



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK



XXIX. évfolyam
2017. 1. szám

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
KATONAI REPÜLŐ INTÉZET
TUDOMÁNYOS KIADVÁNYA**

**Online kiadás
HU ISSN 1789-770X
Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604**

IMPRESSZUM

Szerkesztőbizottság elnöke:

Prof. Dr. Óvári Gyula ny. ezredes, CSc
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztőbizottság elnökhelyettese:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Főszerkesztő:

Dr. Békési Bertold alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztő és webszerkesztő:

Dr. Szilvássy László alezredes, PhD
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service

Szerkesztőbizottság tagjai és egyben rovatvezetők:

Dr. Kavás László alezredes, PhD (Repülőműszaki)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Békési Bertold alezredes, PhD (Üzemeltetés, karbantartás)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD (Légiközlekedés, légierő alkalmazás)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Szilvássy László alezredes, PhD (Multidiszciplináris)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Dunai Pál alezredes, PhD (Hallgatói)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Dr. Bottyán Zsolt százados, PhD (Repülésmeteorológiai)
Nemzeti Közzolgálati Egyetem/National University of Public Service
Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, CSc (Pilotánélküli repülő-eszközök)

A REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK című folyóirat a NEMZETI KÖZZSOLGÁLATI EGYETEM HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR KATONAI REPÜLŐ INTÉZET, illetve jogelődjei által alapított folyóiratának jogutódja, a repüléstudomány tematikus kiadványa.

A folyóirat célja lehetőséget teremteni a kutatók, az oktatók, doktori, valamint a mester- és alapképzésben résztvevő hallgatók kutatási eredményeik közzétételére a repüléstudomány-, illetve az ehhez kapcsolódó területeken.

MEGJELENÉS

A kiadvány évente három alkalommal jelenik meg, a megjelenő írások lektoráltak. A közlésre szánt tanulmányokat Repüléstudományi Közlemények honlapján kell regisztrálni és feltölteni http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html. További részletekért látogasson el honlapunkra.

Kiadó:

Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet
Kiadásért felelős: Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési cím: NKE Repüléstudományi Közlemények 5008 Szolnok, Pf.: 1.
Telefon: +36-56-510-535
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu
HU ISSN 1789-770X (Online)

HU ISSN 1417-0604 (Nyomtatott)

Borítón található fényképet Dr. Toperczer István készítette

TARTALOM

Fenyvesi Csaba Átalakításokkal kapcsolatos tervek ellenőrzési módszerének javítása	7
Farkas Csaba Szálerősítéses kompozit, alumínium és speciális acél ötvözetek alkalmazása légijárművek kormányvezérlő rendszereiben	15
Nagy László A helikopter-képesség fejlesztés lehetséges irányai	47
Makkay Imre Ütközések elkerülése a kigépes és a pilóta nélküli repülésben	59
Gönczi Gergely A Közel-Kelet és a tömegpusztító fegyverek: Szíria	67
Dudás Zoltán Repülésbiztonság emberi hiba nélkül?	75
Kolláth Kornél Fényszennyezés és meteorológia – felhőalap magasság becslése éjszaka égbolt kamera felvételek segítségével	83
Beneda Károly Tamás, Rohács Dániel, Kavas László, Óvári Gyula Mérő-adatgyűjtő rendszer kiválasztása alternatív tüzelőanyagok vizsgálatára készülő mikrogázturbinás próbapadhoz	95
Szilágyi Dénes Számítógépes teljesítményanalízis helikopterüzemeltetéshez 1. teljesítmény osztályban	113
Dávid Molnár, Árpád Veress Implementation and Utilization of Inverse Design Method for Static Pressurize in Cascade	125
Szabó Sándor András Fizikai állóképesség és egészség-tudatosság repülésbiztonsági jelentősége	175
Wantuch Ferenc, Gáspár Nikolett Szondázási adatokon alapuló látástávolság előrejelzési módszer ködös és hideg légpárnás esetekben a Liszt Ferenc repülőtéren	195

TARTALOM

Dudás Dezső, Somosi Vilmos, Rohács Dániel A Remote Tower technológia polgári és katonai alkalmazási lehetőségei	205
Timár Ágnes, Szabó Zoltán Attila, Weidinger Tamás A keveredési réteg magasságának meghatározása fehér alap-mérők visszaszóródási időszoraiból	219
Wantuch Ferenc, Szaniszló Zsolt, Bujdosó Bence A katonai ejtőernyőzés meteorológiai támogatása	233
XX	
XX	xx
XX	
XX	xx

TARTALOM

TARTALOM

SZERZŐK – AUTHORS

<p>Dr. Beneda Károly (PhD) adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék</p> <p>kbeneda@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0003-1900-7934</p>	<p>Beneda Károly (PhD) Assistant professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles</p> <p>kbeneda@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0003-1900-7934</p>
<p>Bujdosó Bence egyetemi hallgató Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék bence.bujdos@gmail.com orcid.org/0000-0001-5195-753X</p>	<p>Bujdosó Bence Student National University of Debrecen Faculty of Meteorology bence.bujdos@gmail.com orcid.org/0000-0001-5195-753X</p>
<p>Dr. Dudás Zoltán (PhD) ny. alezredes, repülésbiztonsági szakértő doktorpilot@gmail.com orcid.org/0000-0002-8682-884X</p>	<p>Dr. Dudás Zoltán (PhD) ret. Lt. Col. flight safety expert doktorpilot@gmail.com orcid.org/0000-0002-8682-884X</p>
<p>Faltin Zsolt (MSc) PhD hallgató Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék</p> <p>zsfaltin@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-8361-1397</p>	<p>Faltin Zsolt (MSc) PhD Student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles</p> <p>zsfaltin@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-8361-1397</p>
<p>Dr. Farkas Csaba, PhD Gépészmérnök Repülőgép kompozit szerkezeti mérnök IWE/EWE hegesztő szakmérnök Genevation Aircraft Kft (www.genevation.hu) csaba.farkas@genevation.hu orcid.org/0000-0001-9564-8026</p>	<p>Dr.Farkas Csaba, PhD Mechanical Engineer Aircraft composite structural engineer IWE/EWE welding engineer Genevation Aircraft Kft (www.genevation.hu) csaba.farkas@genevation.hu orcid.org/0000-0001-9564-8026</p>
<p>Fenyvesi Csaba (MSc) gépészmérnök MVM Paksi Atomerőmű ZRt. fenyvesic@npp.hu orcid.org/0000-0001-8805-3307</p>	<p>Fenyvesi Csaba (MSc) mechanical engineer Nuclear Power Plant of Paks fenyvesic@npp.hu orcid.org/0000-0001-8805-3307</p>
<p>Gáspár Nikolett egyetemi hallgató Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék gaspar.nikolett0910@gmail.com orcid.org/0000-0003-4339-3302</p>	<p>Gáspár Nikolett Student National University of Debrecen Faculty of Meteorology gaspar.nikolett0910@gmail.com orcid.org/0000-0003-4339-3302</p>

SZERZŐK – AUTHORS

Gönczi Gergely PhD. hallgató Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola g.gergely87@gmail.com orcid.org/0000-0003-2026-9237	Gergely Gönczi PhD. student National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Doctoral School of Military Engineering g.gergely87@gmail.com orcid.org/0000-0003-2026-9237
Dr. Kavas László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527	Kavas László (PhD) Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527
Kisszölgémi István (BSc) hallgató Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék istvankisszol@gmail.com orcid.org/0000-0003-4463-6222	Kisszölgémi István (BSc) Student Budapest University of Technology and Economics Department of Aeronautics Naval Architecture and Railway Vehicles istvankisszol @gmail.com orcid.org/0000-0003-4463-6222
Dr. Makkay Imre, CSc nyugalmazott egyetemi tanár drmi48@gmail.com orcid.org/0000-0003-3513-1310	Dr. Makkay, Imre, CSc professor emeritus drmi48@gmail.com orcid.org/0000-0003-3513-1310
Molnár Dávid (BSc) Hallgató Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járómérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék molnarpdavid@gmail.com orcid.org/0000-0002-2384-1836	Molnár Dávid (BSc) Student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles molnarpdavid@gmail.com orcid.org/0000-0002-2384-1836
Nagy László alezredek törzsfőnök-helyettes MH. 86 Szolnok Helikopter Bázis lesliebig@freemail.hu orcid.org/0000-0002-7831-8639	LtCol. László Nagy deputy chief of staff HDF 86 th Helicopter Base lesliebig@freemail.hu orcid.org/0000-0002-7831-8639
Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861	Óvári Gyula, CSc Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine ovari.gyula @uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861

SZERZŐK – AUTHORS

<p>Dr. Rohács Dániel (PhD) egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék</p> <p>drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417</p>	<p>Rohács Dániel (PhD) Associate professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417</p>
<p>Dr. habil. Szabó Sándor András, PhD Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő-és Űrorvosi Tanszék mb. tanszékvezető (docens) sasi19620@gmail.com orcid.org/0000-0002-1362-4723</p>	<p>Dr. habil. Sándor (Alex) András (Andrew) Szabó, PhD National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Lecturer of Doctoral School of Military Engineering University Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine, assigned Associate Professor sasi19620@gmail.com orcid.org/0000-0002-1362-4723</p>
<p>Szabó Zoltán Attila okl. meteorológus szabo.z.attila@gmail.com orcid.org/0000-0003-1113-2116</p>	<p>Szabó Zoltán Attila Meteorologist, MSc szabo.z.attila@gmail.com orcid.org/0000-0003-1113-2116</p>
<p>Szaniszló Zsolt okl. mk. őrnagy (MSc) repülésfelügyeleti (ejtőernyős) főoszt Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály sunnyboymi24@gmail.com orcid.org/0000-0003-0646-1505</p>	<p>Eng. Maj. Szaniszló Zsolt (MSc) Flight supervisor (parachutist) senior officer Ministry of Defence State Aviation Department sunnyboymi24@gmail.com orcid.org/0000-0003-0646-1505</p>
<p>Dr. Szilágyi Dénes (PhD) főiskolai docens Nyíregyházi Egyetem Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék szilagy.denes@nye.hu http://mmfk.nyf.hu/kit/index.htm orcid.org/0000-0001-6055-0010</p>	<p>Dénes Szilágyi (PhD) college associate professor University of Nyíregyháza Department of Transportation and Infotechnology szilagy.denes@nye.hu http://mmfk.nyf.hu/kit/index.htm orcid.org/0000-0001-6055-0010</p>
<p>Timár Ágnes MSc hallgató Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék timar.a@met.hu orcid.org/0000-0003-0613-4977</p>	<p>Timár Ágnes MSc student Eötvös Loránd University Department of Meteorology timar.a@met.hu orcid.org/0000-0003-0613-4977</p>
<p>Dr. Veress Árpád Egyetemi Docens Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék</p> <p>averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494</p>	<p>Dr. Veress Árpád Associate Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transporting Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautical, Naval Architecture and Railway Vehicles averess@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-1983-2494</p>

SZERZŐK – AUTHORS

Dr. Wantuch Ferenc, PhD
Meteorológus
Nemzeti Közlekedési Hatóság
Állami Légügyi Főosztály
wantuch.ferenc@nkh.gov.hu
orcid.org/0000-0001-7618-1336

Dr. Wantuch Ferenc, PhD
Meteorologist
National Transport authority
State Aviation Department
wantuch.ferenc@nkh.gov.hu
orcid.org/0000-0001-7618-1336

Dr. Weidinger Tamás, PhD
egyetemi docens
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék
weidi@caesar.elte.hu
orcid.org/0000-0001-7500-6579

Dr. Weidinger Tamás, PhD
Associate Professor
Eötvös Loránd University
Department of Meteorology
weidi@caesar.elte.hu
orcid.org/0000-0001-7500-6579

Fenyvesi Csaba

ÁTALAKÍTÁSOKKAL KAPCSOLATOS TERVEK ELLENŐRZÉSI MÓDSZERÉNEK JAVÍTÁSA

A mérnöki tervezés során a tervező a legszélesebb tudományos és mérnöki ismeretek alkalmazásával éri el azt az optimális végeredményt, amely minden tekintetben kielégíti a megrendelő igényeit. Annak érdekében, hogy tényleg a legjobb megoldás szülessen a tervezőnek tervezői, üzemeltetési, karbantartási és kivitelezési gyakorlattal is rendelkeznie kellene. Nem kis elvárás mindezen ismeretek birtokában lenni és ez legtöbbször nem is valósul meg egy személyben. Komolyabb vagy bonyolultabb tervezés csak csapatmunkában képzelhető el. De még ezek ellenére is kiemelt jelentősége van az egyéni tudásnak, tapasztalatnak és teljesítménynek. E cikk egy olyan módszert mutat be a tervezési folyamat ellenőrzésére, ahol az egyéni és csapattudás maximalizálható.

Kulcsszavak: tervellenőrzés, szisztematikusság, konstrukció-katalógus, tapasztalat-katalógus

1. BEVEZETÉS

Példák segítségével [2] tanulmányában a Szerző bemutatta, hogy műszaki átalakítások, új erőművi technológiai rendszerek tervezése esetén milyen problémák merülnek fel a tervek minőségét illetően, amely minőségi problémák egyértelműen igazolható módon jelennek meg a mérnöki munka végeredményeiben a megvalósított műszaki berendezésekben, rendszerekben.

Ishikawa módszer segítségével elemezte az alapvető fő- és gyökér okokat. Ennek eredményeképpen megállapította, hogy a szisztematikus tervellenőrzés módszerének, az üzemeltetési, karbantartási és tervezési tapasztalatok meglétének és felhasználásának, konstrukció-katalógus használatának és a tervezési folyamat dokumentált ellenőrzésének hiánya eredményezheti, hogy a tervek nem minden esetben felelnek meg a megrendelői igényeknek vagy az elvárható mérnöki, műszaki elvárásoknak.

Jelen cikk célja egy, az üzemeltetési szakemberek számára kidolgozott tervellenőrzési módszer bemutatása, amely módszer használatával csökkenteni lehet a tervek minőségi problémáit azáltal, hogy az üzemeltetésben részt vevő szakemberek a tervezés során érdemben, az üzemeltetési tapasztalataik figyelembe vételével tudják véleményezni a különböző szintű terveket. Ennek eredményeképpen a beruházások, projektek költségei csökkenthetők, mert elmaradnak az utólagos tervmódosítások, a Megrendelő elégedett lesz a végeredménnyel, mert nem a létesítéskor derülnek ki olyan alapvető hiányok, amelyek a tervezés fázisaira vezethetőek vissza.

A tanulmány fejezetinek tartalma a következő: A 2. fejezetben a tervellenőrzés javasolt módszertanának bemutatására kerül sor, a 3. fejezet a tervellenőrzés folyamatának dokumentálását, míg a 4. és az 5. fejezetek a tapasztalat- és a konstrukció katalógus felépítésére mutatnak be egy-egy javaslatot. A 6. fejezetben az összegzés és a további célok megfogalmazása olvasható.

2. A TERVELLENŐRZÉS MENETE

Fontos, hogy a tervellenőrzéskor nyomon lehessen követni a tervező gondolkodását. Ha ismerjük a tervező gondolkodásmódját, akkor tudjuk, hogy mi miért van a rendszervben, de ennél

fontosabb, hogy rá tudjunk arra jönni, hogy mi hiányzik a rendszerből, mi az, ami nem felel meg a szabványoknak és az elvárt gyakorlatnak.

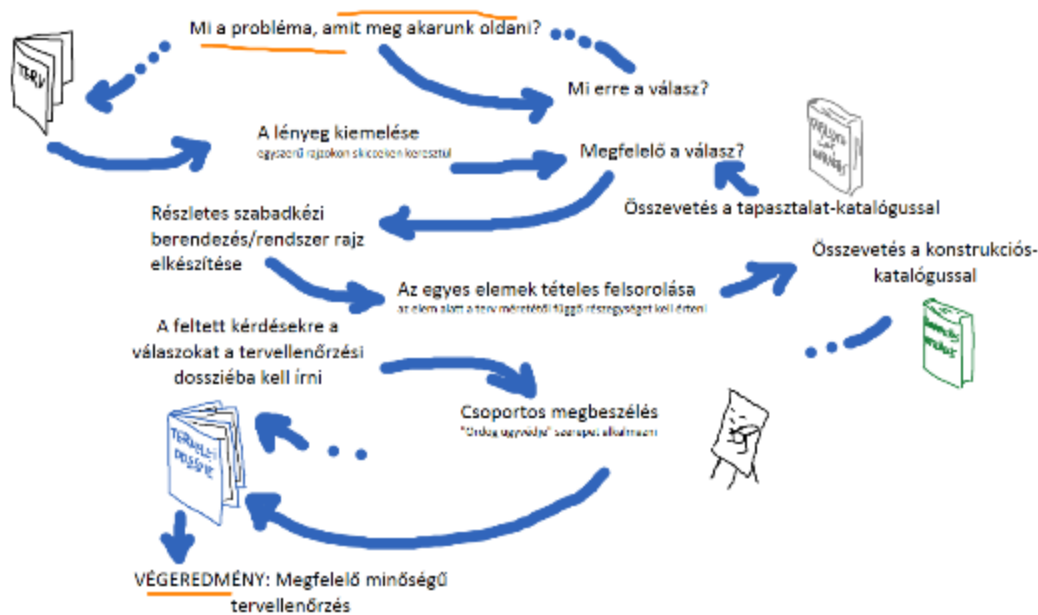
Nem cél a tervezés menetének pontos ismertetése, arra ott vannak a szakirodalmak, egyszerűen csak kérdéseken keresztül kell megvilágítani az átalakítás lényegét, erősségeit és gyenge pontjait.

