 előrejelzések (World Airport Traffic Forecasts 2019–2040), illetve az ACI egyik elemzőjének írása⁹ szerint a belföldi utasforgalom hosszú távú évi átlagos növekedési üteme 3,4%. A belföldi légi utasforgalom növekedése nagyrészt az ázsiai, csendes-óceáni, a latin-amerikai, karibi térségből és Észak-Amerikából származik, ezek együttesen adják a belföldi terjeszkedés több mint 90%-át. Az utasforgalom általános növekedése azonban elsősorban a nemzetközi forgalomból származik, ami az előrejelzések szerint éves szinten 4,2%-os ütemben fog bővülni a következő 22 évben.

A következő húsz év alatt az USA jelenleg legnagyobb légi utasforgalma átadja a helyét Kínának. India teljesítménye is kiemelkedő. Ez utóbbi, valamint Indonézia, Törökország és Oroszország piaca csak az utóbbi évtizedben jelentkezett be a TOP 10 országok körébe. Ugyanakkor elvesztette helyét a rangsor elején Olaszország, Franciaország és Ausztrália, majd a következő évtizedben Németország is. (25. ábra)

⁹ Rodier (2019) i. m.

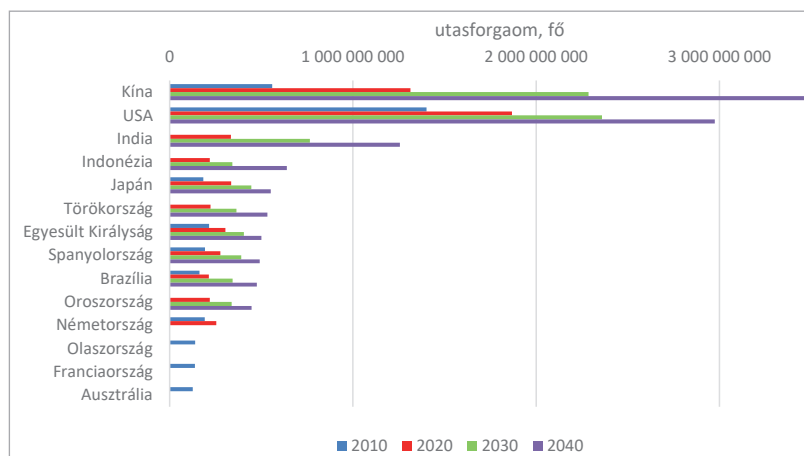
2018-ban a nemzetközi forgalom a világ teljes forgalmának 41,1%-át tette ki, míg a belföldi forgalom 58,2%-át. A nemzetközi és a belföldi utasforgalom előrejelzett növekedése nem minden ország piacán és régiójában egyenletes.

3. táblázat: Hozzájárulás a világ összes utasnövekedéséhez (%) (2018–2040)

Területek	Összesen	Nemzetközi	Belföldi
Világ összesen	100	49	51
Fejlett gazdaságok	33	21	12
Feltörekvő és fejlődő gazdaságok	67	28	39

Forrás: Rodier (2019) i. m.

Az egyik legfontosabb tény, hogy az előrejelzések szerint a fejlett gazdaságokban az utasforgalmak növekedésének csaknem kétharmada a nemzetközi forgalomból származik. Ezek azok az országok, amelyek már fejlett belföldi piacokkal rendelkeznek, valószínűleg több lehetőséget teremtenek a külföldi terjeszkedésükre. Mindazonáltal mind a nemzetközi, mind a belföldi forgalom jelentősen növekedni fog a feltörekvő gazdaságokban. Az előbbi és az utóbbi piaci szektor a világ utasforgalom-növekedésének 28%-át, illetve 39%-át képviseli. Várható, hogy hosszú távon a nemzetközi forgalom felzárkózik a belföldi forgalomhoz. A feltörekvő gazdaságok terjeszkedése a légi közlekedési piacon a fejlett országok nemzetközi utasszám-növekedését is elősegíti, hozzájárulva a nemzetközi utasforgalom tartós bővüléséhez világszerte.



25. ábra: A legnagyobb légi forgalmú országok 2010–2040

Forrás: Rodier (2019) i. m.

A nemzetközi utasok száma növekedésének három legnagyobb hozzájárulója az ázsiai-csendes-óceáni, az európai és a közel-keleti régió lesz. A közel-keleti útvonaltervek nagy része erősen kapcsolódik a két másik régió által kínált utakhoz. Közelebbről megvizsgálva az Európára, Ázsia-Csendes-óceánra és a Közel-Keletre tervezett összes utasszám-nö-

vekedést azt látjuk, hogy 2040-re e három régió összértéke 4,3 milliárd nemzetközi utassal nő. Közülük 649 millióan a Közel-Keletre utaznak, ami azt jelenti, hogy a régió hozzájárulása az eurázsiai-óceáni növekedéshez 15,1%-ot tesz ki. Ez összhangban van a régióban előrejelzett magas növekedéssel, amely a 22 éves periódus alatt 5,4%-os évi átlagos növekedési ütemet fog elérni, és meghatározza a helyét, mint kulcs csomópont.

Mi jelenthet új korszakot a légi közlekedésben?

Az *Aeronautics* nevű online periodika szerkesztősége néhány fontos jelenségről közölt publikációt¹⁰ 2020 januárjában. Arra keresték a választ, hogy milyen az új évtized kezdete, és milyen lehet egy új korszak a légi közlekedésben. Az elmúlt tíz évben számos változás történt a légi közlekedésben a légitársaságok csődjétől kezdve az ingadozó üzemanyagárakon át az olcsó légitársaságok térnyeréséig, valamint az utazók és a fogyasztók prioritásainak és elvárásainak megváltozásáig.

A pilóták előregednek, a légi utazások iránti kereslet azonban világszerte növekszik – az ipar szakértői azt jósolják –, hamarosan globális hiány lehet pilótákból. Sok kereskedelmi légitársaság a katonaságtól szerzi pilótáját, ám a jelenlegi kínálat nem elegendő az egyre növekvő kereslet kielégítésére. Magyarországon erre nincs lehetőség. Teret kell biztosítani annak, hogy a sportrepülést kedvelő fiatalok – fiúk és lányok – megismerkedhessenek a légitársaságok pilótáinak életével. Így kedvet kapjanak ehhez a foglalkozáshoz.

A *Bloomberg* arról számolt be, hogy egyre több légitársaság kínál az utazók számára *premium economy* helyeket, amelyek több helyet biztosítanak az utasoknak, jobb étkezést és nagyobb videoképernyőket nyújtanak. Egyre több utas hajlandó kicsit többet kiadni a plusz szolgáltatásokért, amelyek azonban nem jelentenek túl sok költséget a társaságnak, a profitabilitás szintje megmarad. A globális középosztály és az útvonalak elérhetőségének bővülése a légi utazások számának növekedéséhez vezetett. A Nemzetközi Légi Közlekedési Szövetség (IATA) szerint az utasok száma 2037-ben valóban megduplázódhat, 8,2 milliárdra. A légi utasok számának növekedése támogathatja több mint 100 millió új munkahely születését (repülőgép-szerelők, pilóták, légitársaságok vezetői, alkalmazottai stb.). Az IATA azonban arra figyelmeztet, hogy e fellendülés támogatása érdekében a kormányoknak és a légitársaságoknak együtt kell működniük a megfelelő infrastruktúra kialakításának biztosításában.

Az elmúlt egy-két évtizedben Ázsia a légi közlekedés globális „erőműveként” nőtt fel, és ez a tendencia a következő években folytatódik. Az IATA előrejelzi, hogy a 2037 előtti években 1 milliárd új utas érkezik Kínából, 414 millió új utas Indiából, 282 millió új utas Indonéziából és 116 millió új utas Thaiföldről.

¹⁰ Szerkesztőség: Aviation Industry Trends for 2020. *Aeronauticsonline*, 2020. január 7.

Európában és Magyarországon

A következő fejezet elsősorban a repülőterekre fókuszálva mutatja be a légi közlekedést. Először arra mutat rá, hogy a 2008–2012 közötti időszakban kis forgalmú repülőterek tűntek el az európai légi térképről. Nagy valószínűséggel a kereskedelmi repülőtér kategóriából az általános repülőtér fogalomkörbe kerültek át. Ezután megmutatom, hogy áll a helyzet a légikikötőkkel Magyarországon és a környező országokban.

Amit az európai repülőterekről a nagy kelet-közép-európai bővítés után tudhatunk

Az Eurostat adatbázisában 846 repülőtér található, amelyekhez még 4 magyarországi repülőtér adatait adtam hozzá. 514 repülőtér még ma is átadja adatait az Eurostatnak. A további 336 repülőtér közül 114-ről nagy valószínűséggel azt mondhatom, hogy bezárt, vagy visszakerült a katonai légi bázisok körébe. 78 közülük az általam elemzett 2004-től kezdődő időszakban még működött. A 2008-as válság ideje után, 2010-ben sok bezárt, vagy azóta nincs adat (107 repülőtér) róluk. További 215 légikikötőről csak szórványosan, vagy éppen semmilyen adatot nem szolgáltatnak. Az Eurostat közli 48 törökországi repülőtér utasforgalmi adatait is 2012 óta.

Az adatokat folyamatosan adó 514 repülőtér közül a legtöbb – 444 légikikötő – polgári jellegű szolgáltatást nyújtott már a 2004-es nagy kelet-európai bővítés idején. A körbe azóta újonnan bekerült 24 repülőtér Európából, valamint 2 Magyarországon található repülőtér adatai is folyamatosan kereshetők az Európai Statisztika adatbankban.

A Kelet-Közép-Európában található 7 új légikikötőből 4 repülőtér Lengyelországban fekszik. Ezek közül három mintegy 300 000-400 000 fős évi forgalmat bonyolított le a kezdeti évek során (Rzeszow 2007-ben, Łódź 2008-ban és Lublin 2013-ban). Kettőben folyamatosan növekszik az utasforgalom, a łódzi reptéren csökken. A legújabban megnyitott lengyel repülőtér Modlinban már 2014-ben túlszárnyalta az 1 milliós forgalmat.

Az újonnan megnyitott légikikötők alapvetően a fapados légitársaságokkal nyújtják szolgáltatásaikat. A kelet-európai munkaerő más országokban foglalkoztatott ingázó utasai miatt a fapados légitársaságok szolgáltatásai iránt nő a kereslet. Az új repülőtereken a válság idején is az átlagosnál másfél-kétszer gyorsabb ütemben bővült az utasforgalom.

Az Európai Statisztika adatbankba újonnan bekerült európai légikikötőből 6 2018-ra elérte az éves 1 milliós utasforgalmat. 13 légikikötő közepes, 300 000-800 000 főt kitevő forgalmat generált.

A repülőterek, amelyek folyamatosan működnek

A folyamatosan működő légikikötők közül a legtöbb, az összesnek mintegy 2/3-a, legfeljebb 1 millió utast szolgál ki. Az 1/3-ában 100 ezernél kevesebb utas fordul meg, 1/3-ában pedig a 100 000–1 000 000 utas látogatja meg. A vizsgált időszakban a többi repülő-

térnek valamivel több mint a 20%-a volt 1–5 millió utas forgalmú. 2018-ig az összes repülőtérnek mintegy 5%-át képviseli a 10–25 milliós forgalmú légikikötők csoportja.

Az 5–10 milliós és a 10–25 milliós évi utasforgalmat számláló repülőterek növekvő arányt (5%-ról 9%-ra, illetve 2%-ról 5%-ra) és bővülő létszámot mutatnak (92 darabról 103 darabra, illetve 8 darabról 21 darabra). Az 1 millió utas alatti csoportnak viszont jelentősen csökkenő arányát (68%-ról 59%-ra) és létszámát (301 darabról 275-ra) láthatjuk.