Bonyolult rendszer esetén szét kell darabolni a tervet kisebb rendszerekre, mindaddig, amíg át nem látjuk az adott részrendszer működését.

A tervellenőrzést írásos formában kell végrehajtani, aminek oka, hogy írásban sokkal jobban látja át az ember a hibákat, mint az adott tervet korrektúrázva. A korrektúra természetesen szükséges, mert az észrevételeket könnyebb így kezelni, de csak a korrektúras javítás elfedi a lényegét és nem hozza elő a hiányokat. A sok korrektúra, függetlenül azok súlyától, elégedetté teszi a tervellenőrzést és ezáltal csökken az érzékenység a komoly elvi hibák felfedezéséhez.

Az 1. ábrán a tervellenőrzés egyszerűsített folyamata látható.

A folyamat a „Mi a probléma, amit meg akarunk oldani?” kérdéssel indul, majd segédletek segítségével (tapasztalat katalógus, konstrukciós katalógus és tervellenőrzési dosszié) egyéni felkészüléssel és csoportfoglalkozások megtartásával szisztematikusan feldolgozza a tervező által készített terv tartalmát és minőségét.



1. ábra A tervellenőrzés egyszerűsített folyamata

Végeredményként egy dossziében összegyűjtve (Tervellenőrzési dosszié) az összes olyan információ szerepel, ami a tervben érintett csoport összes tudását tartalmazza.

Ezzel biztosítható az, hogy a terv független ellenőrzése a lehető legmagasabb minőségű legyen, ami mind szakmai, mind gazdasági szempontból, a szakembereknek, a csoportnak, az erőmű egészének a maximális hasznot eredményezi.

3. TERVELLENŐRZÉSI DOSSZIÉ

A tervellenőrzési dosszié javasolt felépítése a 2. ábrán látható.

TERV SZÁMA: XXXXXXXXXXXX
TERV CÍME : Hűtővíz vezeték átalakítása

Mi az átalakítás célja?

1. Megszünteti a merev kapcsolatot a szivattyú nyomóága és a csapágyhűtővíz vezeték között
2. Új elzáró és visszacsapó szelep kerül beépítésre

Mi az átalakítás haszna?

1. Csökken a rezgésből, feszültségből származó cső és szerelvény meghibásodások száma, mert ...
2. Nő a rendszer megbízhatósága, mert ...
3. Csökkenek a karbantartási költségek, mert ...

Mik voltak az előzmények?
Ide kerül röviden pár gondolat az előzményekről.

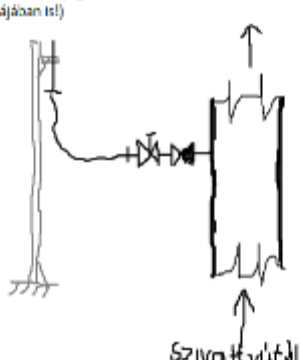
TERV SZÁMA: XXXXXXXXXXXX
TERV CÍME : Hűtővíz vezeték átalakítása

Melyek az átalakításban érintett részegységek?
(olyan szintig kell alábontani, hogy a lényeg ne vesszen el, : kapcsolódik a "Mi az átalakítás lényege?" laphoz)

- Flexibilis csővezeték
- Elzáró szerelvény
- Visszacsapó szelep
- Csőbilincs
- Tartószerkezet

TERV SZÁMA: XXXXXXXXXXXX
TERV CÍME : Hűtővíz vezeték átalakítása

Mi az átalakítás lényege?
(rajz formájában is!)



Íde jönnek egyéb rajzok, skiccek, minden ami érthetővé teszi az átalakítást.
Ez a rész több lapon keresztül is folytatható...

2. ábra Tervellenőrzési dosszié formalapjai

Az első oldalakon célszerű meghatározni az átalakítás célját és hasznát. Ez, a sok esetben triviálisnak tűnő meghatározás feleslegesnek tűnik, de amennyiben nem értjük meg az igazi célját az átalakításnak, abban az esetben elveszhetünk a részletekben és hiányozni fog az az átfogó nézőpont, amihez, mint alaphoz mindig vissza kell térni a tervezés során, és ami alapján el tudjuk dönteni az egyes részletekről, hogy hozzátartozik az átalakításhoz vagy nem. Másképpen megfogalmazva pontosan tudván a terv pontos célját a terv nem fog elburjánozni és nem fognak belekerülni felesleges és ezáltal költségnövelő elemek, ami viszont benne van az mind szükséges az eredeti cél eléréshez.

A cél mellett ugyanilyen fontos megfogalmazni a terv hasznát is, mert ha ezt nem tudjuk megfogalmazni, akkor az átalakítást nem szabad elvégezni. A hasznok megfogalmazása során csak

az egyértelmű és számszerűsíthető, azaz az átalakítás után egyértelműen visszamérhető és ezzel az átalakítás sikerességét minősíthető elemek szerepeljenek itt.

Következő lépésként a tervet a globális nézőponttól az apró részletekig célszerű feldolgozni. Ebben segítséget tud nyújtani egy olyan Konstruktó-katalógus, amely kérdéseken keresztül vezeti meg a tervező vagy tervellenőr gondolkodását és, amely ugyan nem tartalmaz minden alapvető tervezési részletet bemutató figyelemfelhívást, de az adott iparágra jellemző megoldásokra, tapasztalatokra, gyakorlatokra, problémákra kérdéseken keresztül felhívja a figyelmet.

4. TAPASZTALAT-KATALÓGUS

A tapasztalat-katalógus a probléma rövid megnevezését, kulcsszavakat a könnyebb kereséshez, rendszerkódot (ami alapján ez egyes rendszerek megkülönböztethetők egymástól), az átalakítás időpontját, az esettanulmány rövid bemutatását és a tanulságát mutatja be és formalapja a 3. ábrának megfelelő módon épül fel.

Az eset bemutatása olyan részletességgel történjen, ami a tanulság levonásához megfelelő mélységű információkat tartalmaz, de el kell kerülni a minden részletet bemutató esettanulmányt, mert akkor az nagymértékben gátolja a gyors feldolgozhatóságot, olvashatóságot miközben a célja éppen az, hogy gyors és informatív módon hívja fel a figyelmet a tanulságra. Ennek a célnak megfelelően alapvető fontosságú, hogy a rövid szöveges ismertetést egy egyszerű rajz, skicc is segítse. Ez olyan szempontból is fontos, hogy az esetet leíró személy rá legyen kényszerítve a lényeg kiemelésére és megértésére, ami így természetesen más olvasó számára is egyszerűbbé teszi a lényeg megértését és megjegyzését.

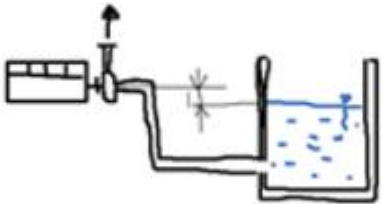
5. KONSTRUKCIÓ-KATALÓGUS

A Konstruktó-katalógus kérdéseken keresztül közelíti meg az adott megoldás előnyeit, hátrányait, optimális voltát. A tervellenőr személynek a kérdésekre kell válaszolni, célszerűen írásban, de javasolt a skiccek használata. Amennyiben a válaszok leírás nélkül, fejben kerülnek megválaszolásra úgy nagy a valószínűsége a félreértésnek és a felületes tervellenőrzésnek.

A szisztematikus válaszadás rendkívül fontos eleme a tervellenőrzésnek, mert ha a feltett kérdésekre egyértelmű választ tud adni a tervellenőr személy, akkor valószínűleg meg is értette a tervező által javasolt megoldási módszert és ez lehetőséget ad a tervellenőr személynek, hogy az adott megoldási módszer előnyeit és hátrányait is megértse.

A skiccek általi válaszadás még hatékonyabb az írásbeli válasznál, mert a skiccelés rákényszeríti a válaszadó tervellenőrzőt, hogy a tervet „átkonvertálja” skicc formájába és ez rendkívül hatékony megértési módszer (természetesen akkor, ha a skicc ugyanazt a funkciót tudja, mint az tervben lévő megoldási javaslat).

A konstruktó-katalógus nemcsak kérdéseket tartalmaz, hanem, ahol lehetséges ott rövid, tömör rajzi segítséget is.

<p>Probléma rövid leírása: Szivattyú beépítési magassága nem megfelelő</p> <p>Kulcsszavak: NPSH, beépítési magasság, indíthatóság, ráfolyás</p> <p>Rendszerkód: 0AAAB12</p> <p>Átalakítás időpontja: 2005.11.</p>
<p>Esettanulmány rövid ismertetése</p> <p>Az elavult dízelhajtású hűtővízszivattyú-telep teljes rekonstrukciója vált esedékessé a biztonságnövelő rekonstrukció keretein belül. Új helyen, új szivattyúk telepítése volt a feladat. A tervezés során a szivattyúk NPSH feltételeinek biztosításához nem a kellő mértékű ráfolyást választotta a tervező, hanem a rendkívül bizonytalan működésű szívóoldali nyomástartó tartályt és az ehhez kapcsolódó bonyolult szivattyú indítási módszert.</p>

<p>Tanulság</p> <p>A szivattyúk NPSH paramétere fontos információ a szivattyúk problémamentes indíthatóságának és <u>kavitációmentes</u> üzemének létrehozásához.</p>

3. ábra Tapasztalat-katalógus formalapja

Az alábbiakban részletek láthatók a Konstruktó-katalógusból, amely jelenleg fejlesztés alatt van.

Rendszerszintű kérdések

- Miért akarunk optimalizálni, átalakítani?
- Mi az átalakításban érintett rendszer funkciója?
- Mi az egyes alrendszerek funkciója?
- A rendszer minden üzemi állapotban tudja az eredeti célt teljesíteni?
- Milyen egyéb üzemmódok vannak, amik kritikusak lehetnek valamilyen szempontból?
- Milyen szempontrendszer szerint lehet csoportosítani a rendszer funkcióit?
- Mit akarunk tenni? És miért?

Az átalakítás kockázatelemzése

- Mi történik, ha nem sikerül az átalakítás?
- Milyen üzemeltetési kockázata van az adott megoldásnak?
- Milyen karbantartási kockázata van az adott megoldásnak?

Mérnöki számítások

- A számításoknál használt modellek megfelelnek az ipari gyakorlatnak?

- A számítások helyesek?
- A számítások bizonytalanságai elfogadhatóak?

Berendezés szintű kérdések

- Terhelési diagram tulajdonságai ismertek?
- Tartamdiagram tulajdonságai ismertek?
 - pillanatnyi értékek (minimum, maximum, átlag, gyakoriság)
 - puffer, légüst, tágulási tartály, kiegyenlítő tartály stb. szükséges az egyenlőtelenlégek kiküszöbölésére?

A tervben lévő hivatkozások

- Belső hivatkozások megfelelőek?
- Külső hivatkozások megfelelőek?
- A hivatkozások nem túl általánosak? Tartalmazznak érdemi információt?
- A terv saját Tartalomjegyzéke alapján logikus a terv felépítése?
- A terv megfelel az erőműves tervezési eljárásrendnek?

Hidraulikus rendszer

nyomott rendszer

- Megfelelő a nyomás a rendszer minden pontjában?
- Kiforrás ellen védett a rendszer?
- Biztosított a megfelelő térfogatáram a fogyasztók részére?
- Vannak kavitáció veszélyes helyek?
- Légzsákok kialakulhatnak? (lejtés megfelelő?)
- Szűrők mérete, illesztése megfelelő?
- A gyors armatúra zárás következményei tisztázottak?•

nyílt felszínű rendszer

- Hullámtörés ellen védett a rendszer?
- A csatorna ellenállás növekedése okoz veszélyes árhullámot?

hurkolt rendszer

- Lengések kialakulhatnak a rendszerben?
- A gyors armatúra zárás következményei tisztázottak?

általános kérdések

- Iránytörések száma minimális?
- A nyomvonalvezetés logikus és gyakorlatias?
- A csőhossz minimális?
- A hidraulikus rendszer egyéb szerkezeti elemeinek szerepe, mérete, elhelyezkedése tisztázott?

Szivattyútervezési alapok

- A szivattyú jelleggörbéje illeszkedik a fogyasztói igényekhez?
- Változó üzemi paraméterek várhatóak vagy stabil üzemre kell tervezni?
- A szivattyú indíthatóság feltételei biztosítottak? pl. villamos motor indítási áramkorlátozás szükséges?
- NPSH megfelelés, önfelszívás, előtétzivattyúk szükségesek?

- A sorba vagy párhuzamosan kapcsolt szivattyúk illesztése megtörtént?
- A hidraulikus veszteségeket a szivattyúk tudják pótolni?
- A szívócsőben megfelelő az áramlási sebesség (kisebb, mint 1 m/s az ajánlott)?
- A villamos betáplálás illeszkedik a szivattyú üzemmódjához?
- A szivattyú leüríthető?
- A szivattyú feltölthető?
- A szivattyú légteleníthető?
- A környezeti körülményeknek megfelel a szivattyú?
- A szivattyú telepítési körülmények megfelelőek?
- A szivattyú szerelhetőségi körülmények megfelelőek?
- A szivattyú szabályozhatósága megfelelő?
- Nyomáslengések várhatóak a szivattyú üzemelés közben?
- A szivattyú forgásiránya ellenőrizhető?
- A szállított anyag károsítja a szivattyút? Ha igen megfelelő védelemmel van ellátva?
- A folyadékhiányt elviseli a szivattyú?
- Visszafolyás gátló szükséges?
- Visszacsapó szelep szükséges?
- A villamos motor hűtése biztosított a különböző üzemállapotokban?
- A szivattyú indítási gyakorisága problémamentes?
- Az indítási feltételek biztosítottak minden körülmény között?
- A szivattyú saját és rendszervédelmei megfelelőek? pl.: kiegyenlítő tárcsa védelme, hőfokvédelem, rezgésvédelem, szárazon futás elleni védelem stb.
- A beépítési irány (vízszintes, függőleges) megfelelő?
- A szivattyú hatásfoka megfelelő, optimalizálható?

ÖSSZEGZÉS

A műszaki átalakítások vagy új rendszerek tervezésének folyamata komplex és mélyreható mérnöki ismereteket igényel, mert az ideális tervezőnek az elméleti műszaki ismereteken túl, kivitelezési, üzemeltetési és karbantartási ismeretekkel, gyakorlattal is rendelkeznie kell. Ezen felül, nem utolsósorban a tervezőnek világosan tudnia kell elemeznie a megoldási javaslatok gazdaságosságát, hiszen mindennek eredményeképpen minden tervezés célja, hogy a Megrendelő szempontjából hasznos és értékes végeredmény szülessen.

Ennek az elvárásnak nem egyszerű megfelelni, mert a kellő tervezési tudás csak megfelelően sok tapasztalattal és azok folyamatos elemzésével, fejlesztésével fog erősödni.

A tervezőktől elvárt sokoldalúság sok kihívást tartalmaz, mert az ideális tervezői életpálya üzemeltetési és karbantartási gyakorlatok megszerzésével kezdődne, de arra sokszor nincs lehetőség és fordítva is igaz, hogy azon szakemberek, akik az üzemeltetés és karbantartás területén helyezkednek el, ritkán váltanak a tervezői életpályára. Emiatt hasznos és célravezető, hogy mind a tervezőknek, mind az iparban dolgozó mérnököknek olyan segédletek, támogató dokumentumok álljanak rendelkezésre, amelyek iránymutatást tudnak adni egy-egy probléma felfedezésében és esetleg azon probléma megoldásában is.

A tanulmányban bemutatott módszert ezen szándékkal dolgozta ki a Szerző, amelynek lényege a szisztematikusság, tapasztalatgyűjtés és a visszacsatolás.

Célja a Szerzőnek a javasolt tervellenőrzési módszer tapasztalatainak gyűjtése és majdani elemzése, ezáltal a módszer finomítása és pontosítása, továbbá a tapasztalat-, és konstrukció-katalógus folyamatos bővítése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. SAMUEL, J. WEIR: Introduction to Engineering Design, Modelling, Synthesis and Problem Solving Strategies, Elsevier, Oxford, 2005, ISBN 075 06 4282 3
- [2] FENYVESI CSABA: Átalakításokkal kapcsolatos tervek minőségi kihívásai, Repüléstudományi Közlemények 2016/3 pp. 141–150, url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-09-0357_Fenyvesi_Csaba.pdf
- [3] GÁCS IVÁN: Energetika, url.: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_34_energetika_2/ch01.html, (2016. december 14.)
- [4] G. PHIL, W. BEITZ, J. FELHUSEN, K.H. GROTE: Engineering Design, A Systematic Approach, Third Edition, Springer-Verlag London, 2007
- [5] KAMONDI LÁSZLÓ, SARKA FERENC, TAKÁCS ÁGNES: Fejlesztés-módszertani ismeretek url.: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_G3_02_ebook_fejlesztes_mozszertani_ismeretek/adatok.html (2016. december 13.)
- [6] KAMONDI LÁSZLÓ: A gépészeti tervezés módszerei, url.: <http://docplayer.hu/12662666-A-gepeszeti-tervezes-mozszerei.html>, (2016. december 14.)
- [7] PATTANYÚS Á. GÉZA: A gépek üzemtana, Műszaki Tankönyvkiadó, Budapest, 1983, ISBN: 963 10 4808 X
- [8] ZSÁRY ÁRPÁD: Gépelemek II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1991, ISBN 963 18 3652 5

IMPROVEMENT OF METHOD OF ENGINEERING DESIGN

The main reason of the engineering design is to apply scientific and engineering knowledge in order to satisfy the demands of customers due to find the best solution. So as to birth the best solution the engineer should possess knowledge of engineering design, operation, maintenance and construction experiences. To be in possession of it is quite big task and often it is impossible to gather all of these knowledge in one person. Complex and complicated design can be imagined only in the teamwork. But even so the person's knowledge and experience are very important. This article shows a simple solution to maximize the person's knowledge and experience for the engineering design process.

Keywords: *systematic approach, experiences of applying, constructions of applying*

FENYVESI Csaba (MSc)
gépészmérnök
MVM Paksi Atomerőmű ZRt.
fenyvesic@npp.hu
orcid.org/0000-0001-8805-3307

FENYVESI Csaba (MSc)
mechanical engineer
Nuclear Power Plant of Paks
fenyvesic@npp.hu
orcid.org/0000-0001-8805-3307



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-01-0356_Fenyvesi_Csaba.pdf

Farkas Csaba

SZÁLERŐSÍTÉSES KOMPOZIT, ALUMÍNIUM ÉS SPECIÁLIS ACÉL ÖTVÖZETEK ALKALMAZÁSA LÉGIJÁRMŰVEK KORMÁNYVEZÉRLŐ RENDSZEREIBEN

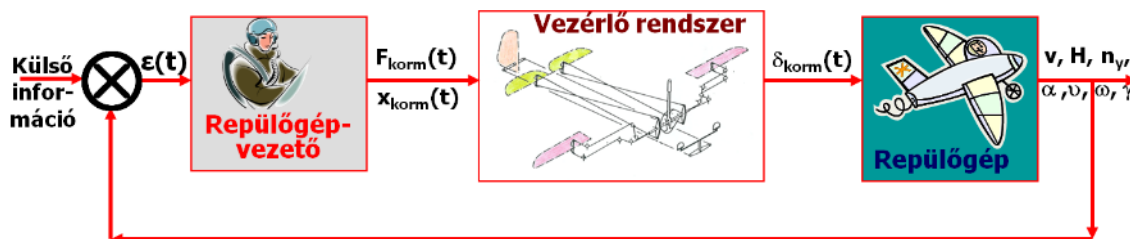
Légi járművek kormányvezérlő rendszeriben alkalmazott anyagszerkezetek és gyártási módszerek az elmúlt 30-40 év során jelentős változáson mentek keresztül. Ugyanez mondható el a tervezési eljárásokról is, amik elválaszthatatlan részei ma már a gyártás teljes folyamatának a rendelkezésre álló számítógépes mérnöki háttértámogatás integrációjával. A tudományos cikk áttekintést ad a kormányvezérlő rendszerekkel szemben támasztott követelményekről, korszerű szilárdsági méretezéseket mutat be, továbbá összegzi a kompozitból készült szerkezeti részek konstrukciós kialakításának és gyártásának legfontosabb paramétereit.

Kulcsszavak: szálerősítéses kompozit, alumínium, acél, kormányvezérlő rendszer, FEM módszer

1. BEVEZETŐ

Merev és forgószárnyas légi járművek (továbbiakban együttesen repülőgép vagy repülőeszköz) kormányzásában, napjainkban is elterjedt megoldás mechanikus elvű kormányvezérlő rendszer alkalmazása. Azt, hogy az ember-gép szabályozási körben a repülés biztonságos végrehajtásához kizárólag mechanikai áttételeken keresztül közvetlenül a pilóta fizikai erejével történik a kormányzás, vagy a rendszerben valahol ráségítési módszert is kell alkalmazni, leginkább a repülőeszköz sebességének tartományától és geometriai méreteitől függ.

Általánosságban elmondható, hogy a repülőgépek kormányzása típustól és kategóriától függetlenül azonos módszerrel történik, a pilótát ért környezeti ingerből, majd az így létrejövő információs rendszerből a belső vezérlő hálózaton keresztül jut el a vezérlő jel, illetve a végrehajtott parancs a külső kormánysszervekhez, 1. ábra [1].



1. ábra Repülőgép kormányzása, mint szabályozási körben az információs mechanizmus folyamata [1]

Attól függetlenül, hogy a vezérlő rendszer mechanikusan vagy elektronikusan működik a következő kritériumok teljesülése alapvető, mely meghatározza a mechanizációk kialakítását és anyagszerkezetét. Ennek megfelelően a kormányvezérlést úgy kell kialakítani, hogy:

- ergonómiailag a repülőgépvezetői munkakörnyezet mozgástere akadálymentes legyen;
- minden lehetséges repülési helyzetben biztosítani kell a repülőgépvezető anatómiai és fiziológiai lehetőségeinek maximális kibontakoztatását elsősorban a fiziológiai terhelhetőségi kritériumok alapján;

- a kormánylapok mozgathatósága és kitérítetősége irány és nagyság szerint feleljen meg a kategóriára előírt konstrukciós követelményekkel;
- a kormánylapok véghelyezetei kitérítéskor a pilóta által egyértelműen észlelhetők és feldolgozhatók legyenek;
- biztosítsa, hogy a repülési sebesség és/vagy a külső kormányoszlopok kitérítésének növekedésekor a kormánylapokon arányosan növekedő, ellentétes irányú kormányerő alakuljon ki;
- mozgatott kormányfelület kiegyensúlyozottsága feleljen meg a repülőgép sebesség-terhelés görbéjén belül minden repülési helyzetben a rezonancia elkerülés kritériumainak és ne jöhesse létre nemkívánatos aeroelasztikus jelenségek (flutter, divergencia, reverzálás stb.).

A mechanikus áttételezett, rásegítés nélküli vezérléssel kapcsolatban a következő pontok teljesülése is elvárt:

- az irányváltási és közvetítő pontokon lehetőleg csapágyazással biztosítsák a tökéletes forgástengelyt, szabad elfordíthatóságot és a konstrukciósan előírt értékű holtjátékot;
- az irányváltási és közvetítő csomópontok számát minimálisra kell csökkenteni, mert a kapcsolatokban fellépő illesztési hézagok, ráhagyások, hozzáadódnak a holtjátékhoz és könnyen a kormánylap kotyogását, lógását idézhetik elő;
- a rendszer tömege, ebből adódóan tehetetlensége a lehető legkevesebb legyen, természetesen úgy, hogy az előírt könnyűépítési, szilárdsági kritériumoknak (limit, ultimate¹) mindenkor feleljen meg;
- megfelelő számú és kialakítású támasz akadályozza meg a rendszer parancsközlő elemeinek (rudazatok, huzalok) rugalmas kihajlását, megnyúlását ezáltal a vezérlő jel torzulását és/vagy rezonancia létrejöttét;
- lényeges követelmény viszont, hogy az elhelyezett támaszhimbák és görgők nem növelhetik meg lényegesen a súrlódó erőt, nehezítve ezzel a belső kormányoszlop finommotoros mozgatásának pontosságát.

2. MECHANIKUS KORMÁNYVEZÉRLŐ RENDSZEREK ELEMEI, KIALAKÍTÁSUK, JELLEMZŐIK, ANYAGSZERKEZETÜK

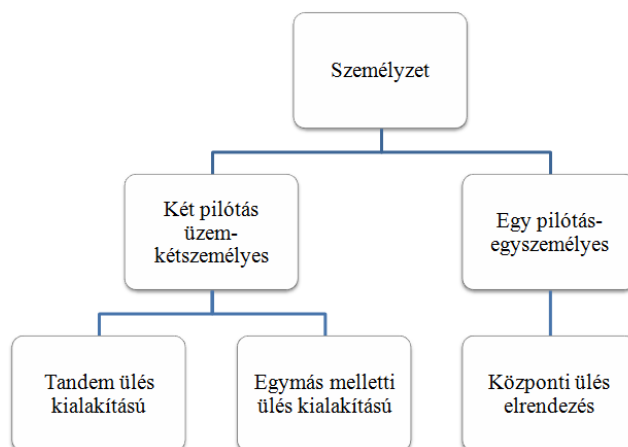
Mechanikus kormányvezérlés kialakítását meghatározza egyfelől a repülőeszköz rendeltetése, másfelől magát a gépet vezető személyzet elhelyezésének, vagyis munkaterének kialakítása, melynek lehetséges változatait a 2. ábra szemlélteti.

2.1. A kormányközpont

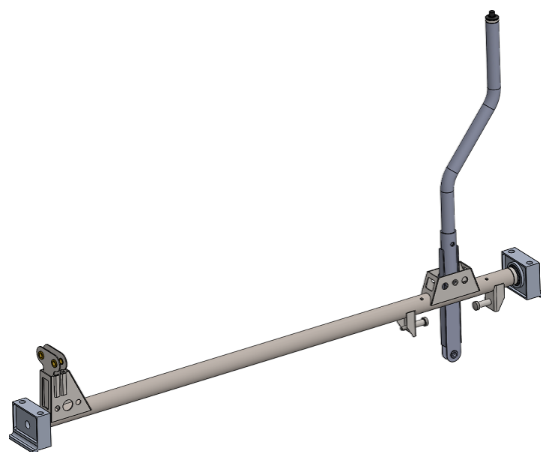
A belső kormányoszlopok első rendszereleme a kormányközpont (vagy központi vezérlő kormány), melynek kialakítása egyszerűbb, kisebb teljesítményű repülőgépek esetén hegesztett szerkezetű, még nagyobb sebességű, hangsebesség feletti repülőgépek, nagyobb utasszállító repülőgépek esetén acélöntvényből készülnek. A 3. ábra egy könnyű szerkezetű, együléses ver-

¹ Limit, ultimate: repülőeszközök szilárdsági méretezése két állapotra történik, az ún. limit vagyis üzemi pontokra, ebben az esetben a megengedett repülési sebesség-terhelés hatásait deformáció nélkül el kell viselnie a szerkezeti részeknek, az ultimate vagyis törő állapot egy határterhelés ahol a konstruktőrnek úgy kell biztosítani az adott szerkezet szilárdságát, hogy az már deformálódhat (maradó alakváltozást szenvedhet), de még nem törhet el.

senyrepülőgép kormányközpontját mutatja, mely nagyszilárdságú 1.7734.5 (15CDV6) acél-ötvözetből készül hegesztési technológiával. A 15CDV6 egy speciális repülőipari króm-molibdén-vanádium acél ötvözet, melynek kémiai összetétele az 1. táblázatban, főbb mechanikai tulajdonságai pedig a 2. táblázatban láthatók.



2. ábra Repülőgép személyzetek elhelyezésének, munkatér kialakítás ergonomiai rendszere (saját forrás)



3. ábra Együléses versenyrepülőgép hegesztett kormányközpont szerkezeti kialakítása (saját tervezés)

Összetevő	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Mo %	V %	Cu %	Ni %
Min	0,16	1,00	0,16	0,002	0,011	1,46	0,96	0,24	0,08	0,09

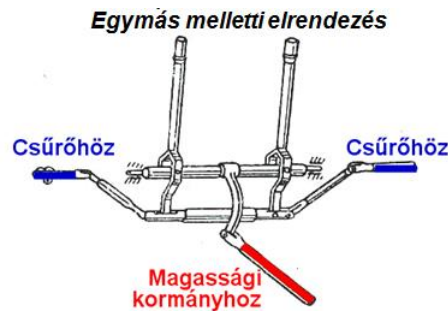
1. táblázat 15CDV6 (1.7734.5) Cr-Mo-V acél ötvözet vegyi összetétele

Cső átmérő és falvastagság/mechanikai értékek	12×2	16×1,5	18×1,5	20×1,5	22×1,5	22×2
Folyáshatár R_{eH} N/mm ²	694	970	939	1006	967	958
Szakítószilárdság R_m N/mm ²	850	1108	1133	1121	1088	1101
Brinell keménység HB	320	320	320	320	320	320
Vickers keménység HV	339	339	339	339	339	339
Egyezményes szakadási nyúlás A5 %	22,5	16	16	16	15	17

2. táblázat 15CDV6 (1.7734.5) Cr-Mo-V acél ötvözet cső szerkezetek mechanikai jellemzői

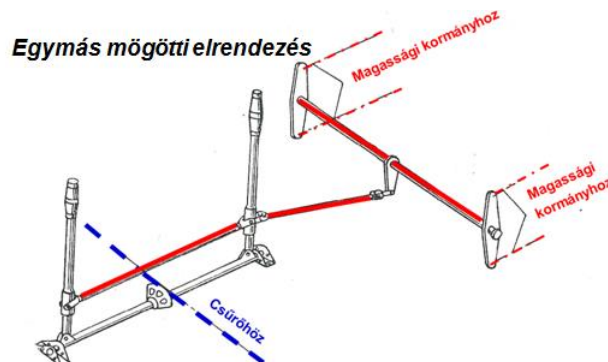
Az alapanyag rendkívül jól hegeszthető, kis karbon tartalma miatt edződésre nem hajlamos, az alkalmazott ötvözetek következtében magas folyáshatárú, szívós anyag. Mechanikai összetételének köszönhetően vékony falvastagságú ($s < 3$ mm) lemezek, csövek hegesztésekor, egy-két so-

ros varratok készítése során előmelegítést és utólagos hőkezelést nem igényel a hegesztés technológiája. A 4. ábra [2] kétszemélyes egymás melletti ülés elrendezésű kormányközpont kialakítását szemlélteti, melynek csapágyazása a repülőgép keresztengelyével párhuzamosan kerül kivitelezésre, még az 5. ábra [3] szintén egy kétszemélyes, de egymás mögötti ülés elrendezésű kormányközpont elvi, konstrukciós rajzát szemlélteti, melynek csapágyazása a repülőgép hosszengelyével párhuzamosan kerül kialakításra.



4. ábra Egymás melletti ülés elrendezésű kormányközpont elvi kialakítása [2]

Napjainkban, a 3. ábrán látható 15CDV6 anyagú kormányközpontot olyan TIG (AWI) hegesztés technológiai eljárással gyártják, mely a II. világháborút követően, leginkább az 1970-es években terjedt el széles ipari környezetben. Ezt megelőzően hegesztett kormányközpontok elemei ötvöztelen szénacélból készültek leginkább lánghegesztéssel. A 15CDV6 anyag hátránya magas ára, így kisebb repülőgépek esetén e helyett a 25CrMo4 (1.7218) alapanyagot célszerűbb alkalmazni, melynek karbon tartalma eléri az edzhetőség határát, $c = 0,25-0,28\%$, ebből adódóan hegesztése szigorúbb eljárást igényel, mint a 15CDV6 anyagé. Szintén alternatíva lehet még a jóval kisebb szilárdságú, de olcsóbb árfekvésű S355 vagy 1.4305 ausztrálszerű szövetszerkezetű korrózióálló acél alkalmazása is.



5. ábra Egymás mögötti ülés elrendezésű kormányközpont elvi kialakítása [3]

2.2. Csatoló elemek

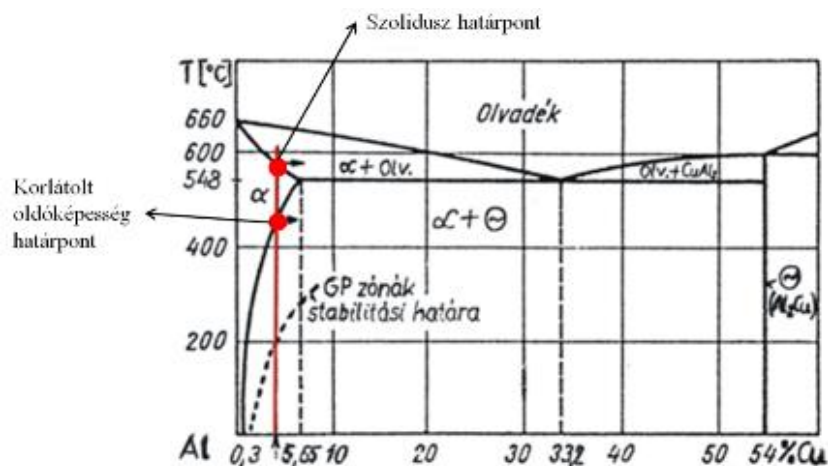
A kormányközpont és a mozgatni kívánt kormánylap közötti kapcsolatot csatoló elemekkel biztosítjuk, vezérléstechnikai szempontból megkülönböztetünk rudazatos és sodronyköteles kialakításokat. Ezek elemei a rudak, csapágyazott rúdvégek, szögemelő- szögváltó himbák, melyek lehetnek görgők vagy tám himbák, továbbá köteles megoldás esetén a csigák, hornyolt kerekek, drótkötelek, kötélfeszítők és kötélvégek. Utóbbiak többsége az elmúlt 50 esztendő során jelentős fejlődésen ment keresztül. Kezdetben acélból kovácsolt darabok terjedtek el, majd a lemez alakítás fejlődésével és az alumínium repülőipari térhódításával szegecselt szerkezetek, illetve ezt követően a 90-es évek végén tapasztalt gyorsütemű számítógépes technológiai

CAD/CAM háttér mára már biztosítja az ultra precíziós felületi megmunkálással készült alak és tömeg optimalizált CNC mart elemek rendelkezésre állását.