A 2004–2018-as időszak alatt – a 2008–2013 közötti pénzügyi-gazdasági válságot kivéve – rendszerint évi 6%-kal növekszik az utasforgalom az európai repülőtereken. 2004-ben a légikikötők 10 milliósnál kisebb utasforgalma szolgáltatja a legnagyobb hányadot. Ez az összes 94%-a, amely azonban az utasforgalom kisebb részét, 41%-át adta. 2018-ra az összes légikikötő közül már csak 90% a 10 milliós forgalomnál kisebb repülőtér, és ezek az utasforgalomnak már csak 31%-át nyújtják. A mintegy másfél évtized során a 10 milliósnál nagyobb repülőterek csoportja 20 taggal bővült, míg 6 taggal szűkült a kisebb légikikötők nagy csoportja.

A 2008–2013 közötti válság ideje alatt a csökkenő forgalom miatt 4 repülőtér a 10 milliósnál nagyobb tagok közül átsorolt a 10 milliós utasforgalomnál kevesebbet generáló csapatba. Ezen időszak során az összes forgalomban csak 2009-ben tapasztaltunk (évi 5,8%-os) csökkenést. A válság további éveiben az átlagos 6%-os növekedésnél lassúbb a forgalombővülés üteme. A 2008-ban meg tapasztalt 1 milliárd 359 milliós utasforgalmat már 2011-ben túlszárnyalta az 1 milliárd 394 milliós forgalom. A 10 milliós forgalmat túllépő repülőterek száma 2014-ben érte el ismét a válság előtti szintet, és végül már 2017-ben eléri a 47-et. A legfontosabb repülőtereket a 4. táblázat mutatja be.

Európa 4 legnagyobb utasforgalmú repülőtere egymástól 350–650 km távolságra fekszik a földrész gazdasági-népességi koncentrációjában. Az utánuk következő, szintén hatalmas mennyiségű utast fogadó 5 légikikötő egymástól szintén 450–850 km-re található. A legkisebb távolságra azok a nagy repülőterek fekszenek egymástól, ahol nagy a népsűrűség, és van kereslet a nagyobb távolságokra való utazáshoz (gazdasági, kulturális, turisztikai érdeklődésű vagy éppen politikai érdekű népesség). Viszont közöttük, ha kicsi a távolság, akkor inkább a gyorsvasutat választják az utazók. „Ökölszabályként” elmondható, hogy 250 km-re leggyorsabban személygépkocsival (door-to-door), 500–700 km-re vasúttal, ennél nagyobb távolságra pedig repülővel érdemes utazni. Más szempontból azt mondhatjuk, hogy kétórás távolságon belül legalább 1, három órán belül legalább 2 repülőtér található. A nagy repülőterek pedig legfőljebb 870 km-re megtalálhatók egymástól, közöttük pedig a kisebb légikikötők fekszenek.

4. táblázat: A legforgalmasabb európai repülőterek 2004–2018

Rep_airp/Time	2004	2008	2009	2014	2018
London Heathrow	67 575 952	67 202 714	66 165 021	73 439 386	80 148 763
Párizs-Charles de Gaulle	50 951 316	60 495 597	57 688 772	63 781 283	72 255 649
Amsterdam/Schiphol	42 642 348	47 471 801	43 620 093	55 029 358	71 169 454
Frankfurt/Main	51 414 830	53 683 669	51 229 539	59 687 019	69 584 156
Madrid-Barajas	38 708 662	50 545 152	48 084 468	41 580 965	56 425 858
Barcelona/El Prat	24 559 082	30 380 560	27 277 524	37 414 719	49 595 574

Rep_airp/Time	2004	2008	2009	2014	2018
München	26 950 587	34 540 499	32 698 271	39 785 291	46 266 420
London Gatwick	31 542 449	34 249 344	32 423 537	38 109 168	46 091 009
Róma/Fiumicino	28 081 111	35 633 108	34 193 504	38 389 510	43 086 201
Párizs-Orly	24 049 424	26 187 660	25 087 342	28 845 751	33 120 666
Dublin	17 167 371	23 506 926	20 507 456	21 694 893	31 319 419
Zürich	17 281 372	22 112 923	21 985 156	25 503 081	31 097 730
Koppenhága/Kastrup	19 024 711	21 499 589	19 697 092	25 681 246	30 262 426
Liszabon	10 705 385	13 464 672	13 042 024	17 973 102	29 113 804
Oslo/Gardermoen	14 440 763	19 216 227	18 186 307	24 157 050	28 406 796
Manchester	21 525 885	21 374 464	18 818 478	22 029 366	28 330 954
London Stansted	20 914 519	22 377 879	19 964 006	19 948 370	27 997 001
Bécs-Schwechat	14 813 549	19 771 467	18 146 516	22 616 924	27 196 609
Stockholm/Arlanda	16 466 972	18 204 266	16 129 476	22 469 735	26 953 307
Brüsszel	15 546 835	18 710 388	17 172 196	22 069 737	25 702 515
Miláno/Malpensa	18 681 744	19 420 413	17 745 568	19 005 768	24 434 867
Düsseldorf	15 356 090	18 170 374	17 817 280	21 860 781	24 276 909
Berlin-Tegel	11 083 720	14 499 881	14 200 448	20 694 535	22 001 675
Helsinki-Vantaa	10 564 663	13 425 466	12 586 907	15 968 484	20 994 030
Varsó/Chopin	6 091 643	9 480 240	8 333 268	10 597 883	17 751 592
Genf	8 672 695	11 491 936	11 277 920	15 078 510	17 597 179
Hamburg	9 970 937	12 869 420	12 251 815	14 773 253	17 256 640
Prága/Ruzyne	9 675 621	12 621 073	11 636 842	11 143 064	16 787 436
London Luton	7 552 355	10 187 922	9 125 783	10 488 858	16 772 716
Budapest/Liszt Ferenc	6 380 372	8 429 082	8 081 067	9 054 848	14 829 726
Edinburgh	8 043 071	9 019 802	9 053 285	10 160 811	14 297 136
Bukarest	2 600 401	5 063 983	4 483 506	8 325 783	823 708

Répülőterek, amelyek 10 millió utasnál nagyobb forgalmat bonyolítanak

Ezek a repülőterek számos más légikikötővel naponta vannak kapcsolatban közvetlen járatok révén. A nagy forgalmú légikikötők (5. táblázat) sok embert foglalkoztatnak. A munkaerőt a repülőtér szolgáltatásai és a hozzájuk kapcsolódó vállalkozások vonzzák.

5. táblázat: A nagy légikikötők megoszlása a repülőterek és az utasok száma szerint

Utasforgalom, legalább; fő/év	2004 repülőtér	utás	2008 repülőtér	utás	2009 repülőtér	utás	2014 repülőtér	utás	2018 repülőtér	utás
10–15 millió	1,6%	8%	2,4%	7%	1,5%	7%	1,9%	9%	3,2%	10%
15–20 millió	1,6%	11%	1,5%	13%	2,2%	9%	1,3%	8%	1,3%	10%
20–25 millió	1,1%	10%	1,3%	8%	0,7%	10%	1,9%	12%	1,1%	10%
több 25 milliónál	1,8%	30%	2,2%	32%	2,2%	33%	2,6%	33%	4,5%	32%

Vannak repülőterek, amelyek önmagukban és környezetükben jelentős gazdasági tevékenységet kumulálnak. Elsősorban kereskedelmi, vendéglátó egységeknek és hoteltevékenységnek nyújtanak lehetőséget, valamint parkoló és gépjárműkölszönző vállal-

kozásokat üzemeltetnek. Ezeken kívül például konferencia- és kiállítási központokat működtetnek vagy meeting point lehetőségét adják, ahova a világ számos pontjából érkeznek a résztvevők, és utaznak is vissza kiindulási helyükre akár még aznap, stb. De van, ahol sporttevékenységet, egynapos orvosi szolgáltatást vagy akár esküvőt is szerveznek.

A repülőtér mindig olyan városban található, amelyet sokan meglátogatnak. A gazdasági központok mellett a turisztikai látványosságok, a politikai központok és a nyaralóhelyek is sok repülőgéppel vonzzák a tömegeket. Az ilyen városok közelében akár több repülőtér is működik. Rendszerint kifejezetten a fapados légi szolgáltatók (Ryanair, Jet2, EasyJet, Wizz Air stb.) adják a nagy utasforgalmat.

Repülőterek, amelyek 10 millió utasnál kisebb forgalmat bonyolítanak

A 10 millió utasnál kisebb utasforgalmú légikikötőket további csoportokba lehet besorolni (6. táblázat). Mivel az évi 100 ezernél kisebb utasforgalmú repülőterek egészen más jelleget mutatnak, mint az 5–10 millió utasforgalmúak, ezeket külön vizsgálom.

A legkisebb forgalmú (100 ezernél kevesebb utas/év) csoportba tartozik az összes repülőtér közel $\frac{1}{3}$ -a, de a teljes utasforgalomnak csak 0,4%-át teszik ki az elemzett időszak elején! Az időszak során folyamatosan csökkenve 2018-ban ez a nagyságrendű repülőtér már csak $\frac{1}{4}$ -e az összesnek, és az utasforgalomnak is már csak 0,3%-a bonyolódik itt. Ezek a repülőterek akár olyan sportrepülőterek a kontinensen, amelyek a füves kifutópálya mellett beton kifutópályával is rendelkeznek. A businessjeteket 4–20 fő utassal fogadhatják rendszeresen, vagy igény szerint akár csoportos üzleti vagy szabadidős célból. Adott országokban, ahol viszonylag kicsi a lakosság, de nagyok a távolságok, vagy a kisebb szigeteken, ezek a kisebb kereskedelmi légikikötők az évi 100 ezres utasforgalmat sem érik el (Norvégia, Svédország, Finnország, Görögország).

6. táblázat: A repülőterek és az utasok száma az összes légikikötő arányában

Utasforgalom, legfőljebb fő/év	2004 repü- lőtér	utas	2008 repü- lőtér	utas	2009 repü- lőtér	utas	2014 repü- lőtér	utas	2018 repü- lőtér	utas
100 ezernél kisebb	31%	0,4%	27%	0,4%	29%	0,4%	25%	0,3%	25%	0,3%
100 ezer – 1 millió	36%	5,8%	35%	5,2%	35%	5,0%	38%	4,7%	33%	4,5%
1–5 millió	21%	19,1%	23%	19,7%	24%	19,1%	22%	18,2%	22%	18,5%
5–10 millió	5%	16,1%	7%	15,5%	6%	16,1%	6%	15,5%	9%	15,2%

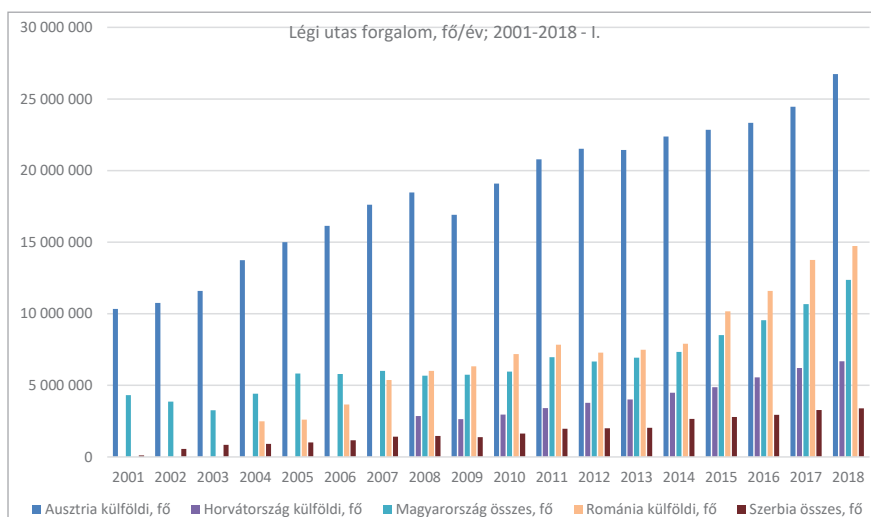
A következő csoportba tartozó légikikötők 100 000–1 000 000 utast szolgálnak ki. Ezek az utasok alapvetően belföldi repülési célból utaznak. Részben városból városba közvetlenül, vagy pedig valamelyik csomópontba repülnek. A francia, német, olasz és spanyol nyelvterületen az adott ország hubjaiba repülnek az utasok legtöbbször – feltehetően – további úti céljuk felé. A két egymástól kisebb távolságra fekvő repülőtér városai között az utasok jelentős hányada nagysebességű vasúton jut el.