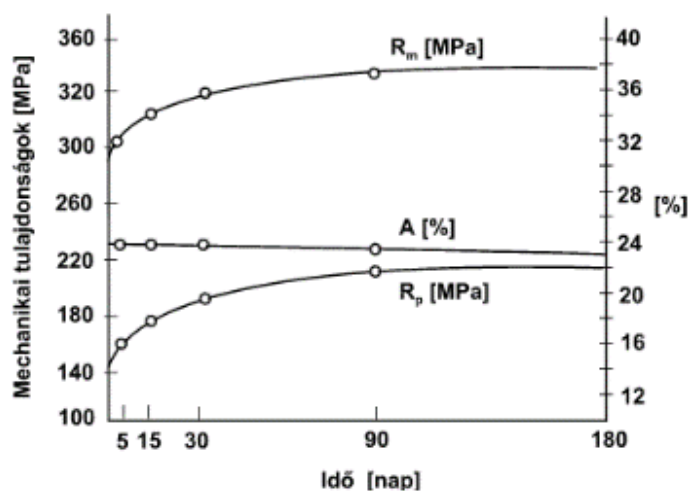
Csatoló elemek közül a legfontosabb a tolórúd, melyek legtöbbször még ma is alumínium ötvözetből, duralumíniumból készül, de elterjedt a magnézium ötvözetek használata is, és bizonyos esetekben acél csöveket is alkalmaznak. Utóbbit elsősorban akkor választják, ha magasabb a hőterhelés, vagy helyigény miatt szerkezeti szempontok szem előtt tartása végett a külső átmérőt kisebbre kell választani, így csökkentve az inerciát amihez az alumínium szilárdsága már kevés lenne. A tömeg ideális értéken tartására az alumínium tolórudak vékonyfalú csövekből, maximum 1000–1200 mm hosszú darabokból készülnek és tám-himbák közbeiktatásával vagy görgős támasszal merevítik azokat. Az alumínium csövekhez a két végen azonos anyagú, esztergált betét csatlakozik, ami szorosan illesztett és szegeccseléssel biztosítja közöttük a mechanikai kapcsolatot (pl. 6. ábra). A durál az alakítható és hőkezelhető alumínium ötvözetek csoportjába tartozik, fő ötvözője a réz és a magnézium, specializált repülőipari alkalmazása a 2024-es alumínium ötvözet, ami a 2000-es ötvözet csoport tagja. A durál ötvözetek szakítószilárdsága általánosan 300–400 N/mm²-ig növelhető, bizonyos esetekben elérhetők >450 N/mm²-es értékek is megfelelő célzott nemesítési (hőkezelési) eljárással. Az alumínium nemesítése során az ötvözet szilárdságának növekedését rendkívül finom eloszlású kiválásokkal érik el, ezt a folyamatot hívják kiválások keményítésnek. A szilárdságnövelés lehetőségét az biztosítja, hogy az alapanyagban, az alumíniumban hozzájuk létre a kiválásokat, amik korlátozzák a diszlokációk mozgását. Ez a rácsszerkezetet tekintve akkor megfelelő, ha az alumínium és a kiválás rácsparaméterei közel azonosak lesznek, vagyis egymással koherensek. A kiválások keményítés két lépcsős folyamat, melyben elsőként α -homogén szilárd oldatot hozzanak létre izzítással, mely során a kiválások teljes feloldását érik el. Ez egy diffúziós folyamat, mikor a létező vegyület fázisokat teljes oldatba viszik. Az α -homogén szilárd oldatot úgy érik el, hogy a korlátolt oldóképességet határoló hőmérséklet fölé hevítik az ötvözetet és ott hőntartják, lásd a 7. ábrát, ahol az Al-Cu ötvözet állapotgörbéje látható. Az ábrán látható α szilárd oldat maximális oldhatósága 5,65% Cu -nál (réznél) van $T = 548 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet értéken. A piros vonallal jelölt ötvözet 4% Cu (réz) esetében a hevítés hőmérséklete a jelölt két piros pont, vagyis a szolidusz és a korlátolt oldhatóság vonala közé kell eszen, mert csak így biztosítható, hogy az α szilárd oldat tartománya elérhető legyen. Az izzítást követően következik az ötvözet gyors-hűtése mikor is túltelített α -szilárd oldatot hoznak létre, majd ezt követően a harmadik fázis folyamata a megeresztés, amit öregítésnek is neveznek. Az öregítés lehet természetes (hevertetés) vagy mesterséges folyamat, különbség közöttük az ötvözet elérhető szilárdsága. Tulajdonképpen ez a folyamat maga a kiválások keményítés. A hevertetés hátránya, hogy rendkívül hosszú, bizonyos esetekben akár több hónap is lehet, (lásd a 8. ábrát). A nemesíthető és alakítható alumínium ötvözetek (3. táblázat) legismertebb típusa a már előzőekben is bemutatott durál, ami háromalkotós. Hátránya, hogy érzékeny a korrózióra ezért a felületi kezelése szükséges.



6. ábra Szegeccselte alumínium tolórúd



7. ábra Al-Cu kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja [4]



8. ábra Hevertetés természetes lefolyása, mechanikai jellemzők (R_m szakítószilárdság, R_p folyáshatár, A nyúlás) változása az idő függvényében [5]

Ötvözet típus	Szakítószilárdság N/mm^2	Öregítés folyamata	Korrózióállóság	Képlékeny alakíthatóság	Hegeszthetőség	Egyéb	Sorozat
Al-Cu-Mg	~ 450	mesterséges/természetes	1	3	1	durál	2000
Al-Mg-Si	~ 300–325	mesterséges/természetes	3	4	3	természetesen öregített folyáshatára kevesebb	6000
Al-Zn-Mg	~ 350	mesterséges	1	1	1		7000
Al-Zn-Mg-Cu	~ 500	mesterséges/természetes	1	1	1		7000

3. táblázat Nemesíthető alumínium ötvözetek jellemzői (jellemzők 1 és 5 között, 1 legrosszabb, 5 legjobb)

Tolórudak esetén elterjedt még az AlMgSi0,5 és AlMgSi1-es ötvözet típus is, ezek jóval kisebb szilárdságúak, mint a durál. Mind a kettő a 6000-es ötvözet csoport tagja, főötvözőjük a magnézium és a szilícium. Az alumínium ötvözetekből készült tolórudak alkalmazásának legnagyobb problémája, hogy a kialakítható hosszuk korlátozott, tömeg szempontokat figyelembe véve vékony falvastagságúak ebből eredően kihajlással szembeni ellenállásuk limitált. Az ilyen

tolórúd rendszerbe több helyen szükséges közvetítő támhimbák vagy görgős támaszok beépítése, ami növeli a rendszer tehetlenségét és súrlódásból adódóan a megvezetés pontossága is csökken. A 9. ábra egy ilyen „kényszerűségből” beépítési megoldást mutat be, aminek célja a vezérlőrúd kihajlásának meggátlása a tolórudakban.



9. ábra Közvetítő himba alkalmazása, alumínium tolórudas kivitelezésben

A rúdvégek betétjébe a csatlakozások biztosításához a legtöbb esetben gömbcsapágyat építenek be, ami lehet külső vagy belső menettel ellátott szárú. Tapasztalatom alapján a kenésmentes kialakítású tolórúdvég gömbcsapágyak, (lásd 10. ábra, maintenance-free rod ends²) rövid élettartamúak, akár 50 repült óra után szükséges cseréjük, repülőgépekbe történő beépítését nem javaslom. Ezeket olyan helyeken célszerű alkalmazni, ahol egy viszonylagos állandó erőhatás ébred és a súrlódás fajlagosan kisebb értékű, a folyamatosan váltakozó dinamikus erőhatást hosszú távon nem viselik el, aminek eredménye, hogy a gömb, idővel megszorul.



10. ábra „Maintenance-free rod end” típusú tolórúd vég gömbcsapágy [6]

Kenést igénylő rúdvég gömbcsapágyak (maintenance required rod end³, lásd 11. ábra), beépíthetősége már részben biztosított hosszabb távon, folyamatosan váltakozó dinamikus erőhatások ellenállásával szemben. Egyetlen hátrányuk, hogy a folyamatos üzemeltetésük során a megfelelő kenési állapotról nagyon alaposan gondoskodni szükséges. Leginkább két típusuk ismert, az acél gömb – acél fészek és acél gömb – bronz fészek kivitelek. Ha folyamatos kenési állapot nem áll fenn a gömb és fészek közötti alternáló erőhatás a mechanikai kapcsolatot meglazítja és a csapágy gömb lógni fog, ami a repülőgép teljes kormányrendszerének növekedő holtjátékához fog vezetni.

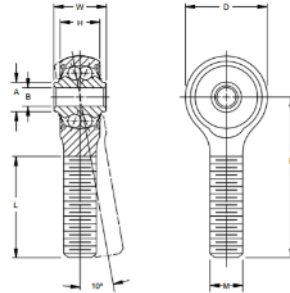


11. ábra „Maintenance required rod end” típusú tolórúd vég gömbcsapágy [7]

² Maintenance-free rod ends: kenésmentes kialakítás az üzemeltetés során, kenés hiányát a csatlakozó felületek biztosítják [6]

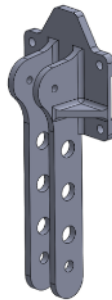
³ Maintenance required rod ends. kenést igénylő kialakítás az üzemeltetés során [7]

Több csatolásos rendszerben ahol három, négy vagy akár ettől több szakaszt kell vezérlő-rudakkal összekötni ajánlott a gömbcsapágyak helyett a 12. ábrán látható tolórúdvég golyóscsapágy rendszert alkalmazni. A csapágy önbeálló típusú, előnye a gömbcsapággal szemben, hogy nem teljes felületen történik az erőátadás, hanem golyósoron így kisebb a súrlódás és az illesztés játéka maximálisan 0,010 mm-es, a kapcsolat precíziósan vezérelt, az egymással érintkező részek kadmiu-mozottak, a felületeknek sokkal jobb a kopásállósága. Az érintkező golyók és a gyűrű felülete speciálisan védhető tömítéssel így elzárható a csatlakozás a környezeti hatásoktól.

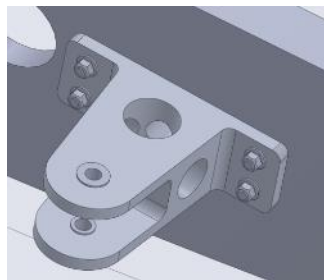


12. ábra Önbeálló golyóscsapágyssal felépített tolórúd vég [8]

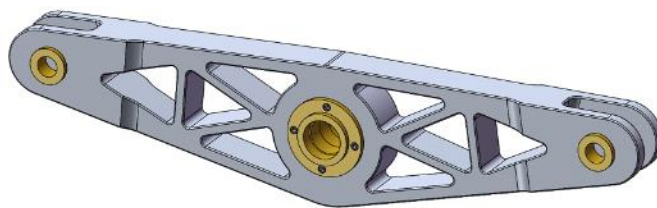
Az előzőekben bemutatott alumínium ötvözetek mellett elterjedt típus még, - elsősorban a CNC megmunkálással készülő alkatrészek során – a 7075 jelzésű alumínium ötvözet is, melyet könnyű tömege mellett kiváló mechanikai tulajdonságai jellemeznek. Utóbbi speciálisan a repülőipar részére került kifejlesztésre az Alcoa cég által több mint 50 évvel ezelőtt. Nemesített állapotban a folyáshatára elérheti a 480 N/mm^2 értéket, szakítószilárdsága pedig 540 N/mm^2 is lehet, emellett kifáradási határa és törési szívóssága is megfelelő. Tipikus példái az ötvözet alkalmazására a 13. ábrán látható magassági kormány mozgását vezérlő himba, a 14. ábra szerinti váltó himbabak tartó és a 15. ábrán bemutatott irányváltó himba.



13. ábra Magassági kormány, vezérlőhimba és bekötés CNC mart alkatrész (saját tervezés)



14. ábra Váltó himbabak tartó CNC mart alkatrész (saját tervezés)



15. ábra Irányváltó himba CNC mart alkatrész (saját tervezés)

Himbák, és egyéb tartó elemek esetén nem csak mart tömb elemek készülnek nemesíthető alumínium ötvözetekből, hanem különféle lemez alkatrészek is, hiszen azok többsége jól alakítható és tetszőleges alakú darabok készíthetők lemezmegmunkálással. Erre mutat példát a 16. ábrán látható egyszerű mechanizmus.



16. ábra Alumínium ötvözetű lemez alkatrészek, egyszerű himba mechanizmus

3. KORMÁNYVEZÉRLŐ RENDSZEREK ELEMEINEK TEREVZÉSI ÉS SZILÁRDSÁGI KÖVETELMÉNYEIK

Kormányvezérlő rendszerek szilárdsági méretezésének követelményeit egyezményes légügyi előírások határozzák meg, melyet az adott repülőgép típus tervezése és megfelelőségi igazolása (certifikálása) során igazolni szükséges. A tervezés célja, a fellépő biztos terhelések és a tervező által alkalmazott szerkezeti anyagok ismeretében, a kapcsolódó elemek szükséges minimális keresztmetszetének megválasztása, úgy, hogy a repülő üzem során a megengedett sebesség-terhelés határgörbe pontjain belül a fellépő maximális terhelések mellett sem ébrednek olyan feszültségek, amik tönkremenetelhez vezethetnek. A legismertebb CS⁴-23 tervezői előírás értelmében a kormányrendszert két állapotra kell méretezni:

- meg kell határozni a kormánylap felületeken fellépő aerodinamikai erőket; amik aerodinamikai jellegűek;

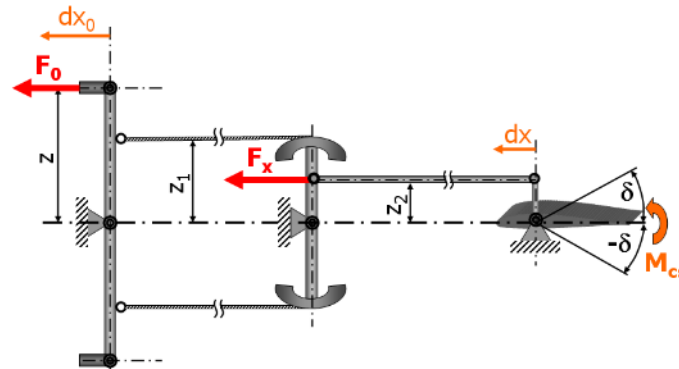
⁴ Európai Repülés-biztonsági Ügynökség - European Aviation Safety Agency (EASA) által kiadott Certification Specification-ok (CS)

- a pilóta maximális fizikai ereje izomerje által a kormányközponton keresztül bevezetett erők hatásait kell végigszámolni a belső kormányrendszeri elemeken.

Természetesen a két vizsgálati módszer egymás komplementerei, hiszen a külső kormányfelületekről a rendszerbe inputként bejutó erők a végigfutó hatásláncon, a botkormányon jelentkező outputként nem lehet nagyobb, mint amit az előírás a pilóta maximális izomerjének szélső értékére megad. Tekintsük példaként a 17. ábrán látható mechanizmust, ahol az M_{cs} csuklónyomaték a CS-23 előírás A23.11-es pontja értelmében meghatározható a következők szerint:

- meg kell határozni a kormánylap felületén ébredő egységnyi m^2 felületre vonatkoztatott eloszlást, ennek értéke N/m^2 -ben adódik;
- ezt követően át kell számolni a tényleges kormányfelületre érvényes terhelés eloszlást, ami már erőként Newton értékben adódik;
- a kapott erő a lap forgási pontjához viszonyítva adja a csuklónyomaték nagyságát.

Az M_{cs} csuklónyomaték ismeretében a hatásláncon található tolórudakon fellépő erőhatások már meghatározhatók a kararányok vagy munkák ismeretében.



17. ábra Példa kormányrendszer mechanizmus erő mechanikai számítására [9]

Erő meghatározás a munkák egyensúlyi feltételeiből:

$$\int F_x \cdot dx - \int M_{cs} \cdot d\delta = 0 \quad (1)$$

$$\int F_x \cdot dx - \int F_{x0} \cdot dx_0 = 0 \quad (2)$$

ahol:

- M_{cs} – csuklónyomaték,
- dx_0 és dx – lineáris elmozdulások
- $d\delta$ – szögkitérés
- F_x – belső erő
- F_{x0} – külső terhelő erő

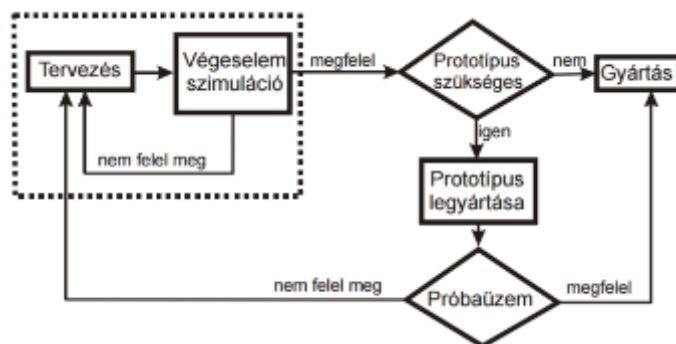
Az (1) és a (2) egyenletekben megadott munkák egyenlet rendszere azonosan eredményezi azt, amit a nyomatéki egyensúlyból is meghatározhatunk a központi forgáspontra:

$$F_0 \cdot z = F_x \cdot z_2 \rightarrow \quad (3)$$

$$F_x = F_0 \cdot \frac{z}{z_2} \quad (4)$$

3.1. FEM⁵ módszer a gyakorlatban, hibák vizsgálata

Kormányvezérlő rendszerekbe épített elemek, összeállítások, napjaink mérnöki gyakorlatában gyorsan és rugalmasan ellenőrizhetők különféle szilárdsági szempontok megfeleltetésének FEM eljárásokkal. E módszer egy virtuális testben (például CAD⁶ modellen) kialakuló elmozdulás mezőt közelíti úgy, hogy a test elemei közötti kapcsolat folytonos, az elemeket csomópontok kötik össze, amik elmozdulását vizsgáljuk, amit egy külső hatás (lehet erő, hőáramlás stb.) vált ki. A csomópontok elmozdulását a helyzeti energia minimumból kalkuláljuk differenciál egyenletrendszer megoldásán keresztül. Az FEM módszer mára már teljesen beépült a mérnöki gyakorlatba és a termékfejlesztés, a gyártás szimuláció és a gyártási folyamatok modellezésének az eszköze, melyet a 18. ábra is jól mutat.



18. ábra FEM szimuláció helye a termékfejlesztésben és a gyártásban [10]

A véges elem modellezés területei megjelennek termékek szilárdsági, áramlási, hőtani, elektromos, mágneses, kinetikai vizsgálataiban, üzemeltetési körülmények elemzésében, gyártás szimulációban és komplett élettartam vizsgálatokban is.

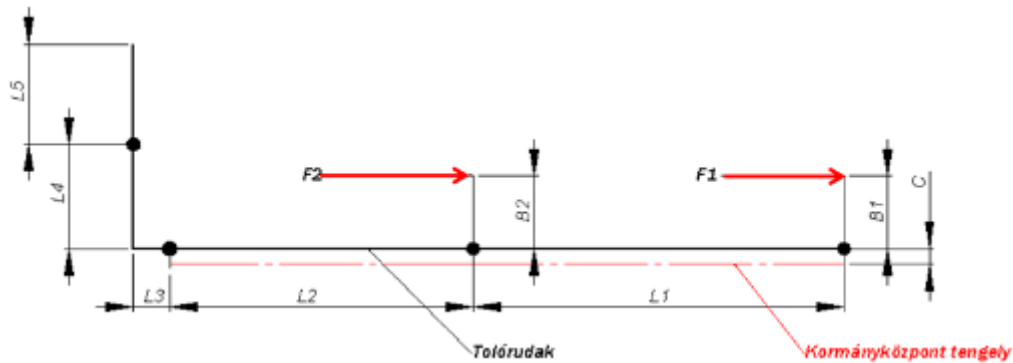
Mechanikus működési elvű kormányrendszerekben a szilárdsági méretezéseket a következő gondolatmenet szerint szükséges mechanikai szempontból vizsgálni:

- ➔ meg kell határozni a kinematikai blokkvázlatot (példaként lásd a 19. ábrát, ami a 20. ábrán látható Halley Kft által gyártott Apollo Gyro kormányközpontját szemlélteti), hogy a hatáslánc teljes egészében az erő bevezetések, elmozdulások és szögkitérések tekintve a függelmi kapcsolatok vizsgálhatóak legyenek;
- ➔ a csatoló elemek mindegyikére el kell végezni a statikai erőszámításokat, hogy ismertté váljon, az egyes elemeken és egységeken mekkora erők keletkeznek;
- ➔ utóbbiak függvényében egyszerűbb geometriai alakzatok, elemi szilárdsági módszerekkel is méretezhetőek, ellenőrizhetőek, bonyolultabb geometriai alakzatok esetében javasolt a FEM módszert használni. A következő alkatrész csoportok célszerűen vizsgálhatóak a már említett FEM eljárással:
 - tolórudakat kihajlás és rezonancia szempontjából kell vizsgálni;
 - himbákat, karokat és fordító egységeket húzás-nyomás eseteire;
 - tolórudba integrált betétek rögzítő elemeit, nyírásra és felületi palástnyomásra, ha a betét ragasztott, akkor a nyírás mellett lefejtés esetét is ellenőrizni szükséges, esetenként különféle hőmérsékleteken;

⁵ FEM (finite element method): végelem modellezés

⁶ CAD (Computer-aided design): számítógéppel támogatott mérnöki tervezés

- csigákat és közvetítő kerekeket radiális irányú nyomásra kell méretezni.

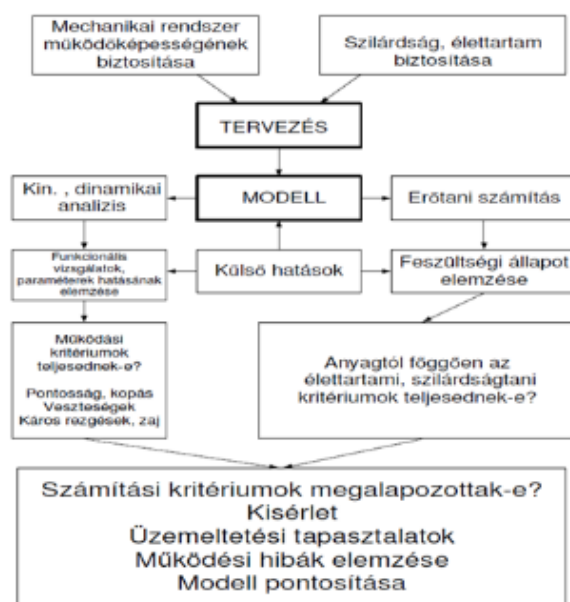


19. ábra Példa kinematikai blokkvázlatra a 3D tervezett modell felépítés alapján, referenciaként lásd a 20. ábrát (saját tervezés)



20. ábra Apollo Gyro 3D CAD modellje a térbeli kormányközponttal integrálva (saját forrás)

Nagyon lényeges, hogy az FEM módszer eredményességét több tényező együttesen befolyásolja és tudni kell, hogy az eljárás a mérnök kezében csak egy eszköz és nem pótolja a mélyebb matematikai, mechanikai ismeretek hiányát. Egy jól felállított végelem modell megalkotásához stabil mechanikai háttérismeretek szükségesek. Ahhoz, hogy megbízható eredményeket kapjunk, és el is tudjuk hinni a számított értékek a valósághoz a lehető legközelebb áll, alapos előkészítés és a legtöbb esetben nagy gyakorlati rutin szükséges. Az FEM eljárásokra önmagukban nem szabad támaszkodni, minden esetben empirikus tesztek elvégzésére is szükség van. Ezt követően valós körülmények között tapasztalt értékekkel folyamatosan össze kell vetni a végelem analízisek eredményeit és ennek megfelelően, - ha szükséges - a bemeneti modelleket újra és újra paraméterezni. A 21. ábrán látható folyamatára [11] pontosan az előbb leírtakat mutatja be, ami a repülőgépek kormányvezérlő rendszereinek mechanikai méretezésében is alkalmazásra kerül.



21. ábra Tervezés és modellezés folyamata, az FEM módszer alkalmazásának szerepe [11]

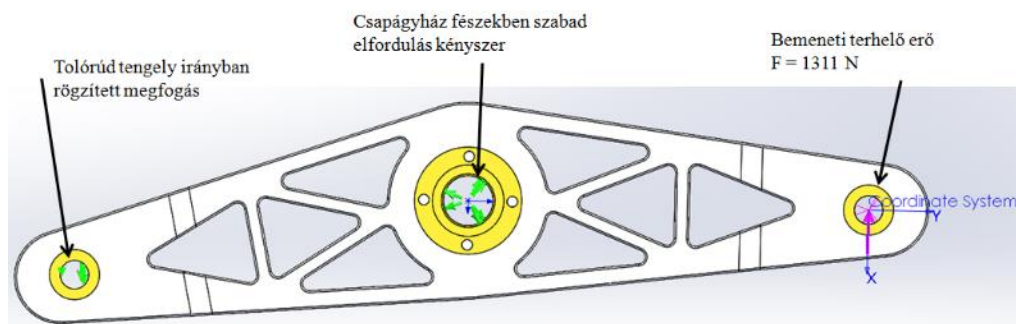
3.1.1. Irányváltó himba FEM vizsgálata

A 15. ábrán látható himba egy repülőgép magassági kormányrendszerének része, irányváltás fordítására kerül beépítésre, anyaga Al-7075-T6, gyártástechnológiailag CNC⁷ megmunkálásal készül. A következőkben a himba CS-23 tervezői előírás szerinti megfelelőségét vezetem le, amit az A23.11-es pont alapján végzek. A magassági kormánylapról a himbát érő, a tolórúdtól származó erő nagysága (itt nem részletezett számítás alapján) $F = 760 \text{ N}$, amit $1,5 \times 1,15$ -szörös biztonsági tényezővel megnövelve a méretezési erő $F_{\text{méretezési}} = 1311 \text{ N}$.

A végeelem vizsgálat első lépése, hogy meg kell adni a peremfeltételeket, amik a jelenlegi példában a következők:

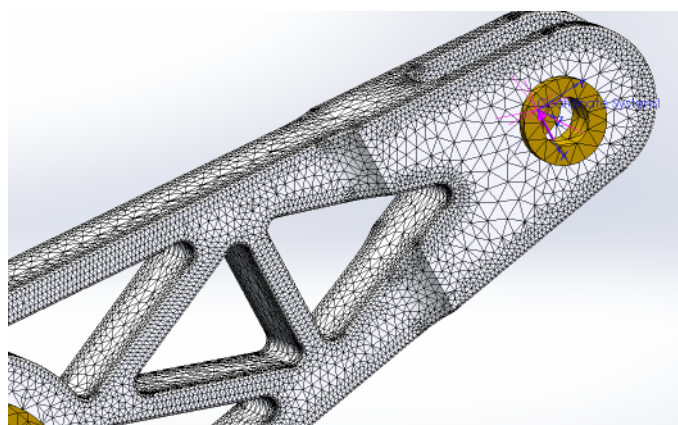
- a himba középtengelyében oldalról csatlakozó bronzperselyek találhatóak, amik hernyócsavarokkal kerülnek rögzítésre a mart himbában, ezekbe kerül beépítésre oldalanként egy-egy mélyhornyú golyóscsapágy, amik helyén a szimulációban a felületet olyan megfogási kényszerrel látjuk el, hogy a csapágyazás tengely vonalán, a himba szabadon elfordulhat, minden más irányban annak mozgása kötött;
- a himba két végéhez a villákba csatlakoznak a tolórudak, azok közül az alsónak a furatát egy pillanatnyi statikus állapotba vizsgálva a rendszert a tolórúd erőhatás vonalának axiális irányába rögzítjük;
- a mart himba és a bronz perselyek csatlakozási felületei között illesztési, ún. kontaktfeltételeket kell megadni, aminek értelmében azok felület a felülettel érintkeznek, egyszerűsítés miatt, mivel az eredményt nem befolyásolja a csatlakozó felületek között súrlódási együtthatót nem adunk meg;
- a himba felső villás részén a tolórúdvég csatlakozási pontjában egy lokális koordináta rendszer kerül definiálásra, amibe egy virtuális erőt redukálunk és a két bronz persely belső furat palástjára működtetjük a már meghatározott $F_{\text{méretezési}} = 1311 \text{ N}$ erőt,
- az előbbieken leírtak a 22. ábrán láthatóak.

⁷ CNC – Computer Numerical Control (CNC) olyan szerszám gép, amely programozható mikroszámítógépet is tartalmaz, ami a vezérlését végzi.

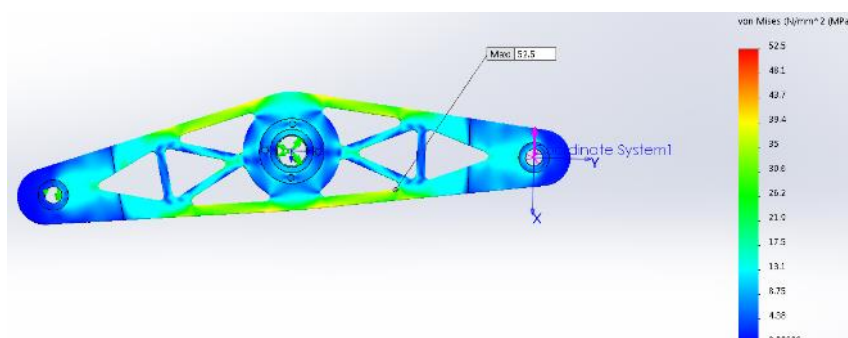


22. ábra Himba peremfeltételeinek megadása (saját tervezés)

Az FEM eljárás második lépéseként létrehozuk a végelem hálót (23. ábra), ami az analízis talán legfontosabb szakasza. Ezt a folyamatot területi korlátok következtében nem részletezem, az alkalmazott háló típusa szilárd térfogati háló, ami több mint 300 000 darab elemből és közel 470 000 darab csomópontból tevődik össze. E lépés során meg kell adni az egyes geometriai alakzatok anyagminőségét, a mart himba Al-7075 T6-os, még a bronz perselyek CuSn12 ötvözet típusok.



23. ábra Himba végelem hálója (saját tervezés)



24. ábra Himba HMH szerinti feszültség eloszlási mező (saját tervezés)

A harmadik lépésben az analízist a megadott paraméterekkel kell megoldani, majd az eredményeket grafikusán megjeleníteni, amiket kiértékelni és elemezni szükséges (lásd a 24. ábrát). Az eredmények azt mutatják, hogy a maximális feszültség a HMH⁸ elmélet alapján

⁸ HMH elmélet: Huber-Mises-Hencky szerinti szilárdsági méretezés, egy egyenértékű, redukált feszültséget ad meg az összetett igénybevételek számításánál, a vizsgált feszültségállapottal azonosan veszélyes feszültségállapot a test minden pontjában.

$\sigma_{\text{HMH}} = 52 \text{ N/mm}^2$, ami a himba folyáshatárához viszonyítva több mint, 8-sorosa a számított feszültségnek, így számítás alapján az megfelel.