A következő csoportba tartozó repülőterek 1–5 millió utast szolgálnak ki, és tevékenységük hasonló, mint a korábban jellemzett légikikötőknek. Idetartoznak azonban már kisebb országok repülőterei is, s érthető okokból a légi utasok kereslete is kisebb. Ezek a légikikötők sok fapados repülőtársaság nemzetközi forgalmát mutatják fel, főként a kelet-nyugati munkavállalók ingázó utazását. Ezek a repülőterek különféle szolgáltatásokat is kínálnak, például kereskedelmi és vendéglátó, autóbérlő szolgáltatásokat.

A következő csoportba tartozó légikikötők 5–10 millió utast szolgálnak ki, alapvetően a spanyol, olasz, francia és görög nagyobb tengerparti városok, illetve szigetek, továbbá másodvonalbeli brit nagyvárosok repülőterei. Ezeken túl a közepes államok fővárosainak, illetve nagyobb lengyelországi városoknak a kikötői tartoznak ebbe a csoportba. Itt megfordul már sokféle légi fuvarozó járat is a fapados cégeken kívül. A repülőtereken több a kereskedelmi, vendéglátó és autóbérlő vállalkozás.

A Magyarországgal szomszédos országok repülőterei

Magyarország és a vele közvetlenül határos országok repülőterei több szempontból is hasonlóságokat mutatnak; igaz, valamennyi ország eltér egy-két szempontból az átlagos jellemzőktől (26. és 27. ábra). A hét ország repülőterein megforduló utasok száma általában dinamikus és folyamatos növekedést mutat 2004–2018 között, kivéve a 2008. évi pénzügyi válságot követő 3–5 évben. Öt ország esetében az utasok számának csökkenése viszonylag kisebb volt, 2014-től 2018-ig utolérte a korábbi növekedő trendet.

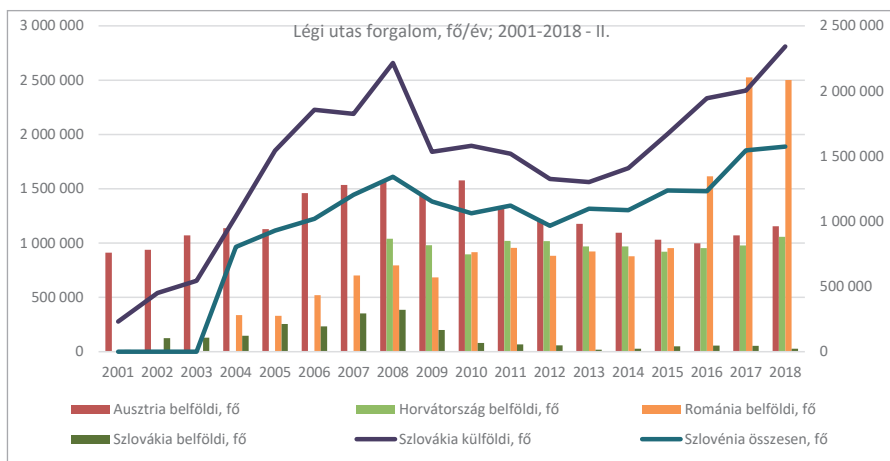


26. ábra: Légi utasforgalom, fő/év; 2001–2018, I.

Forrás: Eurostat adatai alapján saját szerkesztés

A szlovák és szlovén repülőterek utasforgalma (27. ábra) jelentősen visszaesett a váltságban, és még mindig nem éri el a korábbi évek alatt látható növekedési trendet (jobb tengely).

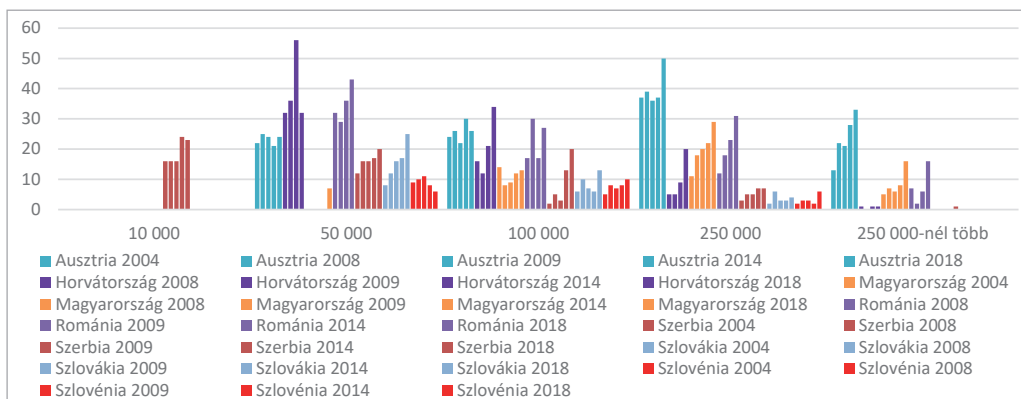
Az osztrák és a horvátországi belső repülési forgalom stagnált. A romániai piacon bővül a kereslet. Két ország legjelentősebb légikikötője viszonylag közel fekszik a nagyobb – bár másik országban található – főváros repülőtértől (Pozsony–Schwechat 68 km, Ljubljana–Zágráb 136 km). Ezért a viszonylag kis forgalmat is elsősorban a fapados légiszolgáltatók igénylik. Ugyanígy igaz ez a belső forgalmat szolgáló, regionális hubként működő, fővárosi légikikötő Bukarest, Zágráb és az európai második vonalbeli hubként tekinthető Bécs esetében is. Ráadásul az ausztriai kiinduló pontokból, beleértve Bécset is, Frankfurt am Mainba és Münchenbe repülnek a fapados, illetve a charterjáratok.



27. ábra: Légi utasforgalom, fő/év; 2001–2018, II.

Forrás: Eurostat adatai alapján saját szerkesztés

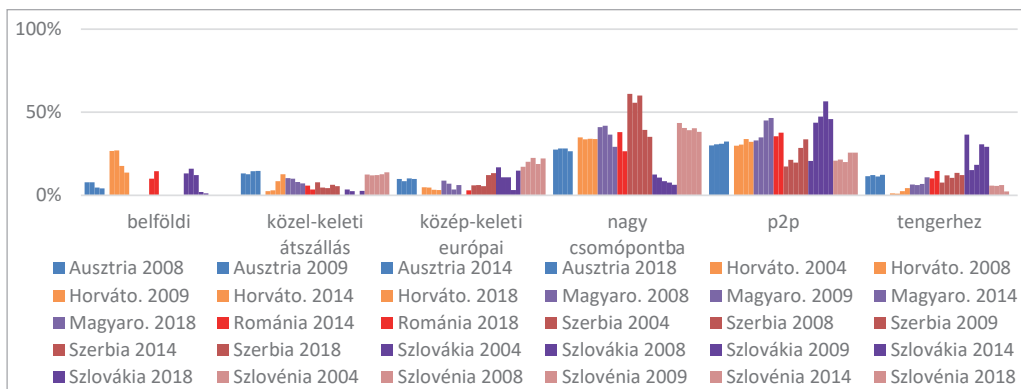
A nemzetközi forgalomban kimagasló az egyes desztinációkkal nagy forgalmat (évi legalább 100 ezer utas) lebonyolító osztrák járatok száma (83 repülőtér-repülőtér viszonylat). A középmezőnybe tartozik a magyar és a román légikikötők közötti éves utasforgalom (45 úti cél, illetve 47). Míg lemarad tőlük a horvát (21), a szerb (8), a szlovén (6) és a szlovák (4) desztináció. (29. ábra) A belföldi forgalomban az osztrák, horvát és a román légikikötők közötti forgalom esetében a bécsi (8), a zágrábi (4) és a bukaresti (6) a legnagyobb.



28. ábra: Repülőterek utasforgalmának nagyságcsoporthai országoként, 2004–2018; db

Forrás: Eurostat adatai alapján saját szerkesztés

A légi utasok megoszlása a különböző utazási célok jellege miatt sok hasonlóságot mutat (29. ábra). Az összes utas körülbelül 10-15%-a valamelyik tenger mellett található repülőtérre utazik, nagy valószínűséggel szabadidejét tölteni. Azonban a horvát és a szlovén légikikötőkből csak az utasok 3-5%-a utazik ilyen célból. A tengerpartra általában más országokból érkeznek az utasok, de a repülések között (Dubrovnik, Zadar, Rijeka, Split stb.) sok belföldi utazás is van. A közép-kelet-európai repülőterek közül a horvát, magyar, román légikikötők egymás között jelentéktelen utasforgalmat bonyolítanak le. Ezzel szemben az osztrák, a szlovák és a szerb repülőterek utasai a kelet-közép-európai utasok 10-15%-át jelentik.



29. ábra: Az országok repülési célok szerint, 2004–2018; %

Forrás: Eurostat adatai alapján saját szerkesztés

Románia

Az Eurostat adatbázisában található 11 román repülőtérből 6 folyamatosan működött az elmúlt öt év alatt. Öt belföldi és külföldi járatokat indít, egy pedig – Bákó megye székhelyén – a román fapados Blue Air csak nyugat-európai úti célokkal közlekedik. A két, évi 1 millió utasforgalomnál kisebb légikikötő a már említett Bákó és Nagyszében városában található, amelyekkel a továbbiakban részletesen nem foglalkozom. Romániában minden repülőteret az állami légikikötőket működtető vállalat kezel.

Messze a legnagyobb Romániában a Bukaresti Henri Coandă nemzetközi repülőtér. Az utóbbi években dinamikusan fejlődő légikikötő egyfajta kisebb, kelet-európai sub-hubnak tekinthető. 2018-ban 50 desztinációból fogadja 37 személyszállító repülő-társaság járatait (menetrendi, időszakos és charter együtt), valamint 3 tehertársaságot 9 desztinációból. Az európai nagy hubokból az ottani „székhelyekből” repülő társaságok (Amsterdam, KLM; Frankfurt és München, Lufthansa stb.), a román nemzeti Tarom és a kisebb-nagyobb fapados társaságok járatai is ide érkeznek. Utóbbiak látják el a kisebb európai légikikötők és a tengerparti nyaralások repülőtéri igényét. A nagy cégek (Qatar, flydubai, Air Canada Rouge) szolgálják ki az utasokat a földrészek közötti járatokkal. A közép-európai sub-hubnak tekinthető Budapest és Varsó repülőtereivel pedig az Allianz társaság egyik tagja, a LOT létesít kapcsolatot. A közepes (az utóbbi években 35 000–36 000 t évente) légitérhet több rendeltetési címre, többek között Budapestre (DHL), Kölnbe (UPS) és Münchenbe (ASL) szállítják.