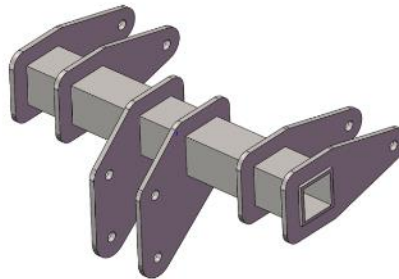
3.1.2. Autogyro kormányrendszer vizsgálata

A 20. ábrán látható az autogyro kormányrendszerében az egyik legfontosabb alkatrész, a 25. ábrán látható központi alsó vezérlő himba. Anyaga 1.4305-ös ausztenites korrózióálló acél, aminek $25 \times 25 \times 2$ -es zártszelvényére, az előre lézerrel kivágott lemezeket hegesztéssel rögzítik. A lemezek mindegyike 3 mm vastag, egy oldalról, egysoros varrat készül AWI hegesztéssel. A himba bonyolult több tengely irányú összetett igénybevételre kell, elviseljen, így azt FEM módszerrel célszerű elemezni. Az első lépés, hogy a méretezéshez szükséges bemeneti adatokat meghatározzuk. A 19. ábrán látható kinematikai blokkvázlat alapján az L_1 számú tolórudon ébredő erő nagysága a következő:

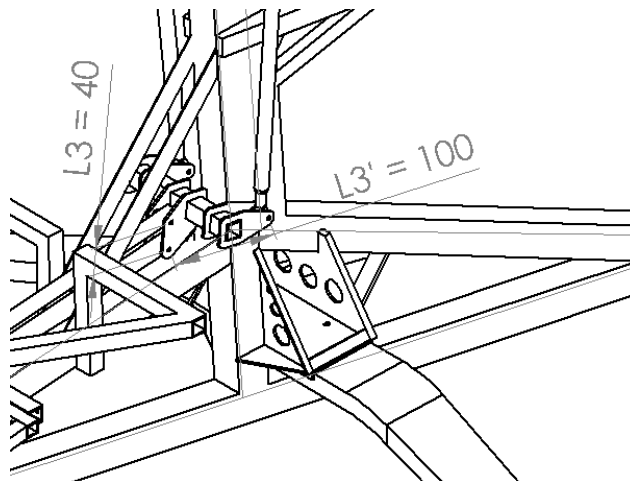
$$F_1 \cdot B_1 = F_{L1} \cdot C \rightarrow F_{L1} = \frac{F_1 \cdot B_1}{C} = \frac{445 \text{ N} \cdot 410 \text{ mm}}{38 \text{ mm}} = 4801 \text{ N} \quad (5)$$

Ugyanez az erő jelentkezik az L_2 számú tolórudon, amit a 25. ábrán látható himba továbbít a felső, 26. ábrán látható tolórudakba a következő képen:

$$F_{L2} \cdot L_3 = F_{L4} \cdot L'_3 \rightarrow F_{L4} = \frac{F_{L2} \cdot L_3}{L'_3} = \frac{4801 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 1921 \text{ N} \quad (6)$$



25. ábra Központi alsó vezérlő himba Halley Apollo Autogyro (saját tervezés)

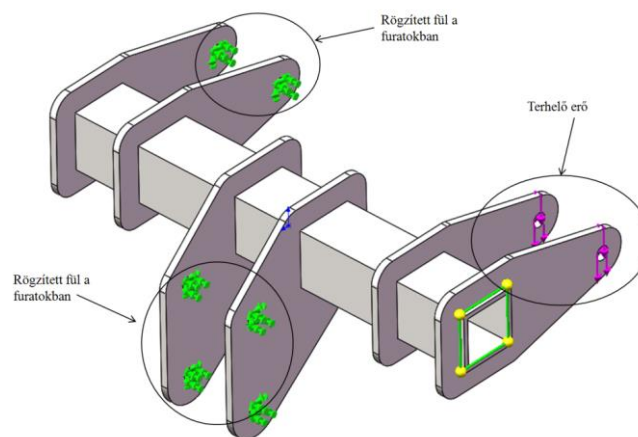


26. ábra Központi alsó vezérlő himba tolórud erőhatás továbbítás (saját tervezés)

A himba esetében a legfontosabb kérdés, hogy mekkora varrat keresztmetszet szükséges ahhoz, hogy az (5) és (6) egyenletekben kapott erő értékeket a szerkezet 1,5-szörös biztonsággal nö-

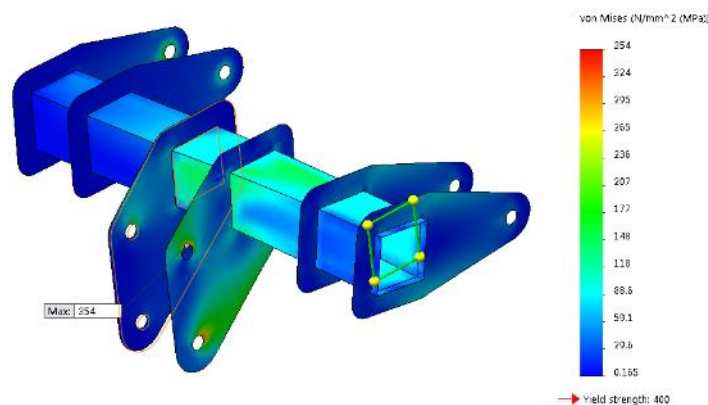
velve képes legyen elviselni statikusan. Első esetben vizsgáljuk meg a himba hegesztési varrait a függőleges irányú erőhatásra ami $F_{L4-bizt} = 1,5 \times 1921 = 2882 \text{ N}$, ebben az esetben a peremfeltételek a következők:

- a 27. ábrán látható módon a himba egy adott pillanatnyi állapotában a 19. ábra blokkvázlata alapján a kormányközponti tengely (piros szaggatott vonallal jelölt) és az L_2 tolórúd és az L_4 tolórúd bal oldali csatlakozási csomópontjában rögzített, a jobb oldali fűlnél működtetjük az $F_{L4-bizt} = 1,5 \times 1921 = 2882 \text{ N}$ erőt;
- a szerkezet minden elemére a kapcsolat hegesztett, a zártszelvény és a lemezfülek között egyoldali sarokvarratot definiálunk, mely esetén megadjuk a varrat geometriai méreteit és mechanikai paramétereit.



27. ábra Központi alsó vezérlő himba függőleges irányú erőhatás peremfeltételek vizsgálata (saját tervezés)

A himba elemi geometrián ébredő maximális feszültség a 28. ábrán látható, $\sigma_{HMH} = 354 \text{ N/mm}^2$, tehát az 1.4305-ös anyag szakítószilárdságához viszonyítva megfelel.

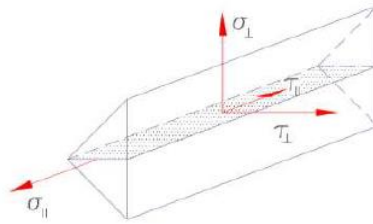


28. ábra Központi alsó vezérlő himba függőleges irányú erőhatás vizsgálata HMH szerinti feszültség eloszlás (saját tervezés)

A kritikus fül a közvetlen erőhatás alatt levő, így annak a hegesztési varrat keresztmetszetét kell ellenőrizni. A fület 4 darab 25 mm hosszú, egy oldali sarokvarrat rögzíti a zártszelvényhez, melyből két varrat merőleges lemezbekötés, még a másik két varrat, hosszanti irányú. Sarok varrat esetén, általánosságban négy varratfeszültséggel kell számolni, a 29. ábra alapján, amik a következők:

- σ_{\perp} – varrat hossz tengelyére merőleges normál feszültség;
- σ_{\parallel} – varrat hossz tengelyével párhuzamos normál feszültség;

- τ_{\perp} – varrat hossz tengelyére merőleges nyírófeszültség;
- τ_{\parallel} – varrat hossz tengelyével párhuzamos nyírófeszültség.



29. ábra Sarokvarrat varratfeszültségei

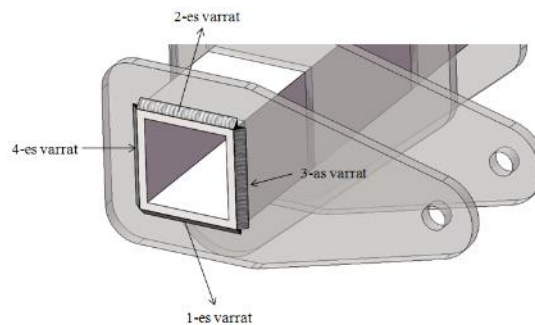
A himba merőleges és hosszirányú varratai esetén a varratfeszültségek értékei és értelmei változnak így ezek kézi számítása hosszadalmas, a 30. ábrán látható varrat sorok egyes feszültségei a 4. táblázatban kerültek összegzésre, amik végén minden esetben látható az egyenértékű, redukált varrat feszültség is, ami a (7) összefüggés alapján került meghatározásra.

Redukált varratfeszültség számítása:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \lambda \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \tag{7}$$

ahol:

- σ_{\perp} – varrat hossz tengelyére merőleges normál feszültség,
- τ_{\perp} – varrat hossz tengelyére merőleges nyírófeszültség,
- τ_{\parallel} – varrat hossz tengelyével párhuzamos nyírófeszültség,
- λ – biztonsági tényező 1,5–3.



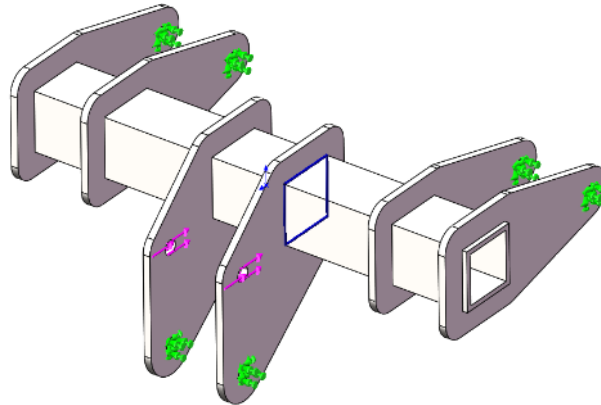
30. ábra Himba varratainak számozási jelölése (saját tervezés)

Varrat		1-es	2-es	3-as	4-es
σ_{\perp}	N/mm ²	239	-231	236	239
σ_{\parallel}	N/mm ²	0	0	0	0
τ_{\perp}	N/mm ²	-239	231	-236	-239
τ_{\parallel}	N/mm ²	-17	71	49	-96
σ_{red}	N/mm ²	401	398	400	420

4. táblázat Himba varratainak varrat feszültségei és redukált feszültség

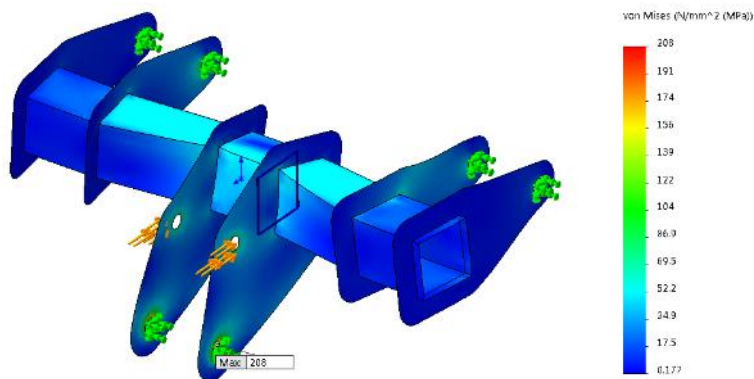
Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a himba az $F_{L4-bizt} = 1,5 \times 1921 = 2882$ N terhelés tekintetében elemi és varrat geometria tekintetében is megfelelő. Második esetben vizsgáljuk meg a himba hegesztési varratait a vízszintes irányú erőhatásra ami $F_{L1-bizt} = 1,5 \times 4801 = 7201$ N, ebben az esetben a peremfeltételek a következők:

- a 31. ábrán látható módon a himba egy adott pillanatnyi állapotában a 19. ábra blokkvázlata alapján a kormányközponti tengely (piros szaggatott vonallal jelölt) és az L₄ tolórúd bal és jobb oldali csatlakozási csomópontjában rögzített, a középső fülénél működöttük az $F_{L1-bizt} = 1,5 \times 4801 = 7201$ N erőt;
- a szerkezet minden elemére a kapcsolat hegesztett és a zártszelvény és a lemezfülek között egyoldali sarokvarratot definiálunk, mely esetén megadjuk annak geometriai méreteit és mechanikai paramétereit.



31. ábra Központi alsó vezérlő himba horizontális irányú erőhatás peremfeltételek vizsgálata (saját tervezés)

A himbán ébredő maximális feszültség a 32. ábrán látható, $\sigma_{HMH} = 208$ N/mm², tehát az 1.4305-ös anyag szakítószilárdságához viszonyítva megfelel. A varratsorokban a feszültségek jelen esetben is vizsgálhatók, amit a középső két fülre kell elvégezni.



32. ábra Központi alsó vezérlő himba horizontális irányú erőhatás vizsgálata HMH szerinti feszültség eloszlás (saját tervezés)

3.2. Tolórudak méretezése és annak matematikai háttere

A kormányrendszerekbe épített tolórudak legtöbb esetben, axiális irányban külpontosan nyomottak amiknek kihajlás (33. ábra) okozta alakváltozása a tengelyre merőlegesen a teljes nyomoték növekedése mellett következhet be, ami természetesen megengedhetetlen.

A nyomott tolórúd viselkedése, annak geometriai és anyagszerkezeti paramétereitől függ. A nyomóerő hatására egy öngerjesztett folyamat indul be, ami matematikailag egy végtelen sorba fejthető, ennek egy határán a külső és belső erők minden keresztmetszetben egyenlők, egyensúlyban vannak. Matematikailag megállapítható, hogy a nyomott tolórúdban kialakuló nyomoték-alakváltozások sora konvergens, aminek határa egy véges szám, szélsőérték, ami maga

az egyensúly. Ezt a küszöbszámot átlépve a nyomaték-alakváltozások sora már divergens, határértéke végtelen, ami azt jelenti, hogy a tolorúd valahol a külső erőhatás hatására elveszíti stabilitását és tönkremegy, ami lehet részleges vagy teljes.



33. ábra Tolórúd kihajlása

A központosan, axiális irányban nyomott rúd viselkedése, terhelhetősége szempontjából a legfontosabb a szélső határérték, amit alkalmazva a nyomaték és a deformációk folyamatos növekedését meghatározó matematikai sor még éppen nem válik divergensé, figyelembe véve geometriai és anyagjellemzőt is, ami magát a deformációt határozza meg. A központosan nyomott tolorúd állapota stabilitási viszonytól és nem a nyomóerő okozta axiális nyomófeszültségtől függ, kijelenthető, hogy szilárdsági megfeleléstől független. A stabilitás esetei a következők:

- a tolorúd belső keresztmetszetének az erői a külső terhelőerőtől keletkező igénybevételeknél nagyobbak, így a deformáló hatás megszüntetését követően a tolorúd teljes egészben visszaáll eredeti alakjába, vagyis a rendszer tökéletesen rugalmasan stabil;
- a keresztmetszet belső erői a külső terhelőerőtől keletkező igénybevételeknél kisebbek és a tolorúd nem tudja azt ellensúlyozni, a deformáció minden határon túl csak növekszik, instabil képlékeny, maradó deformációt, tönkremenetelt jelentő állapot;
- az instabil és stabil tartomány állapotának határa az indifferens állapot, aminek határa az a kritikus erő, ami fölött az instabilitás bekövetkezik, a kritikus állapotban a külső és belső erők még éppen egyenlők egymással.

Stabilitás vizsgálatban fontos kritérium, hogy a tolorúdat csak axiális irányban éri külső erőhatás, a tolorúd hosszirányú keresztmetszetei azonosak maradnak, tehát a rúd deformációja egy síkban következik csak be, a tolorúd nem öblösödik. Az ilyen típusú stabilitásvesztés a repülőgépbe épített tolorúdak legveszélyesebb jelensége, a kihajlás, mely a következőktől függ (és az alábbi módon jelentkezik):

- a geometriai viszonyaitól – (keresztmetszet inerciájában);
- az alkalmazott anyagától – (rugalmassági modulusként);
- a megtámasztási viszonyaitól – (a deformálandó szabad hosszban).

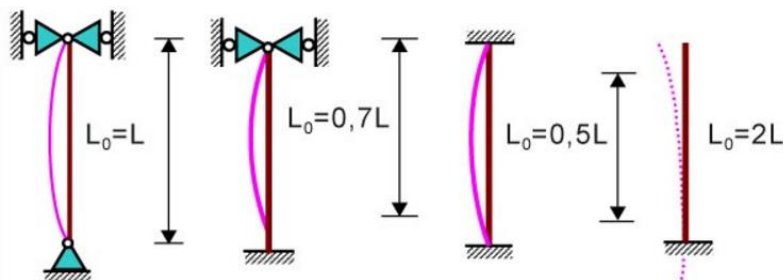
A rugalmas rúdkihajlás a mechanikából ismert Euler formulával (8) számítható, aminek feltétele az ideálisan rugalmas anyagi viselkedés:

$$F_{kritikus} = \left(\frac{\pi}{L_0}\right)^2 \cdot I_y \cdot E \quad (8)$$

ahol:

- $F_{kritikus}$ – rugalmas kritikus kihajlító erő;
- L_0 – megtámasztási viszony és a kihajlás hossza a tolórúdnak $L_0 = \mu \cdot L$;
- I_y – tolórúd másodrendű nyomatéka;
- E – anyagjellemző, rugalmassági modulus.

A (8) összefüggésben az L_0 függ a megtámasztási viszonyoktól, vagyis, hogy a tolórúd vagy egyéb rúd végei miként vannak rögzítve. Kormányrendszerben, a legtöbb esetben a 34. ábrán látható megfogási esetekből az első $L_0 = L$ esettel találkozunk ($\mu=1$), amik a tolórudak végei csuklósan vannak bekötve a csatoló elemekhez.



34. ábra Tolórudak megtámasztása [12]

Az előzőekben leírtak alapján a 19. ábrán látható Halley Apollo Autogyro kormányrendszerében található tolórudak szilárdsági és stabilitás vizsgálata a következő képen alakul.