Románia második legnagyobb forgalomú légikikötője Kolozsvár, mintegy évi 2 millió utazóval. 2018-ban 20 úti célba indítja 2 fapados társaság menetrendi járatait (Blue Air és a Wizz Air). Ezeken a tengeri szabadságokra utazókat viszik. A további 4 légitársaságból 3 (LOT, Lufthansa, Turkish Airlines) csak a „székhelybe” indul vissza. Ezeken kívül a Tarom működtet még néhány kisebb – érthető módon – hazai gyűjtőjáratot. A kicsi (az utóbbi években 2000-3000 t évente) légi terhet döntően Budapestre szállítják.

A harmadik legnagyobb forgalmú romániai légikikötő Temesvár, mintegy éves 1,5 millió utazóval. 2018-ban szintén 20 desztinációba indítja a menetrendi járatokat egy fapados társasággal, a Wizz Airrel. Ezenkívül számos szezonális, illetve charterjárat más fapados légi társaságokkal szolgálja ki a szabadságra utazókat. A Lufthansa-járatok csak a „székhelybe” indulnak vissza. A Tarom pedig még a bukaresti gyűjtőjáratokat is működteti. A kicsi (5000-6000 t évente) légi terhet több célba, többek között Budapestre szállítják.

Szerbia/Belgrád

Belgrád a legnagyobb szerbiai repülőtér, amely 2018-ban 70 desztinációból fogadja 34 légitársaság járatait (menetrendi, időszakos és charter együtt). Az évi forgalom dinamikusan növekszik – kisebb megtorpanással – 2004-től 2018-ig, az utóbbi évben közel 3,5 millió utast szolgált ki. A 4 tehertársaság 7 cargo légikikötővel mintegy 20 000-25 000 t árut kezel.

A legtöbb járat az európai nagy hubokból érkezik a hetente repülő társaságokkal (Austria Airlines, Bécs, Swiss Int. Airlines, Zürich, Aeroflot, Moszkva stb.), illetve itt működik a szerb nemzeti Air Serbia. Ez utóbbi és a Wizz Air látja el a kisebb európai repülőtereket és a különböző horvát és közel-keleti tengeri nyaralóhelyek légikikötőit. Az utóbbiak keresletének nagy részét az Aviolet charterekkel elégíti ki. Az utasokat a kontinensek közötti járatokon a nagy cégekkel (Etihad Airlines, flydubai, Qatar, Turkish Airlines) szolgálják ki.

Horvátország

Az Eurostat adatbázisában található 6 horvát repülőtérből 5 folyamatosan működött az elmúlt öt év alatt. Mindegyikből belföldi és külföldi járatok érkeznek és indulnak. Pula és Zadar (Zára) városában évi 1 milliós utasforgalomnál kisebb forgalmú repülőtér található. Ezekkel részletesen nem foglalkozom. A többi három repülőtér éves utasforgalma 1,7–3,0 millió (Zágráb, Split és Dubrovnik) volt 2018-ban.

Az utóbbi években dinamikus forgalmú a zágrábi repülőtér, mintegy kisebb, kelet-európai sub-hubnak tekinthető. 2018-ban 21 külföldi desztinációból fogadja 27 légitársaság járatait (menetrendi, időszakos és charter együtt). 3 tehertársaság 9 rendeltetési helyről szállítja az árut (évenként 10 000–11 000 t). Az európai nagy hubokból az ottani „székhelyből” érkeznek a repülőtársaságok (Lufthansa, Frankfurt és München; Turkish Airlines, Istambul; KLM, Amsterdam stb.), illetve itt szolgáltat a horvát nemzeti Croatia Airlines is. Az utóbbi látja el a horvát tengeri nyaralások légikikötő-igényét is. Az összes ide köthető légi utas mintegy évi 3 millió, amelynek fele a horvát nemzeti légitársasággal érkezik. A kontinensek közötti utasokat a nagy cégek (Qatar, flydubai, Air Canada Rouge, Korea Air) járataival szolgálják ki. A közép-európai sub-hubnak tekinthető Bécs és Varsó repülőtereivel pedig az Austrian Airlines és a LOT létesít közlekedési kapcsolatot.

Horvátország második legnagyobb forgalmú légikikötője Split városához tartozik. Éves szinten mintegy 3 millió utazó látogatja meg. 2018-ban 6 desztinációból érkezik 3 társaság menetrendi járata (Croatia Airlines, Eurowings és a Lauda). Rajtuk kívül a nagy légitársaságok (Aeroflot, Moszkva; Air France, Párizs; British Airways, London; Iberia, Madrid; KLM, Amsterdam; Lufthansa, Frankfurt és München stb.) számos szezonális járata 20 desztinációból szolgálja ki a tengeri szabadságra utazókat. Számos városból a nagy fapados cégek, mint az easyJet, a Ryanair, Wizz Air is látogatja az Isztriai-félsziget csúcsán fekvő repülőteret. A légi teherszállítás elenyésző, bár sok cég hozza-viszi a küldeményeket sok rendeltetési helyre. Meg kell említeni, hogy a repülőtér egyben katonai célokat is szolgál.

Horvátország harmadik legnagyobb forgalomú légikikötője Dubrovnik városa mellett található. Évenként mintegy 2,5 millió utazóval 5 desztinációból (Athén, Isztambul, London, Róma és Zágráb) érkeztetett 3 társaság (British Airways, Croatia Airlines, Turkish Airlines) menetrendi járatokat 2018-ban. Rajtuk kívül számos nagy légitársaság szolgálja ki a tengeri szabadságra utazókat (Austria Airlines, Bécs; Iberia, Madrid; Lufthansa, Frankfurt és München; SAS, Koppenhága; Oslo és Stockholm stb.) sok szezonális jára-

tával. Sok városból pedig a nagy fapados cégek, mint a Germanwings, a Jet2, a Thomson Airways vagy a Vueling szállítja ide az utazókat. A légi teherszállítás szintén elenyésző.

Szlovénia/Ljubljana

Az utóbbi években ismét növekvő volt a légi forgalom a szlovén főváros repülőterén. 2018-ban 22 külföldi úti célba utazik 21 repülőtársaság járata (menetrendi, időszakos és charter együtt), valamint a DHL teherszállító társaság 2 desztinációba. Ezzel együtt az éves utasforgalom nem éri el a 2 milliót. Az európai nagy hubokból érkeznek a repülő társaságok (Turkish Airlines, Istanbul; Lufthansa, Frankfurt és München; Swiss International Airlines, Zürich stb.). A közép-európai sub-hubnak tekinthető Bécs és Varsó repülőtereivel pedig az Austrian Airlines és a LOT létesít közlekedési kapcsolatot. Ugyanakkor a nyugat-balkáni országoknak (Podgorica, Tirana, Skopje, Pristina, Sarajevo) mintegy kis elosztónak tekinthető a nagyobb úti célok irányába építve a kapcsolatokat. A teherszállítás – az utasforgalomhoz viszonyítva – közepes nagyságú, évi 11 000-12 000 t az utóbbi években.

Ausztria

Az Eurostat adatbázisában található mind a 6 osztrák repülőtér folyamatosan működött az elmúlt öt év alatt. A nagysági sorrendben kettő, évi 1 milliónál több utasforgalom (Wien-Schwechat és Salzburg) mellett a közel 1 milliós forgalmú repülőtér Graz és Innsbruck, valamint a kisebb forgalmú Klagenfurt és Linz városa közelében található. Az utóbbi hárommal nem foglalkozom részletesen. Ausztriában minden repülőteret valamilyen gazdasági társaság működtet.

Ausztriában a legnagyobb forgalmú és legismertebb a schwechat-i nemzetközi repülőtér. 2019-ben 77 légitársaság 217 úti céljával a világon 68 országgal köti össze. Az évi utasforgalma 24-25 millió utas, a teherforgalma pedig 280 ezer tonna az utóbbi években. Az Austrian Airlines, a Eurowings, valamint a Tyrolean Airways (ez utóbbi az Austrian Airlines leányvállalata) bázisrepülőtere és átszállóhelye. A fapados társaságoknak is, mint az easyJet Europe, Lauda, Level és a Wizz Air, szintén bázisrepülőtérként vagy átszállóhelyként működik. Az utasok legnagyobb arányban a nyugat-európai desztinációkba repülnek. A leggyakrabban Londonba, Frankfurtba és Zürichbe indulnak. A kelet-európai célok közül Moszkva, Bukarest és Szófia említendő meg. A főbb közel-keleti és közép-ázsiai légi úti célok a következők: Dubai, Tel Aviv és Doha. A leggyakrabban hosszú távokra Bangkookba, Tajpejbe és Pekingbe utaznak. A járatok feltöltése (menetrendi és charter együtt) átlagosan mintegy 74,8%. A repülőtér elsősorban Kelet-Európa és a Közel-Kelet felé induló járatok csomópontja.

A második legnagyobb forgalmú légikikötő Salzburgnál található, éves szinten mintegy 2 millió utazóval számíthat. 2018-ban 19 desztinációból érkezik 9 társaság menetrendi járata (Lufthansa, Frankfurt; British Airways és Ryanair, London; Eurowings, Düssel-

dorf) és számos szezonális járat (10 desztinációból) a nagy és a fapados légitársaságokkal. A légi teherszállítás elenyésző. A salzburgi légikikötő a salzburgi és a kelet-bajorországi régiókat szolgálja ki. A nemzetközi charterjáratok a téli és nyári turizmust szolgálják, főként Nagy-Britanniából, Oroszországból és a skandináv országokból érkező látogatókkal. Külön érdekesség, hogy a fel- és leszállást túlnyomó részben a német állam területén tudják lebonyolítani, mert a légikikötő a salzburgi medencében és környékén helyezkedik el. Erről 1967. december 19-én szerződést írtak alá, amelyet 1974-ben hagyott jóvá a német parlament.

A harmadik legnagyobb forgalmú légikikötő Graz mellett fekszik, éves szinten mintegy 1 millió utazóval. 2018-ban 12 desztinációból érkezik 7 társaság menetrendi járatokkal (Lufthansa, Frankfurt és München; Austrian Airlines, Bécs és Düsseldorf). A tengerparti nyaralóhelyeket fapados légitársaságok szolgálják ki 4 szezonális járatral 2 úti célba. A légi teherszállítás szintén elenyésző. A repülőtér az utasok számára a terminálon belül üzleteket, utazási ügynökségeket, éttermeket és kávézókat, bank- és autóbérlő irodákat működtet.

Szlovákia

Az Eurostat adatbázisában található két szlovák repülőtérből az egyik, amely évi 1 milliós utasforgalomnál nagyobb, Pozsonyban található. A másik Kassa mellett fekszik, az éves utazóforgalom 300 000-400 000 fő volt az elmúlt öt évben. A pozsonyi légikikötő az utóbbi években ismét növekvő forgalmú. 2018-ban 35 külföldi úti célból fogadja 8 légitársaság járatait (menetrendi, időszakos és charter együtt), valamint a DHL és az ACG teherszállító társaságokat. Ezzel együtt az éves utasforgalom nem éri el a 2 milliót. Az európai nagy hubokba, a jelentős forgalmú repülőterekkel ellátott városokba csak fapados repülőtársaságokkal (flydubai, Dubai; Pobeda, Moszkva; Ryanair, Wizz Air stb.) utazhatnak az emberek. Emellett a DHL és a 2013-ban alapított honos légi teherszállító cég, az ACG (Air Cargo Global) a kereskedelmi forgalmat bonyolítja le, többek között Hongkonggal és Sanghajjal is. A légi teherforgalom az utóbbi öt év során évi 20 000-26 000 t.

Magyarország

Az Eurostat adatbázisában található két magyar repülőtér közül a budapestinek évi 1 milliósnál nagyobb az utasforgalma. A debreceni repülőtér esetében az éves utazóforgalom 250 000-350 000 volt az elmúlt három évben, 2019-ig. 2012-ben jelentős visszaesés mutatkozott a repülőgépmozgásokban, elsősorban az év elején bekövetkezett Malév-felszámolás miatt. A repülőtér a Malévnek székhelyéül szolgált 2012. február 3-ig.

Budapest

A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér (BLFNR) Magyarország 5 nemzetközi repülőtere közül messze a legnagyobb. Európai, észak-amerikai, távol-keleti, afrikai és közel-keleti országok repülőtereivel egyaránt közlekedési kapcsolatban van. 2019-ben a repülőtér forgalma átlépte az évi 16 millió utast. A budapesti repülőtér a Wizz Air légitársaság elsődleges székhelyének számít, emellett a Ryanair egyik fontos bázisa is.

2015-ben közvetlen járatokat indítottak innen észak-amerikai és közel-keleti célpontokra. A folyamatosan bővülő diszkont légitársaságokkal együtt a budapesti repülőtér nemcsak, hogy kilábal a 2012-es válságból, de példátlan fejlődésnek indult. Kimagasló értékeket mutat a régióban. A LOT lengyel légitársaság az első Lengyelországon kívüli bázisát hozta létre Budapesten 2018-ban. Innen üzemeltet járatokat többek között New Yorkba (JFK), Krakkóba, Londonba (City) és Szöulba (Incsjon). Napjainkban a Wizz Air bázisai közül a budapesti a legforgalmasabb a több mint 60 desztinációjának köszönhetően.

A légi teherszállítás dinamikusan növekedett az elmúlt öt év során a személyforgalommal párhuzamosan. 2018-ban a repülőtér átlépett a 100 000 t-s áruteher-szállítók közé.

A BUD 2020 program tartalmazta a 2C terminál építését, egy 6 emeletes 2500 férőhelyes parkolóházat, valamint egy repülőtéri szálloda felépítését. 2018-ban megnyílt a 145 szobás Ibis szálloda. A check-in pultok számát jelentősen bővítették, és valamennyi biztonsági kaput testszkennerrel látták el. A fejlesztések következtében a repülőtér éves fogadóképessége 18 millió utasra és 200 000 t árura nő. „Cargo City” néven új légiárúközpontot hoztak létre a 2-es terminál szomszédságában. Az 1-es terminál mellett új logisztikai központ épült két nemzetközi csomagküldő vállalat, a DHL Express és a TNT számára. Ezeken felül további olyan jelentős fejlesztéseket vitt véghez a Budapest Airport, amelyek az utasforgalmi területről nem érzékelhetők.

Debrecen

A Debrecen nemzetközi repülőtér a BLFNR után a második legforgalmasabb. A nemzetközi utazóközönség előtt 2001 óta nyitott légikikötő. Forgalmát azonban csak 2016 óta tartalmazza a KSH és az Eurostat adatbázisa. A repülőtér 2 társaság menetrendi járatait indította 8 úti célba 2018-ban. A Lufthansa CityLine Münchenbe, a Wizz Air, kiemelkedő desztinációként, London-Lutonra szállítja az utasokat. Ezenkívül nagyobb és kisebb európai városokba (Moszkva, Eindhoven stb.), valamint egy tengerparti célpontba (Tel-Aviv) utaztatja a turistákat a társaság.

A korábbi logisztikai fejlesztésekhez kapcsolódóan 2016 elejére tervezték befejezni az összesen 8000 nm alapterületű, háromemeletes, új innovációs és inkubációs központ megépítését. A repülőtér új utasforgalmi terminálját is kialakították az irodák mellett. Az új terminál teljes beüzemelését a 2016-os nyári charterszezonra tervezték a régi üzemben tartása mellett, ez azonban 2018-ra csúszott. A forgalom ezután nagy ütemben növekedett, 2019-ben 57%-kal, 601 ezerrel bővült a személyutazás 2018-hoz viszonyítva. A Debreceni Repülőtér a két terminállal akár évi egymillió fős utasforgalmat is képes kiszolgálni.

Sármellék

A Hévíz–Balaton nemzetközi repülőtér Magyarország harmadik nemzetközi repülőtere. A repülőtérnek egy betonozott és egy füves futópályája van, illetve rendelkezik egy heliporttal is. 2016 decemberében egy kormányhatározat 6,6 milliárd forintot biztosított a repülőtér infrastrukturális és technológiai fejlesztésére (például a futópálya meghosszabbítására és a környező épületek felújítására), aminek az a célja, hogy a repülőtér valódi nemzetközi közlekedési szerepet kapjon. A korábbi időben több légitársaság próbálkozott a rendszeres járatral (Ryanair, Air Baltic), azonban végül letettek róla. Jelenleg három légi társaság (CSA, Lufthansa, Sundair) nyári charterjáratokat működtet különböző német légikikötőkkel.

Pér

A Győr–Pér repülőtér Magyarország negyedik nemzetközi repülőtere. Fejlesztési munkálatai 2000-ben kezdődtek el a Phare CBC programból nyert és az Audi Hungaria Motor Kft. által biztosított pénzügyi források felhasználásával. A szilárd burkolatú futópálya, az új forgalmi előtér és az egyéb kapcsolódó létesítmények üzembe helyezése 2003-ban történt meg. A beruházások eredményeképpen a fejlesztést végző gazdasági társaság befektetett eszközértéke 1 milliárd forint fölé emelkedett. A továbbfejlesztett repülőtér 2003 júniusában fogadta az első nemzetközi járatot. 2013-ban a korábban 1450 m hosszú kifutópályát 2030 m-esre hosszabbították, így a repülőtér alkalmassá vált a diszkont légitársaságok körében népszerű Airbus A320-as és Boeing 737-es típusú repülőgépek fogadására is.

A repülőtér igazi jelentősége a régió fejlődésére gyakorolt hatásában mérhető. A győri Audi gyár rendszeresen használja ezt a légikikötőt. A vállalat megbízásából a Private Wings légitársaság napi vállalati járatokat tart fenn Pér és a németországi Ingolstadt között. A repülőgépek munkanapokon közlekednek heti harminc járatral, évi 30 000 utassal.

Pécs

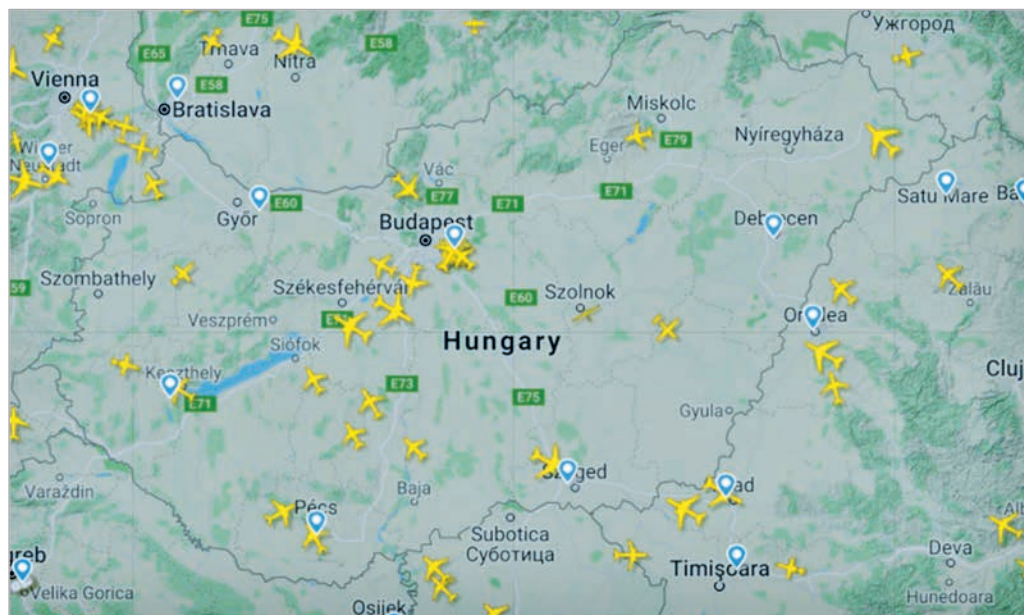
A Pécs–Pogány repülőtér Magyarország legkisebb nemzetközi légikikötője. A futópálya rövidege miatt csupán kisebb repülőgépek fogadása lehetséges. A létesítmény egy 1500 × 30 m-es, 46 t teherbírású aszfaltozott futópályával rendelkezik. Tervezésekor elsősorban a turbólégcsavaros repülőgépek technikai adatait vették figyelembe, amelyeknek nincs szükségük ennél hosszabb pályára. Az Austrian Airlines Pécs–Bécs járatát is egy ilyen repülőgép szolgálta ki. Az ezredforduló óta az európai polgári repülés szinte kizárólag az Airbus A320-as és a Boeing 737-es gépcsaládok típusait használja. Ezek a repülőgépek csak olyan tömegkorlátozások mellett szállhatnak le és fel az 1500 m hosszú futópályán, hogy a diszkontmodell minden előnye elveszne. A repülőtér jövőbeni kilátásait az alig 100 kilom-re, délkeletre lévő északi repülőtér is nehezíti. Onnan 2014 óta a Ryanair révén London, 2015-ben pedig egy frissen alapított horvát légitársaság, a Sea Air révén München, Bécs és Frankfurt is elérhető volt a nyári szezonban. A Sea Air 2016-ban kivonult Eszékről, de helyette 2017-ben a Wizz Air, illetve az Eurowings indított új járatokat.

A Covid-19 – a válsággal együtt a jövő felé

Hogyan alakult a légi forgalom nagyarányú csökkenése a jelenlegi Covid-19-válság folyamán, illetve melyek a kilábalás útjai? A következőkben ezeket láthatjuk.

A hazai légi közlekedés visszaesése

Az *Indóház* online folyóirat 2020 áprilisának elején írta meg, hogy milyen drasztikusan zuhant a légi forgalom Magyarországon. Legnagyobb a visszaesés az utasok száma (-98,8%-kal; 521 utas/nap), majd a járatok (-96,1%-kal; 6 járat/nap) esetében. De nagyon lecsökkentek az úti célok is (-88,9%-kal; 8 város/nap) az április 1-jei adatok alapján. Az áprilisi átlag továbbra is a drámai helyzet fenntartását mutatta. A BLFNR elveszítette utazóközönségének a 99,3%-át. Ezen túl a fel-/leszállás esetében a havi átlag 89,1%-kal csökkent. Eltűnt az ülőhelyek kapacitásából 2,5 millió, és elhalasztották a beruházásokat. Öröm az ürmében, hogy a gurulótak, futópályák és a műszaki előterek felújítására viszont sor került.¹¹



30. ábra: Magyarország légtere 2020. október 29-én 15:52-kor
Forrás: Flyradar24

Ezzel szemben a kis repülőgépek mozgásának növekvő trendjében (2020. április 8-án 73%-kal több, mint egy évvel ezelőtt ugyanebben az időben) sokkal kevésbé lehetett látni

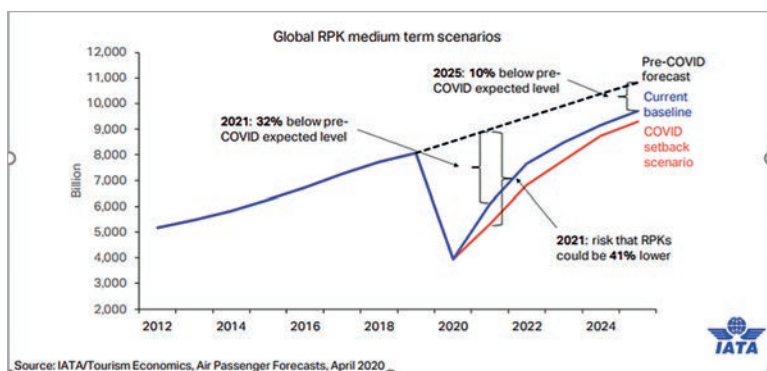
¹¹ Budapest Airport: elveszhet az útvonalhálózat egy része. *MTI/ihó*, 2020. április 2.