Alkalmazott tolórudak méretei, lásd L_1, L_2, L_4 és L_5 jelűek:

$D_1 = 22 \text{ mm}$	$D_2 = 22 \text{ mm}$	$D_4 = 20 \text{ mm}$	$D_5 = 20 \text{ mm}$
$d_1 = 19 \text{ mm}$	$d_2 = 19 \text{ mm}$	$d_4 = 17 \text{ mm}$	$d_5 = 17 \text{ mm}$
$A_1 = 96,555 \text{ mm}^2$	$A_2 = 96,555 \text{ mm}^2$	$A_4 = 87,135 \text{ mm}^2$	$A_5 = 87,135 \text{ mm}^2$

5. táblázat Tolórudak geometriai jellemzői, D – külső átmérő, d – belső átmérő, A – keresztmetszet

Alkalmazott tolórudak mechanikai anyag jellemzői:

$R_{EH1} = 295 \text{ N/mm}^2$	$R_{EH2} = 295 \text{ N/mm}^2$	$R_{EH4} = 295 \text{ N/mm}^2$	$R_{EH5} = 295 \text{ N/mm}^2$
$R_{M1} = 320 \text{ N/mm}^2$	$R_{M2} = 320 \text{ N/mm}^2$	$R_{M4} = 320 \text{ N/mm}^2$	$R_{M5} = 320 \text{ N/mm}^2$

6. táblázat Tolórudak mechanikai jellemzői, R_{EH} – folyáshatár, R_M – szakítószilárdság

Szilárdsági szempontból meghegedhető maximális nyomóerő a tolórudakban a folyáshatárhoz és a szakítószilárdsághoz viszonyítva:

$F_{EH1} = 28484 \text{ N}$	$F_{EH2} = 28484$	$F_{EH4} = 25705 \text{ N}$	$F_{EH5} = 25705 \text{ N}$
$F_{R1} = 30898 \text{ N}$	$F_{R2} = 30898 \text{ N}$	$F_{R4} = 27883 \text{ N}$	$F_{R5} = 27883 \text{ N}$

7. táblázat Tolórudak maximális megengedhető nyomóerő értékei a folyáshatárhoz és a szakítószilárdsághoz számítva

Stabilitásvesztést előidéző, Euler-féle kritikus erő meghatározása a (8) összefüggéssel:

$E_1 = 70000 \text{ N/mm}^2$	$E_2 = 70000 \text{ N/mm}^2$	$E_4 = 70000 \text{ N/mm}^2$	$E_5 = 70000 \text{ N/mm}^2$
$I_1 = 5099 \text{ mm}^4$	$I_2 = 5099 \text{ mm}^4$	$I_4 = 3752 \text{ mm}^4$	$I_5 = 3752 \text{ mm}^4$
$L_1 = 555 \text{ mm}$	$L_2 = 800 \text{ mm}$	$L_4 = 710 \text{ mm}$	$L_5 = 1095 \text{ mm}$
$\mu_1 = 1 \text{ N/A}$	$\mu_2 = 1 \text{ N/A}$	$\mu_4 = 1 \text{ N/A}$	$\mu_5 = 1 \text{ N/A}$
$L_{R1} = 555 \text{ mm}$	$L_{R2} = 800 \text{ mm}$	$L_{R4} = 710 \text{ mm}$	$L_{R5} = 1095 \text{ mm}$
$F_{krEuler1} = 11426 \text{ N}$	$F_{krEuler2} = 5499 \text{ N}$	$F_{krEuler4} = 5137 \text{ N}$	$F_{krEuler5} = 2160 \text{ N}$

8. táblázat Tolórudak kritikus kihajlás erő meghatározása

A maximális számított tolórúd erők az üzemeltetési határok szélső esetihez nézve és ezek viszonya a maximális nyomóerő szélső határértékéhez a szakítószilárdsághoz, illetve az Euler-féle kritikus stabilitásvesztés szélső értékéhez a 9. táblázatban kerültek összesítésre.

$F_1 = 4801 \text{ N}$	$F_2 = 4801 \text{ N}$	$F_4 = 1921 \text{ N}$	$F_5 = 1921 \text{ N}$
$j_{FOS1} = 6,44 \text{ N/A}$	$j_{FOS2} = 6,44 \text{ N/A}$	$j_{FOS4} = 14,52 \text{ N/A}$	$j_{FOS5} = 14,52 \text{ N/A}$
$BLF_1 = 2,38 \text{ N/A}$	$BLF_2 = 1,15 \text{ N/A}$	$BLF_4 = 2,67 \text{ N/A}$	$BLF_5 = 1,12 \text{ N/A}$

9. táblázat Számított tolórúderők és a biztonsági tényezők a teljes tönkremenetelhez j_{FOS}^9 és BLF^{10}

A 9. táblázat is alátámasztja azt, ami már a bevezetőben leírásra került, vagyis, hogy „a központosan nyomott tolórúd állapota stabilitási viszonytól és nem a nyomóerő okozta axiális nyomófeszültségtől függ, kijelenthető, hogy szilárdsági megfeleléstől független.” Látható, hogy a tönkremenetelt jelentő biztonsági jelzőszámok a BLF és a j_{FOS} értékei mindig a BLF vagyis a kihajlás esetén az alacsonyabbak. (Ez csak akkor igaz, ha a hosszirányú méret lényegesen nagyobb, mint a keresztirányúnál, vagyis hosszú karcsú rúd esetén).

Tolórudakat a kihajlási stabilitásvesztés mellett még rezonancia kritériumok szerint is ellenőrizni szükséges. A repülőgép motorjának és légszárnyjának, rezgései, lengései átadódhatnak a vezérlőrendszer rudazataira, azokban különböző gerjesztett lengéseket előidézve. A rezonancia elkerülésére a tolórúdrúd sajátlengésszámának a motor, légszárny üzemi fordulatszámától, legalább $\Delta n = \pm 300\text{--}400$ fordulat/perc értékkel kell, hogy különbözzön. A tolórúd hosszának csökkentésével a sajátlengésszám jól elhangolható, ennek hátránya, hogy a beépített csuklószámok növelését vonhatja maga után, az optimális állapot meghatározása ebből eredően is lényeges. Tolórúd sajátlengésszámai gyorsan és pontosan számolhatók FEM rezonancia vizsgálatokkal.

4. SZÁLERŐSÍTÉSEK KOMPOZIT ELEMÉK KORMÁNYVEZÉRLŐ RENDSZEREKBE

Az 1990-es évek közepétől ugrásszerűen megnőtt a szálerősítéssel kompozitok alkalmazási köre a repülőiparban, napjainkban ezekkel elterjedten dolgoznak a repülőgépgyártók, számos innovatív gyártástechnológiai eljárások bevezetésével, tökéletesítésével. A kompozitok alkalmazásának előnye az anyag anizotrop, heterogén szerkezeti megjelenésében rejlik, ami azt eredményezi, hogy adott célra, speciális terhelési irányokra megerősítve az alkatrészt lehet réteges szerkezetként azt felépíteni. Ezzel jelentős tömeg csökkenés érhető el a darabnál, attól függően, hogy melyik terhelési irányba kívánjuk az inerciáját megnövelni.

A szálerősítéssel kompozitok olyan szerkezeti anyagok, amik egy beágyazó anyag (mátrix) és egy szerkezeti erősítő anyag (szál) kombinációból épülnek fel. Gyakorlatban alapvetően három megjelenési formájuk terjedt el:

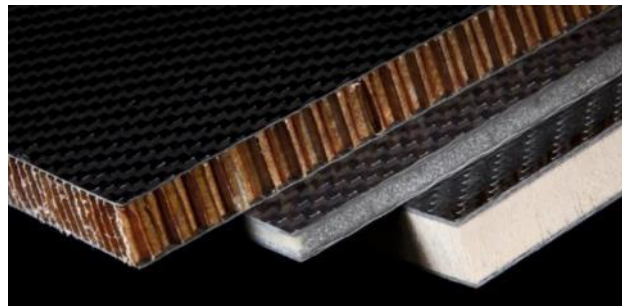
⁹ j_{FOS} : j biztonsági szám, vagy biztonsági tényező, FOS angolul a factor of safety rövidítése aminek jelentése a biztonság tényezője, szilárdsági értelemben a szakítószilárdságot előidéző nyomóerő és a maximális fellépő nyomóerő hányadosa, megmutatja, hogy adott fellépő erő esetén hány szoros biztonság van még a törés bekövetkeztéig.

¹⁰ BLF : buckling load factor, kihajlás biztonsági tényezője, megmutatja, hogy mekkora biztonsági tartalék áll még rendelkezésre, adott fellépő erő esetén, hogy a kihajlás ne következzen be.

- szálerősítéssel laminátumok, ebben az esetben egymásra építenek szöveteket (ami maga a mátrix-szál rendszer) és így biztosítják a szerkezeti darabok felépítését, rétegről-rétegre, ha szükséges különféle orientációba történő beépítését azoknak, példaként lásd a 35. ábrát;
- szendvics laminátumok, ahol az elv azonos az előzővel, csak bizonyos rétegeket maganyaggal választanak el egymástól, aminek a célja, hogy a laminátum rendszer, azaz maga a termék vastagságirányú méretét megnöveljék, összefoglaló néven ezeket hívjuk szendvics szerkezeteknek, erre mutat példát a 36. ábra;
- kerámia-kompozitok, hibrid rendszerek, amelyeknél többféle anyag társítása is lehetséges, például a 37. ábrán látható módon.



35. ábra Példa kompozit laminátum felépítésére



36. ábra Példa kompozit szendvics szerkezetekre



37. ábra Kerámia-kompozit hibrid anyagtársulás

Kompozit alkatrészgyártás általános jellemzői függetlenül az előállításának technikai módjától összefoglalva a következők:

1. a legtöbb esetben az alkatrészgyártás egy negatív formasablonban történik;
2. a munkadarab rétegről-rétegre építik fel;

3. az egyes rétegek a tér minden irányába (orientációjába) beépíthetők, így adott jellemző terhelési irányra optimalizálni lehet a szerkezeti darabot;
4. beépíthetők összefüggő, a teljes szerszámot kitöltő, vagy csak szakaszokat határoló rétegek úgynevezett helyi erősítések, merevítések;
5. szendvicsszerkezetek, maganyagok rétegek közé iktatásával történik ami lehet méhsejt, fém, hab stb.;
6. nagyobb vastagságú darabok esetén bizonyos számú réteg felépítését követően a szerkezetet vákuumozással tömöríteni kell;
7. egy szerkezeten belül létrehozhatók monolit és szendvics típusú kevert anyagtársítások;
8. az alkatrészek legtöbbje hőkezelést és ezzel párhuzamosan vákuumtömörítést igényel;
9. geometriailag szabad formák, bonyolultabb, időnként még alámetszett darabok is elkészíthetők osztott sablonok alkalmazásával.

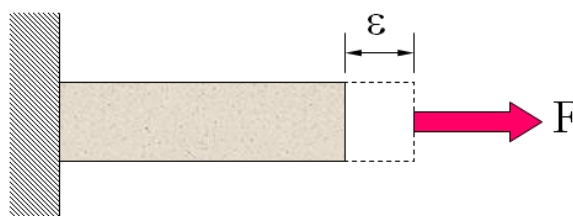
4.1. Szálerősítéssel kompozitok szilárdsági méretezésének alapjai

Szálerősítéssel kompozitok szilárdsági méretezése az anyag inhomogén, anizotrop felépítése következtében eltér a homogén anyagok mechanikai vizsgálatától. A mechanikai modellezés kiindulási elve azonban azonos, egy tengely irányú F terhelés hatására az anyag ε nyúlás változása meghatározott szabály szerint történik, (38. ábra) a mechanikából jól ismert Hooke-törvényből kell kiindulni, miszerint:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (9)$$

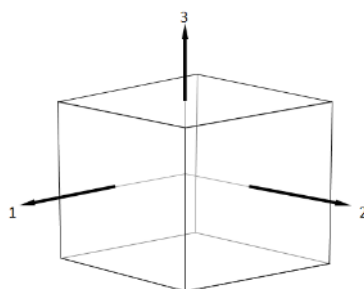
ahol:

- σ – tengelyirányú normál feszültség;
- ε – nyúlás;
- E – anyagra jellemző rugalmassági modulus.

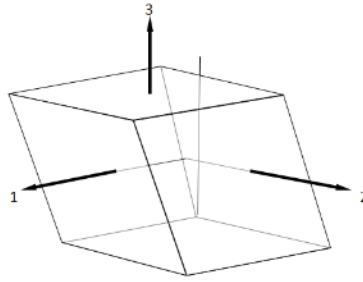


38. ábra Test tengely irányú terhelés hatására bekövetkező ε megnyúlása (saját forrás)

Ha a 38. ábrán látható testből egy elemi darabot (kiskockát) tekintünk, akkor a tér három tengelye mentén (39. ábra 1–2–3 (x–y–z) irányok) és három sík mentén (39. ábra 1–2 (x–y), 2–3 (y–z) és 1–3 (x–z)) képes deformálódni (40. ábra az 1–3 torzulást mutatja).



39. ábra Elemi kocka lineáris elmozdulási irányok (saját forrás)



40. ábra Elemi kocka deformációja 1–3 sík (saját forrás)

Kompozitok esetén a Hooke törvény úgynevezett generalizált alakját (mátrix egyenlet) kell alkalmazni, ami egy összetett tenzorba írható fel. Anizotrop anyag esetén, amikor már a laminátumot, mint térbeli szerkezeti elemet vizsgáljuk, tehát figyelembe vesszük annak vastagságát is, a levezetést mellőzve a mátrix egyenlet alakja:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} & Q_{15} & Q_{16} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} & Q_{24} & Q_{25} & Q_{26} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} & Q_{34} & Q_{35} & Q_{36} \\ Q_{41} & Q_{42} & Q_{43} & Q_{44} & Q_{45} & Q_{46} \\ Q_{51} & Q_{52} & Q_{53} & Q_{54} & Q_{55} & Q_{56} \\ Q_{61} & Q_{62} & Q_{63} & Q_{64} & Q_{65} & Q_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \lambda_{12} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

A (10) alapján általánosságban írható a következő:

$$\{\sigma_m\} = \{Q_{mn}\}\{\varepsilon_n\} \quad (11)$$

ahol:

- σ_m – feszültség tenzor;
- Q_{mn} – merevségi tenzor (merevségi mátrix);
- ε_n – nyúlás tenzor.

A (11) összefüggés nyúlás tenzorra kifejezett alakja a kompozit technikában a következő képen írható:

$$\{\varepsilon_n\} = \{S_{mn}\}\{\sigma_m\} \quad (12)$$

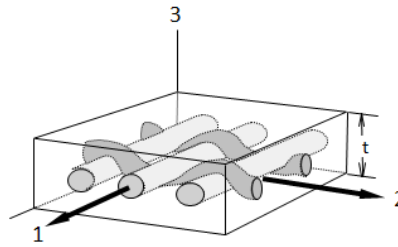
ahol:

$$\rightarrow \{S_{mn}\} = \{Q_{mn}\}^{-1}$$

A merevségi mátrix elemeiben tulajdonképpen az anyag, húzó rugalmassági és nyíró (csúsztató) rugalmassági modulusai jelennek meg a 10. táblázatban látható módon, ahol a merevségi mátrix inverzei kerültek feltüntetésre a már jellemző x–y–z koordináta rendszerben. Az x–y–z indexek a (10) mátrix egyenlet 1–2–3 indexeinek felelnek meg.

A laminátumot több réteg laminát építi fel, amik önmagukban nem anizotrop, hanem csak ortotrop szerkezettek (41. ábra), ezekre vonatkozóan a (10)-es számú mátrix egyenlet egyszerűsödik, mert a 39. ábra 3-as irányát elhanyagoljuk, ennek megfelelően az összefüggés a következő:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

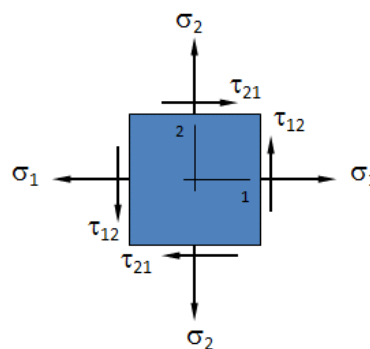


41. ábra Laminátum építő eleme a réteg vagy lamina (t - vastagság irány nem számottevő) (saját forrás)

Orientáció	A merevségi mátrix elemei				
	$S_{11} =$	ϵ_x / σ_x		$S_{41} =$	γ_{yz} / σ_x
	$S_{21} =$	ϵ_y / σ_x		$S_{51} =$	γ_{xz} / σ_x
	$S_{31} =$	ϵ_z / σ_x		$S_{61} =$	γ_{xy} / σ_x
	$S_{12} =$	ϵ_x / σ_y		$S_{42} =$	γ_{yz} / σ_y
	$S_{22} =$	ϵ_y / σ_y		$S_{52} =$	γ_{xz} / σ_y
	$S_{32} =$	ϵ_z / σ_y		$S_{62} =$	γ_{xy} / σ_y
	$S_{13} =$	ϵ_x / σ_z		$S_{43} =$	γ_{yz} / σ_z
	$S_{23} =$	ϵ_y / σ_z		$S_{53} =$	γ_{xz} / σ_z
	$S_{33} =$	ϵ_z / σ_z		$S_{63} =$	γ_{xy} / σ_z
	$S_{14} =$	ϵ_x / τ_{yz}		$S_{44} =$	γ_{yz} / τ_{yz}
	$S_{24} =$	ϵ_y / τ_{yz}		$S_{54} =$	γ_{xz} / τ_{yz}
	$S_{34} =$	ϵ_z / τ_{yz}		$S_{64} =$	γ_{xy} / τ_{yz}
	$S_{15} =$	ϵ_x / τ_{xz}		$S_{45} =$	γ_{yz} / τ_{xz}
	$S_{25} =$	ϵ_y / τ_{xz}		$S_{55} =$	γ_{xz} / τ_{xz}
	$S_{35} =$	ϵ_z / τ_{xz}		$S_{65} =$	γ_{xy} / τ_{xz}
	$S_{16} =$	ϵ_x / τ_{xy}		$S_{46} =$	γ_{yz} / τ_{xy}
	$S_{26} =$	ϵ_y / τ_{xy}		$S_{56} =$	γ_{xz} / τ_{xy}
	$S_{36} =$	ϵ_z / τ_{xy}		$S_{66} =$	γ_{xy} / τ_{xy}

10. táblázat Merevségi mátrix értelmezése anizotrop anyag esetén (saját forrás)

A (13) egyenletnek megfelelően csak síkbeli feszültségi állapot ébred (42. ábra), amiben a merevségi mátrix elemei szintén az anyag, húzó rugalmassági és nyíró (csúsztató) rugalmassági modulusai.