a törést, mint a nagygépes forgalomban 2020 tavaszán. Az elmúlt öt év során mintegy 2/3-ával nőtt a kisgépek mozgása, és 2019-ben már mintegy 65 ezer volt a nem ellenőrzött légtérben.¹² Sokkal több a 4–20 utas kapacitású business jetek (Cessna, Bombardier, Gulfstream, Dassault stb.) mozgása is az ellenőrzött légtérben. Ezzel szemben sokkal kevesebb nagy gép repült, ahogyan a Flyradar24 képen is látható. (30. ábra)

Bár a nyár elején lassú, de biztató növekedés kezdődött, július második felétől stagnált a forgalom, majd szeptember során ismét csökkent a repülőgépek mozgásának a száma. A járványidőszak legkiemelkedőbb napja augusztus 22-e volt, amikor közel 2000 repülőgépet kezeltek a HungaroControl körzeti, bevezető és repülőtéri irányítói. Egy évvel korábban ugyanezen a napon a járatszám kis híján elérte a négyezret.¹³

A nemzetközi légi közlekedés visszaesése és jövőképe

Az ICAO információi alapján a Külügyi és Külgazdasági Intézet publikálta májusban a nemzetközi légi közlekedéssel kapcsolatos egyik elemzését.¹⁴ Ebben arra reflektált, hogy az új koronavírus-világjárvány következményeként a polgári légi közlekedés – elsősorban az utasforgalom – mélypontra került. Jelentős átalakulás volt várható a légi közlekedésben a hónapokon át tartó, nagyarányú, kényszerű leállások miatt. Az időről időre megjelenő, újabb és újabb előrejelzések az egészséges helyzetre való visszatérést egyre távolabbinak érzetik. Nemcsak a légi közlekedésre, hanem a belföldi és nemzetközi turisztikai ágazatokra vonatkozó előrejelzések szerint is ugyanez várható.



31. ábra: IATA légi forgalom-prognózis bázis- és pesszimista forgatókönyv szerint 2025-ig

Forrás: IATA turizmus gazdaság-, személyforgalom-előrejelzés, 2020. április

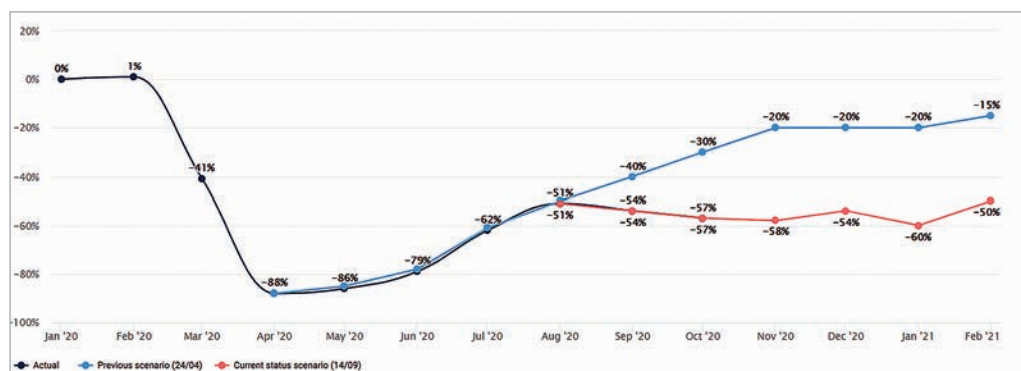
¹² HungaroControl: erősödő kisgépes forgalom. *ihó*, 2020. május 2.

¹³ Továbbra is mélyrepülésben a légi közlekedés. *HungaroControl*, 2020. október 05.

¹⁴ Kozma Tamás: *A polgári légi közlekedésben várható változások az új koronavírus okozta járvány következtében*. Külügyi és Külgazdasági Intézet, E-2020/44. 2020. május 05.

Az IATA közleményében vezető közgazdász foglalta össze az IATA előrejelzését.¹⁵ Ismer-tette, hogy a Covid-19 által okozott károk középtávon is kiterjednek a légi közlekedésre. Kiemeli, hogy a károk különösen súlyosak a hosszú távú, illetve a nemzetközi utazásokra nézve. Különösen rontanak az utasok helyzetét az érkezés utáni karanténintézkedések.

A bázis-előrejelzés szerint 2021-ben a forgalom 2019. évihez viszonyított 24%-os csökkenését (utaskilométerben számítva) várják, miközben a gazdaság általános növekedésnek indul (GDP-ben számítva). Csak 2023-ra fog visszaérni a forgalom a 2019. éves szintre, ami ugyanakkor 2025-ben mintegy 10%-os szinttel elmarad a korábbi, 2019. októberben készített előrejelzéstől. (31. ábra) A pesszimista forgatókönyv a gazdaságok lassúbb indulásán és az utazási korlátozások keményítésén alapul. A harmadik negyedévre is kiterjedhetnek a válság jelenségei, valószínűleg a második hullám miatt. Ezért a forgalom 41%-kal elmarad a korábbi előrejelzés szintjétől.



32. ábra: Eurocontrol forgalmi forgatókönyv tervezet, 2020. szeptember 14. (2019/2020 bázisév)

Forrás: Eurocontrol

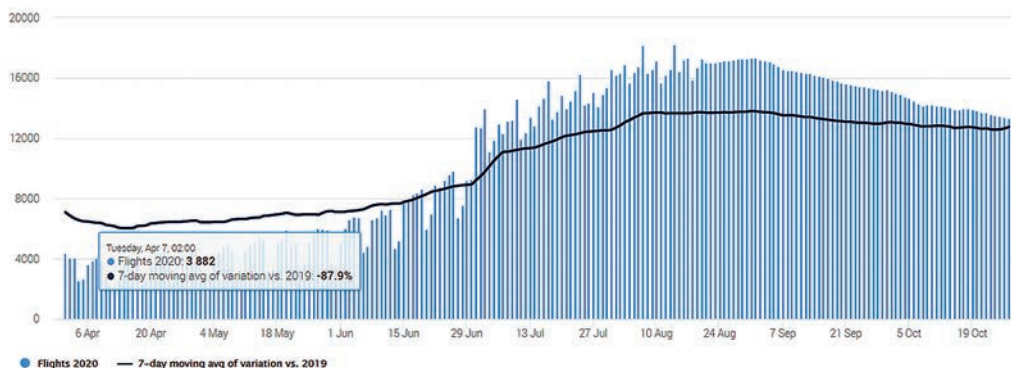
A közlemény utal az IATA egyik utasvélemény-felmérésének adataira, és kiemeli:

- 58%-a a megkérdezetteknek hazai viszonylatokra korlátozná az utazásait;
- 86%-a a megkérdezetteknek aggódik, hogy karanténba kerül utazása miatt;
- 69%-a a megkérdezetteknek nem utazna, ha az 14-napos karantént vonna maga után.

Az IATA sürgette a kormányokat, hogy az érkezési karantén helyett a megelőző jellegű testhőmérséklet-mérést és az egészségügyi okból az utazásból való kizárást lehessen bevezetni. Sajnos a pesszimista forgatókönyv szerint valósultak meg a folyamatok. A 2020. áprilisi előrejelzés szerint 2021 februárjában a forgalom már csak 15%-kal lenne elmaradva a 2019. évi szinthez képest. Ezzel szemben a legfrissebb, szeptember 14-i prognózis¹⁶ szerint még mindig 50%-kal lesz lemaradva az előző évhez képest 2021. februárban. (32. ábra)

¹⁵ Don't make a slow recovery more difficult with quarantine measures. *IATA press*, 2020. május 13.

¹⁶ Eurocontrol: *Covid-19 impact on the European air traffic network*.



33. ábra: A forgalom változása 2020 áprilisa és októbere között, 2020. október 27-i állapot

Forrás: Eurocontrol

Az elhúzódó válság mutatója a naponkénti repülések száma. A hétnapos mozgóátlag stagnál, a napi repülések száma pedig „visszacsorog” augusztus 31-e óta. Az Eurocontrol által megadott aznapi 17 335 repülés az előző évi időponthoz képest 51%-kal csökkent. A következő hónapokban a repülések száma még inkább mérséklődött. (33. ábra)

Az egészségügyi krízis legyőzése után a gazdasági ágazatok nagy részében vissza kell terelni a folyamatokat a megszokott mederbe. Elsősorban a turizmusban és a vendéglátásban, a rendezvényszervezés, a színház, mozi és koncert ágazatokban, s természetesen a légi közlekedésben. Ezen ágazatok kiesett bevételeit, amit az egészségügyi válság okozott, közös pénzügyi forrásokból kell kiegészíteni.

A Wizz Air törekvése

A Malév csődbe került 2012-ben, végül felszámolták. Azonban a magyar szakemberek és a tudás megmaradt, s megmaradt a már 2003 szeptemberében alapított magyar magántulajdonú légitársaság, a Wizz Air is. Így a munkatársak egy része maradt, mások pedig – már a csőd előtti időben – más társaságokhoz, más országokba, kontinensekre mentek. A jelenlegi helyzetben a Wizz Air az egyik legdinamikusabban növekvő légitársaság. A megfelelő pénzügyi helyzetnek köszönhetően egy-másfél évig fenn tudja tartani magát. Következésképpen megnyíló piaci résekbe tud beférkőzni.

Általános ismertető a társaságról

A légi társaságok utasszámokban számított listáján a Wizz Air az európai 8. helyet érte el 2019-ben, közel 40 millió utassal. A lista elején a Ryanair 152 millió, a Lufthansa 145 millió, az International Airlines Group 118 millió, a France Air – KLM 104 millió, az easyJet 89 millió, a Turkish Airlines 74 millió és az Aeroflot Group 60 millió utassal áll. Ugyanakkor a Wizz Air az útvonalak száma alapján a világ 9. helyezettje. A listát

a Ryanair vezeti 1831 útvonal szolgáltatásával, majd négy USA-beli, két kínai légitársaság és az Easyjet áll a Wizz Air előtt. Ez utóbbi 615 útvonallal szolgálja az utasokat.

A koronavírus-világjárvány első hullámának közepén készült egy összeállítás a vállalat vezérigazgatójával készült interjúkból.¹⁷ Ebből szemezgetve sokat megtudunk a következőkben.

„A koronavírus-válság előtt a Wizz Air a Ryanairrel együtt a legmagasabb nyereségszinttel működő légitársaság volt nemcsak Európában, hanem az egész világon. Ennek köszönhetően a vállalat olyan erős likviditással nézett szembe a válsággal, amihez csak a Ryanairét lehet hasonlítani...”

„A Malév 2012. februári csődjénél a Wizz Air azonnal hatalmas kapacitásbővítéssel (új járatok indításával) reagált, és a sokkal nagyobb Ryanairrel eredményesen küzdött meg a budapesti elsőségért. Ezúttal egyebek mellett Európa legjövödelmezőbb légi piacán, Londonban, a jelenleg általa használt lutoninál sokkal zsírosabb falatnak számító gatwicki repülőtéren készül kihasználni a jelenleg a Covid-19-pandémia alatt a Norwegian összeomlását és a Virgin Atlantic problémáit...”

A Wizz Air taktikája az, hogy 50-55%-os telítettségénél valószínűleg már ki tudják termelni a változó költségeket, tehát közgazdaságilag is megéri elindítani a járatot. Ezzel kapcsolatban a cég azt írta, hogy 2020 áprilisában átlagosan 75%-os volt járatainak a foglalások aránya, ám a jegyet vásárlók egy része végül nem szállt fel a repülőgépre. Ráadásul esetükben valószínűleg még az üzemanyagköltség egy része is fix. A Wizz Air április-május hónapban 70-80 millió eurós veszteséget könyvelt el árfolyamfedezési ügyletein, amelyek az euró/dollár és az euró/font devizapárok mellett a kerozinra vonatkoznak.

„A vállalat március végén 1,5 milliárd eurós készpénzállománnyal rendelkezett. [...] Ez alapján tehát a legalább másfél éves működés a jelenlegi, rendkívül mostoha körülmények között is biztosítottnak látszik, miközben a Wizz Airnél akár jóval nagyobb cégek esetében ezt hetekben mérik, vagy legfeljebb néhány hónapban. Ezzel az anyagi háttérrel a társaság megteheti, hogy a pénz egy részét kockára téve piacszerzéssel próbálkozik például olyan jövödelmező szegmensekben, mint a brit nyaralójáratok, ahova normális időkben igen nehéz befurakodni az easyJet és a Ryanair mellé.”

Emellett tényeket lehet megtudni a kötelezően nyilvánosságra hozott éves jelentésekből is.¹⁸ A társaság 100%-os tulajdonosa a Wizz Air Holdings Plc., amely 2015 februárjában belépett a Londoni Tőzsdére. Számos fióktelepe is van (lengyel, bolgár, svájci, román, cseh, szerb, litván, macedón, lett, szlovák, grúz, ukrán, brit, görög, osztrák, ciprusi). A társaság operatív lízing keretében a 2019. március 31-én végződő üzleti év végén 110 gépet bérelt, amelyből 7 repülőgépet továbblízingelt a Wizz Air UK Limitednek. 2020. március 31-én a társaság 105 repülőgépet bérelt operatív lízing keretében, és 6 saját, JOLCO finanszírozású repülőgépe volt. A társaság a tevékenységéhez használt

¹⁷ Váczi István: Európa legnagyobb fapadosa lett a Wizz Air – vak vagy bátor a cég? *G7 online*, 2020. május 18.

¹⁸ Wizz Air Hungary Zrt. beszámoló.

repülőgépek többségét és egyes tartalék hajtóműveket operatív lízing keretében bérli. A társaság először a 2020-as üzleti évben 6 saját repülőgépet szerzett be.

Az export értékesítés nettó árbevételének 86%-a az Európai Unióból induló járatokhoz köthető, a fennmaradó 14% pedig az Unión kívülről induló járatokból származó bevétel. Az árbevétel közel 10%-os növekedése a társaság továbbra is erőteljes kelet-közép-európai terjeszkedésének eredménye, amelyet kereskedelmi oldalról új bázisok megnyitása, a meglévő bázisokról új útvonalak indítása és/vagy a járatsűrűség növelése, a kapacitás oldaláról pedig a bérelt repülőgépek számának növekedése, valamint az átlagos jegyárak emelkedése tett lehetővé. A társaság közszolgáltatási szerződést kötött a Nemzeti Fejlesztési Minisztériummal menetrend szerinti légijáratok üzemeltetéséről öt nyugat-balkáni útvonalra vonatkozóan. A minisztérium a közszolgáltatás ellátásával összefüggésben keletkezett veszteségeket meghatározott mértékig kompenzálja.

A társaság dinamikusan bővülő tevékenysége az összes magyar légi közlekedés GDP-jének körülbelül a felét teszi ki, 2016-tól 2019-ig árbevétele 62,2%-kal nőtt euróban számítva. A nyereségessége 18%-os rátát mutat az utolsó évben. (Az előbbi években magasabb volt, például 2016-ban 29%.) A létszám jelentősen, a 2016. évi szinttel szemben 71%-kal nőtt, így 2020. március 31-én 3900 fő volt.¹⁹ A mérleg fordulónapja után a koronavírus következtében további jelentős számú járatotrlés történt, amely negatívan érinti a társaság jövedelmezőségét és pénzügyi helyzetét. A társaság likviditási helyzete ennek ellenére stabil, több mint egy évig akár járatok üzemeltetése nélkül sem lenne kérdéses a vállalkozás folytatásának elve. A mérlegfordulónapot követően a társaság dolgozóinak körülbelül egyötödét elbocsátotta a helyzethez alkalmazkodva, hogy hosszú távú fennmaradását biztosíthassa. A társaság mindeközben igyekszik élni a válság következtében felmerülő új üzleti lehetőségekkel, és folyamatosan jelenti be új útvonalait és bázisait, többek közt Albániában, Cipruson, Németországban, Olaszországban és Oroszországban.

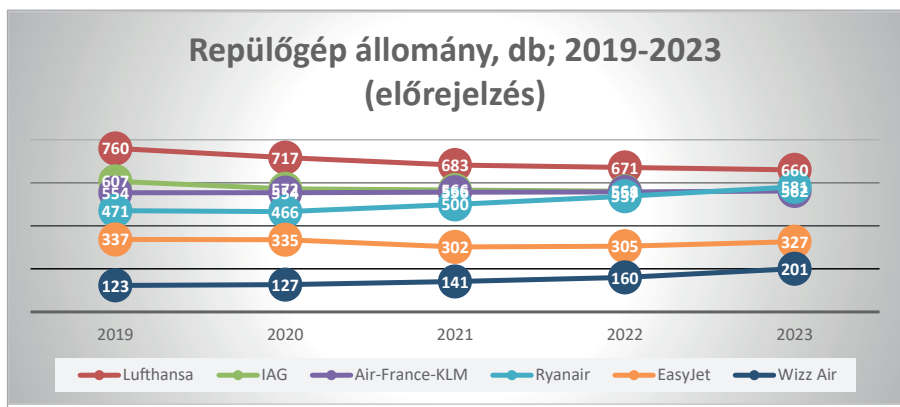
A társaság a közeli jövőre nagy elképzelésekkel tervez

A *Bloomberg* a közelmúltban publikálta, hogy milyen tervei vannak a Wizz Airnek.²⁰ A két agresszív piacszerző fapados légitársaság (a Ryanair és a Wizz Air) előre törekszik, és továbbra is bővíti flottáját, mialatt több légitársaság ettől eltérő politikát folytat. A Wizz Air továbbra is igyekszik repülőgépeket beszerezni, ellentétben az egész világon teljes körű szolgáltatást nyújtó fuvarozókkal, akik el akarják halasztani megrendeléseiket az Airbusnál és a Boeingnél. A magyar légitársaság 2019. évi 123 darabos repülőgép-állományát a következő négy év alatt 78 új gyártású repülőgéppel 2024. évre 201 darabra bővíti. Az eltérő flottaszerkezet megváltoztathatja a sorrendet Európában az elkövetkező években (34. ábra), mivel a Ryanair több lépcsőt feljebb lép a Lufthansa mögé 2023-ig. A fapados légitársaságok jobb pénzügyi helyzetben voltak az év elején,

¹⁹ KSH Tájékoztató adatbázis.

²⁰ Vikram Philip Siddharth: Europe's discount carriers look to gain share as rivals shrink. *Bloomberg*, 2020. augusztus 27.

a koronavírus-világjárvány kezdetén, mint a hagyományos útvonalhálózattal bíró légitársaságok. Az LCC-társaságok általában közvetlen útvonalakon (point-to-point), rövid távú járatokra támaszkodnak.



34. ábra: A repülőgép-állomány alakulása 2018–2023 között néhány légitársaságnál

Forrás: a szerző szerkesztése vállalati bejelentések és elemzői becslések alapján

Ezzel szemben a hosszú távú utazásokat is működtető társaságok és a hálózati szolgáltatók sokkal nehezebb helyzetbe kerültek. Ahogyan a *Bloomberg* írja, a Covid-19-világjárvány után akár 2024-ig is eltarthat, amíg az utóbbi társaságok is újra elérhetik a forgalom 2019-es évi szintjét – becsli az IATA. Így a Ryanair és a Wizz Air három-öt éves időszakban továbbra is fölfelé törekszik, növekszik, míg a többi cég esetében visszaesik a piaci részesedés. A Wizz Air bővíteni szeretné új bázisát a gatwicki repülőtéren. A társaság alacsony költségen alapuló működését kihasználva egy év alatt egyetlen repülőgépről húszra növeli a le-/felszállás napi számát.

Konklúziók

Az előbbieken bemutatott kép alapján a következő megállapításokat teszem:

- A légi forgalom keresletének súlypontja nyugat felől kelet felé helyeződött át az elmúlt húsz évben.
- A feltörekvő és fejlődő, valamint a fejlett gazdaságok között kiegyenlítődik a légi forgalom az elmúlt évtizedekben.
- A légi forgalom csomópontjai a lakosság, a gazdagság és a tudás központjaihoz kapcsolódnak.
 - a) A legnagyobb, 25 millió főnél nagyobb forgalmú európai repülőterek távolsága egymástól attól függ, hogy mennyire nagy régiójuk népsűrűsége, és milyen a fejlettsége. Minél nagyobb a népsűrűség és a GDP/fő, annál kisebb távolságra helyezkednek el (London–Párizs–Amszterdam, 350–400 km) egymástól. A német ajkú országok európai centrumhoz tartozó városaiban néhány

nagy repülőtér hasonló távolságban található (Frankfurt–München–Zürich, 260–300 km). A periféria felé elhelyezkedő nagy repülőterek között már nagyobb a távolság (Barcelona–Madrid, 480 km; Bécs–Frankfurt–Zürich–Róma, 600–950 km).

- b) A kisebb, de azért még 10 milliósnál nagyobb forgalmú repülőterek az európai perifériákban fekszenek. A centrumhoz viszonyítva mintegy „sub-hubként” funkcionálnak, a kontinensen kívülre létesítenek kapcsolatot: Budapest, Bukarest, Dublin, Helsinki, Koppenhága, Stockholm, Varsó. Ezek a nagy légikikötők a centrumtól 450–950 km-re találhatók. Ide lehet kapcsolni a Londonnal vetekedő nagyságú Isztambult, ahonnan a világon mindenhová repülnek a Turkish Airlines járataival. Ez azonban legalább 1000 km-re található a nagy huboktól.
 - c) A kisebb, de azért legalább 1 millió repülőtér a saját, kisebb régiójában található népességet vonzza, és viszonylag rövidebb repülésre szállítja az utasokat, fapados légi társasággal, vagy a nagy hubokba repül átszállási céllal.
 - d) A szintén kisebb, de azért legalább 1 millió repülőterek között találhatók a turisztikai top úti célok a tengerpart és a hegyek közelében.
 - e) Az 1 milliósnál kisebb repülőterek általában a közelükben található nagy, vagy legalább sub-hub légikikötőbe, a centrumban található kisebb repülőterekre pedig közvetlen úti célként repülnek.
- A nagyobb utasforgalmú repülőterek egyben nagyobb légi áruszállítmányt is forgalmaznak; ráadásul a szokásos tevékenységek mellett (üzletek, éttermek, kávézók, turisztikai és autóbérlési ügynökség, parkoló) más tevékenységgel is foglalkoznak. Néhány légikikötőben a központi tevékenység mellett sok egyéb gazdasági tevékenység is található. Például a müncheni repülőtér egészségügyi szolgáltatást is kínál, sokszor csak a direkt ezért oda repülő utasoknak.
 - A magyarországi repülőterek közül egy van olyan helyzetben, hogy további forgalmát bővítse, a többi csak valami különleges szolgáltatással tudja az utasforgalmat az 1 millió határ fölé emelni. A debreceni és hévíz-sármelléki repülőtéren lehet szélesíteni a szolgáltatás spektrumát. A périnek és a pécsinek csak kevés lehetősége van a bővítésre a nagyobb repülőterek közelsége miatt. Debrecen jó úton haladt az elmúlt évek során, de a Wizz Air légi társaságtól függ a helyzete. A péri esetében az Audi szab határt a lehetőségnek, hiszen a régióban egy-másfél óra alatt nagyobb repülőterek is elérhetőek a lakosoknak. Pécsnél a közelben található eszéki versenytárs egyelőre jobb helyzetben van.
 - Sok magyar sportrepülőtérrel kapcsolatban – akár csak füves, akár betonos futópályákkal – említhetők a jövőbeni lehetőségek, hogy a sporttevékenység (műrepülés, vitorlázó repülés, ejtőernyőzés, helikopter) mellett a könnyű és kisebb business jet számára tud szolgáltatást nyújtani. De a kereskedelmirepülőtér-sűrűség miatt nem látható több lehetőség hazánkban.

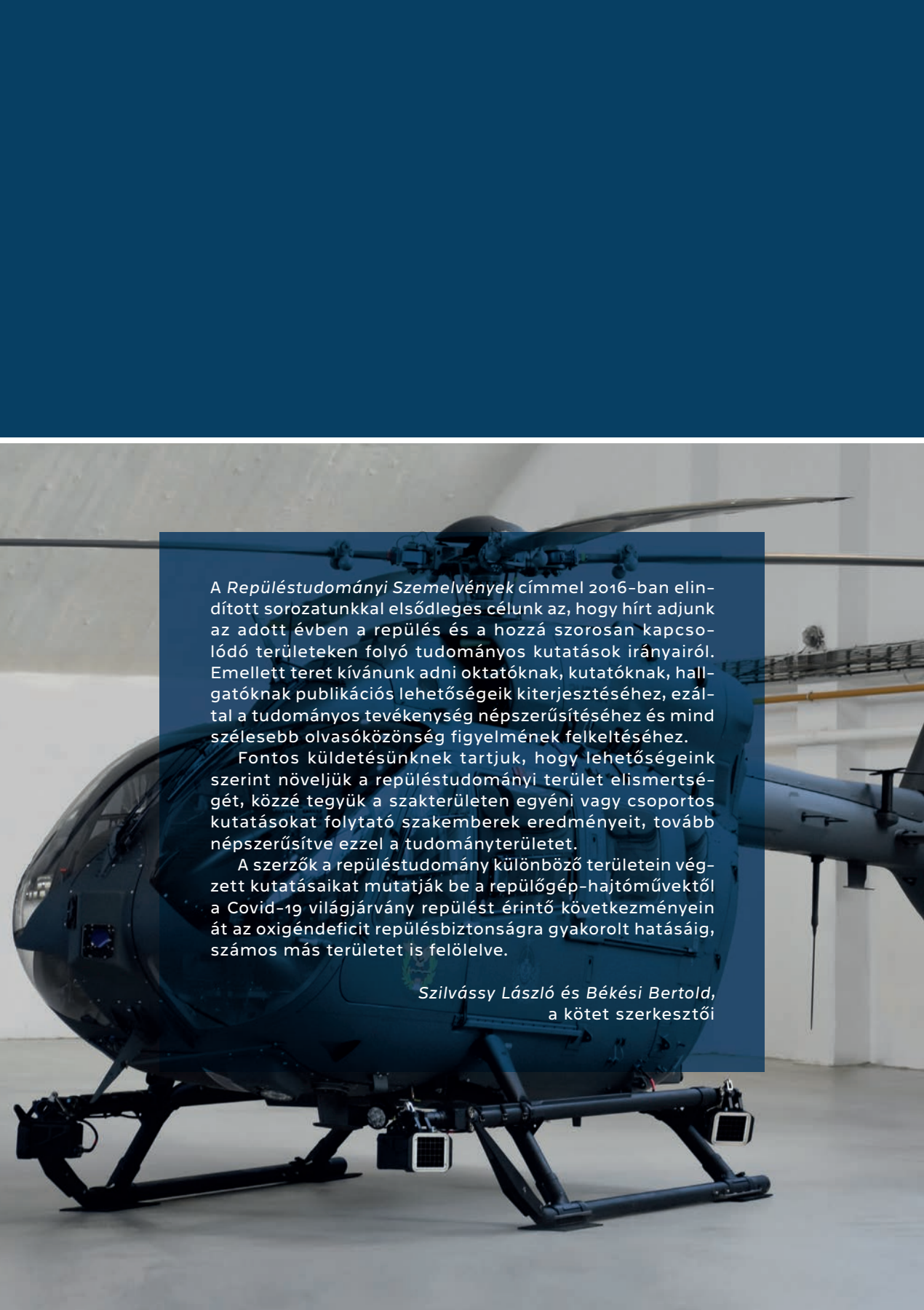
A légi közlekedésre (beleértve a forgalmat, a légitársaságok, a repülőterek, a Covid-19-járvány stb.) vonatkozó globális trendek alapján az alábbi összefüggéseket állapítom meg:

- Változik a demográfiai helyzet (előregedő népesség, a munkaerő-állomány abszolút értékben is csökkenő), de javul a népesség jövedelmi helyzete, ezért növekszik a kereslet a repülés iránt.
- A legfontosabbak a közép- és távol-keleti ázsiai piacok, elsősorban a kínai, indiai, indonéz és thai piac a növekedési lehetőségekben.
- A piacon koncentrálnak a meghatározó piaci szereplők (repülőtársaságok, légi-kikötőt működtetők).
- Már ma is a teljes vertikumban tapasztalható a szakemberhiány (pilóta, légi forgalmi irányító, mérnök, logisztikus stb.), ezért gyorsan kell(ene) bővíteni a szakképzést.
- A Covid-19-járvány miatt kieső kereslet csak „külső” hatást jelent, és amennyiben a járványt leküzdik, akkor a légi közlekedés a gazdasági fellendüléssel együtt indul újra az egyre korszerűbb, környezetbarát légi járművekkel.
- Ha a világjárványt sikerül legyőzni, a kereslet gyorsan visszatér a megszokott trendhez.
- A Wizz Air az egyik törekvő és növekvő fapados légi társaság, jó anyagi bázissal jó lehetőségei vannak a piaci rész bővítésére, és a BLFNR is segítheti, hogy jó pozíciója legyen.

Felhasznált irodalom

- Gittens, Angela: In the balance: Global air transport demand in 2018 and 2019. *International Airport Review*, 2019. szeptember 11. Online: www.internationalairportreview.com/article/101952/world-airport-traffic-report-pre-view-aciworld/
- Aviation Industry Trends for 2020. *Aeronautics*, 2020. január 7. Online: <https://aeronauticsonline.com/aviation-industry-trends-for-2020/>
- Eurocontrol: *Covid-19 impact on the European air traffic network*. Online: www.eurocontrol.int/covid19 és <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Rodier, Guillaume: Projections for international and domestic passenger traffic at airports. *Acı Insights*, 2019. október 31. Online: <https://blog.acı.aero/projections-for-international-and-domestic-passenger-traffic-at-airports/>
- Továbbra is mélyrepülésben a légi közlekedés. *HungaroControl*, 2020. október 5. Online: www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/tovabbra-is-melyrepulesben-a-legi-kozlekedes
- IATA: *Air passenger monthly analysis*. 2020. szeptember. Online: www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-passenger-monthly-analysis--august-2020/
- IATA: *Air freight monthly analysis*. 2020. szeptember. Online: www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-freight-monthly-analysis--august-2020/
- IATA: *International Air Connectivity Crisis Threatens Global Economic Recovery*. 2020. november 25. Online: www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-11-25-03/
- Don't make a slow recovery more difficult with quarantine measures. *IATA press*, 2020. május 13. Online: www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-05-13-03/
- Budapest Airport: elveszhet az útvonalhálózat egy része. *iho*, 2020. április 2. Online: <https://iho.hu/hirek/budapest-airport-elveszhet-az-utvonahalozat-egy-resze-200402>

- HungaroControl: erősödő kisépés forgalom. *iho*, 2020. május 2. Online: <https://iho.hu/hirek/hungarocontrol-erosodo-kisgepes-forgalom-200502>
- Jánosy Ferenc: *A gazdasági fejlődés trendvonala és a helyreállítási periódusok*. Budapest, KJK, 1966. (2. bővített kiadás 1975.)
- Kozma Tamás: *A polgári légi közlekedésben várható változások az új koronavírus okozta járvány következtében*. Külügyi és Külgazdasági Intézet, E-2020/44. 2020. május 5. Online: https://kki.hu/wp-content/uploads/2020/05/44_KKI-elemzes_Aviation_Kozma_20200505.pdf
- KSH Tájékoztató adatbázis. Online: <http://statinfo.ksh.hu/Stainfo/themeSelector.jsp?lang=hu>
- Lucas, Patrick – Aram Karagueuzian: A glimpse at emerging markets. *Acı Insights*, 2019. szeptember 26. Online: <https://blog.acı.aero/a-glimpse-at-emerging-markets/>
- Lucas, Patrick: Demography, geography, and airport traffic. *Acı Insights*, 2019. október 13. Online: <https://blog.acı.aero/demography-geography-and-airport-traffic/>
- Lucas, Patrick – Aram Karagueuzian: The eastward shift and the world's fastest-growing air- ports, *Acı Insights*, 2019. október 9. Online: <https://blog.acı.aero/the-eastward-shift-and-the-worlds-fastest-growing-airports/>
- Lucas, Patrick: The high-wire balancing act — Global air transport demand in 2018 and 2019. *Acı Insights*, 2019. szeptember 6. Online: <https://blog.acı.aero/the-high-wire-balancing-act-global-air-transport-demand-in-2018-and-2019/>
- Siddharth, Vikram Philip: Europe's discount carriers look to gain share as rivals shrink. *Bloomberg*, 2020. augusztus 27. Online: www.bloomberg.com/news/articles/2020-08-27/europe-s-discount-carriers-look-to-gain-share-as-rivals-shrink
- Váci István: *Európa legnagyobb fapadosa lett a Wizz Air – vak vagy bator a cég?* *G7 online*, 2020. május 18. Online: <https://g7.hu/vallalat/20200518/europa-legnagyobb-fapadosa-lett-a-wizz-air-vak-vagy-bator-a-ceg/>
- Wizz Air Hungary Zrt. beszámoló. Online: https://e-beszamolo.im.gov.hu/oldal/kereses_megjelenites?b=8Q%2bYvvJZipRI-LZybXD3WKA%3d%3d&so=1&o=s2f9H40XugH6%2bFlwnAcCcg%3d%3d

A black helicopter is displayed in a museum setting. The helicopter is positioned in the foreground, with its main rotor blades and tail rotor visible. The background shows a white wall and a staircase. A semi-transparent blue box is overlaid on the image, containing text in Hungarian.

A *Repüléstudományi Szemelvények* címmel 2016-ban elindított sorozatunkkal elsődleges célunk az, hogy hírt adjunk az adott évben a repülés és a hozzá szorosan kapcsolódó területeken folyó tudományos kutatások irányairól. Emellett teret kívánunk adni oktatóknak, kutatóknak, hallgatóknak publikációs lehetőségeik kiterjesztéséhez, ezáltal a tudományos tevékenység népszerűsítéséhez és mind szélesebb olvasóközönség figyelmének felkeltéséhez.

Fontos küldetésünknek tartjuk, hogy lehetőségeink szerint növeljük a repüléstudományi terület elismertségét, közzé tegyük a szakterületen egyéni vagy csoportos kutatásokat folytató szakemberek eredményeit, tovább népszerűsítve ezzel a tudományterületet.

A szerzők a repüléstudomány különböző területein végzett kutatásaikat mutatják be a repülőgép-hajtóművektől a Covid-19 világjárvány repülést érintő következményein át az oxigéndeficit repülésbiztonságra gyakorolt hatásáig, számos más területet is felölelve.

Szilvássy László és Békési Bertold,
a kötet szerkesztői