42. ábra A réteg vagy lamina síkbeli feszültség állapota (saját forrás)

Matematikai levezetés nélkül a (13) egyenletben a merevségi mátrix elemeinek értéke a következő:

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \quad (14)$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{21} \cdot E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \quad (15)$$

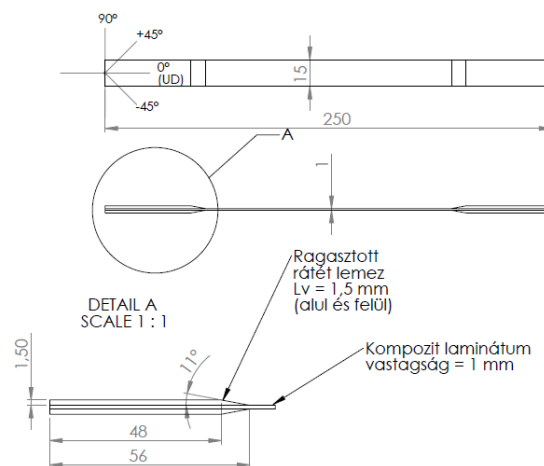
$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \quad (16)$$

$$Q_{66} = G_{12} \quad (17)$$

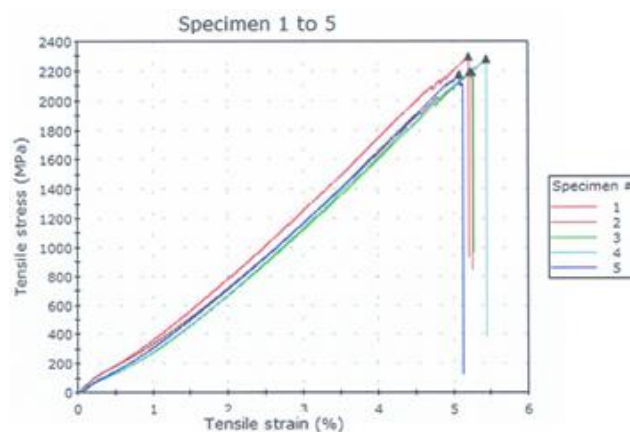
ahol:

- E_1 – lamina (réteg) x iránybeli húzó rugalmassági modulusa;
- E_2 – lamina (réteg) y iránybeli húzó rugalmassági modulusa;
- G_{12} – lamina (réteg) xy síkon működő csúsztató rugalmassági modulusa;
- ν_{12} és ν_{21} – poisson számok x–y irányok között értelmezve.

Napi szintű mérnöki gyakorlatban kompozit szerkezetek tervezése és azokkal kapcsolatos szilárdsági méretezések alapeszközévé váltak az ilyen célra alkalmas, különféle FEM eljárások. Emellett nagyon fontos, hogy a mérnök kezében a legbiztosabb módszer a laminátumok, szendvics szerkezetek mechanikai tulajdonságainak megállapítására, ha azokból a szerkezeti elemekkel azonosan próbatesteket készít, és folyamatosan laborvizsgálatokkal igazolja az adott orientációban azok viselkedését. Megfelelően elvégzett kisminta kísérletek, szakító-, nyomó-, hajlító, nyíróvizsgálatok végrehajtását nem helyettesítheti egyetlen FEM alkalmazás eredménye sem. A 43. ábra egy 5 laminából (rétegből) álló karbon laminátumot mutat, ami UD vagyis egy a húzó erővel terhelt irányban erősített szálakból épül fel. Ilyen vizsgálat során kimérhető a szakítószilárdság, a húzóirányú rugalmassági modulus, a nyúlás és a tönkremenetel szempontjából lényeges szálszakadás pontja.



43. ábra Szakító próbatest laminátum, öt rétegből (saját forrás)



44. ábra Karbon UD prepreg szakító próbatestek vizsgálati diagramja (saját mérés)

4.2. Kompozit alkatrészek a kormányvezérlő rendszerekben

Kormányvezérlő rendszerekben a leggyakrabban csatoló elemként, vagy tám elemként építenek be kompozitból készült egységeket, alkatrészeket. Alapjában kézi laminálással, prepreg eljárással, pultruzióval és bonyolultabb formák esetén RTM technológiával készülnek a darabok.

Egyre több ultrakönnyű és sportrepülőgépben alkalmaznak karbon laminátumból készült himbákat, amik szerepe közvetítés vagy irányfordítás. Az ilyen kialakítású himbáknál a laminátum forgáspontjába legtöbb esetben alumíniumból, korrózióálló acélból vagy bronz perselyből készült csapágycsokk fogadására alkalmas fészkeket ragasztanak be. Karbon laminátumból készült himbára mutat példát a 45. ábra.



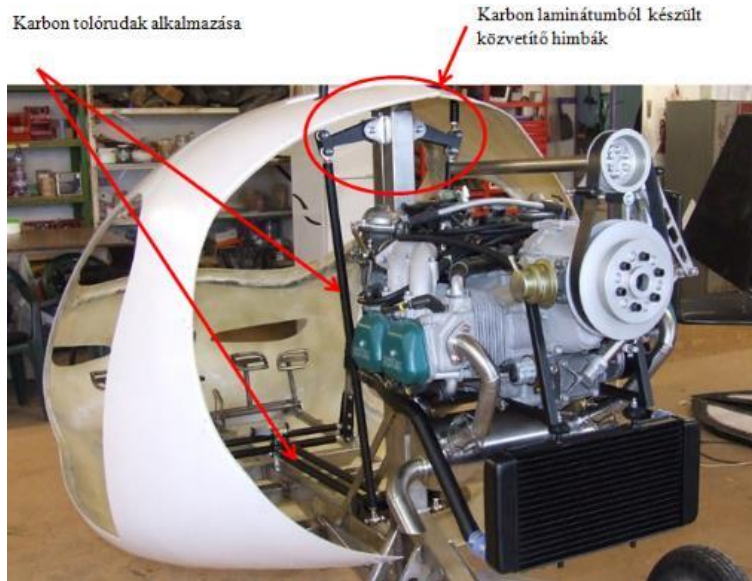
45. ábra Karbon prepregből készült himba laminátum egység

Előnyös a kormányrendszerek csatolóelemeinek felfüggesztését biztosító különféle karbon lapok vagy szendvics szerkezetből gyártott panelek gyártása, könnyű szerkezeti tömegük és esztétikus megjelenésük miatt, erre mutat példát a 46. ábra.



46. ábra Karbon prepregből készült lamainátum felfogató

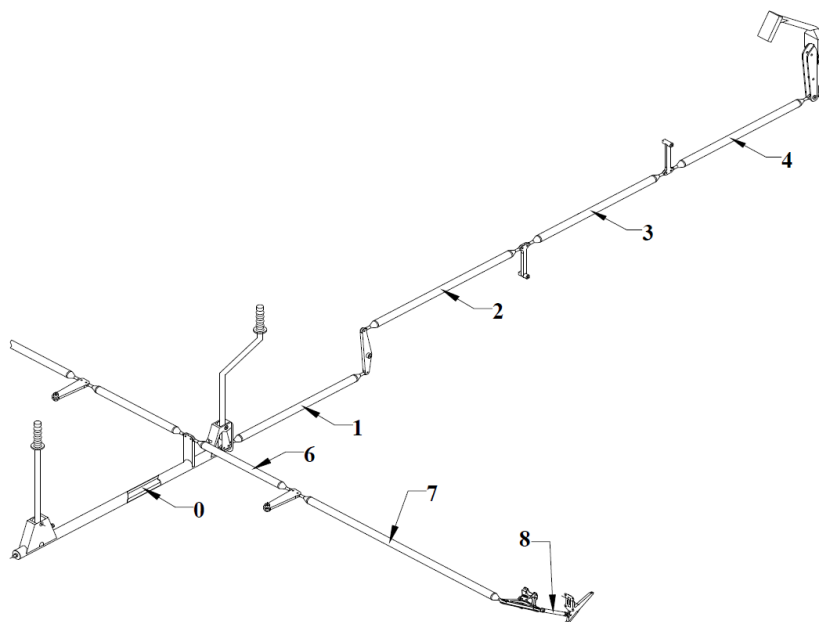
Kormányvezérlő rendszerek legkritikusabb elemei a mozgató rudak, amik szintén készülhetnek karbonból. A 47. és 48. ábrákon látható Halley Apollo Autogyro, 19. és 20. ábrákon látható kormányvezérlő rendszerében a tolórudakat lecserélték az eredeti alumínium és korrózióálló acél kivitelről karbonból előállítottakra. Utóbbiak alkalmazásának legfőbb előnye a tömegcsökkentés mellett a kihajlási stabilitás biztonságának növelése, ami által bizonyos esetekben a közvetítő, támasztó himbák (példa erre a 9. ábrán látható) a rendszerekből elhagyhatók, ezáltal csökken annak súrlódása és a meghibásodás lehetősége is. A 49. ábra egy versenyrepülőgép kormányrendszerét mutatja melyben, ha alumínium tolórudakat alkalmaznak, szükség van a 2–3 és 3–4 tolórudak közé beiktatni közvetítő himbákat a kihajlás meggátolására. Ezzel szemben az 50. ábrán egy olyan megoldás látható, ahol a kormányvezérlő-rendszerben a fordítóhimbát követően magassági kormány egy karbon tolórúddal összeköthető.



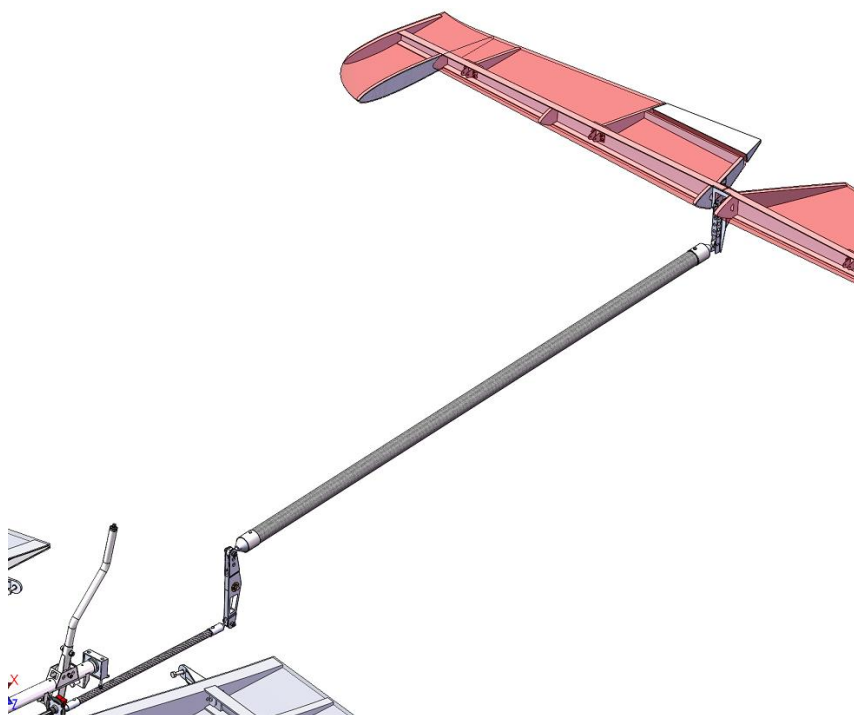
47. ábra Halley Apollo Autogyro karbonból kialakított kormányrendszere (saját forrás)



48. ábra Halley Apollo Autogyro felső hímát vezérlő karbon tolórúd (saját forrás)



49. ábra Extra 300 LT versenyrepülőgép kormányrendszere közvetítő hímákkal [13]



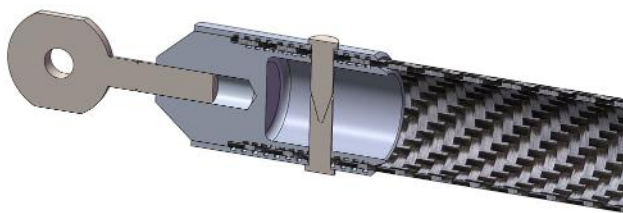
50. ábra Egy hosszú karbon tolórúddal mozgató magassági kormánylap (saját tervezés)

A 11. táblázatban azonos geometriájú, három különböző anyagból készült $L = 1000$ mm hosszú tolórúd szilárdsági és stabilitási vizsgálata látható. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a 170 gramm karbon tolórúd a legkisebb tömege ellenére is vetekszik mechanikai jellemzői tekintetében a tőle több mint négyszer nehezebb acéllal szemben az alumíniumtól pedig messze jobb értékekkel bír.

Vizsgált tolórudak						
Adat	AlMgSi	Adat	1.4301	Adat	CC22-19	
$D_1 =$	22	$D_2 =$	22	$D_4 =$	22	mm
$d_1 =$	19	$d_2 =$	19	$d_4 =$	19	mm
$A_1 =$	96,555	$A_2 =$	96,555	$A_4 =$	96,555	mm ²
$m =$	0,3		0,75		0,17	kg
Alaklam közötti tolórudak mechanikai paraméterei:						
$R_{B1} =$	320	$R_{B2} =$	500	$R_{B4} =$	820	N/mm ²
Maximum megengedhető fellépő erő a tolórudakban:						
$F_{R1} =$	30898	$F_{R2} =$	48278	$F_{R4} =$	79175	N
Euler-féle kihajlási erő kalkulációja:						
$E_1 =$	70000	$E_2 =$	210000	$E_4 =$	130000	N/mm ²
$I_1 =$	5099	$I_2 =$	5099	$I_4 =$	5099	mm ⁴
$L_1 =$	1000	$L_2 =$	1000	$L_4 =$	1000	mm
$\mu_1 =$	1	$\mu_2 =$	1	$\mu_4 =$	1	N/A
$L_{R1} =$	1000	$L_{R2} =$	1000	$L_{R4} =$	1000	mm
$F_{krEuler1} =$	3519	$F_{krEuler2} =$	10558	$F_{krEuler4} =$	6536	N

11. táblázat Azonos geometriájú, különböző anyagú tolórudak vizsgálata

Karbon tolórudak integrációjára mutat példát az 51. ábra ahol a karboncsőbe ragasztással kerül rögzítésre a belső menetes és külső vállas biztosító alumínium betét, biztonsági biztosítás a tengelyre merőlegesen illesztett-ragasztott kúpos záró tüskék. Ennek egy ténylegesen kivitelezett változata látható az 52. ábrán.



51. ábra Karbon tolórúd konstrukció (saját tervezés)



52. ábra Karbon tolórúd mart villa véggel kialakítva (saját forrás)

5. ÖSSZEGZÉS

Légijárművek kormányvezérlő rendszereinek tervezésében, gyártástechnológiai és üzemeltetési kérdéseiben több évtizedes tapasztalati eredmények állnak rendelkezésünkre. Az információs társadalomban képzett műszaki szakemberek számára is elengedhetetlenül fontosak azon műszaki ismeretek, amik ma már egyre ritkábban jelennek meg a napi gyakorlatban, még annak ellenére is, hogy a legtöbb esetben a digitális technika fejlett eszközökkel gyorsan, hatékonyan támogatja a mérnöki alkotó munkát. A számítástechnika CAD/CAM/FEM eszközeit alapos matematikai és mechanikai ismeretek tudásának hiányában nem lehet biztonságosan kezelni, és ugyanez igaz az anyagismeret és a gyártástechnológiák esetében is, ismerni kell azon módszereket, amiket elődeink alkalmaztak 30–40 évvel ezelőtt.

A szakcikkben légijárművek mechanikus vezérlésű kormányvezérlő rendszereinek főbb egységeit és azok tervezési, gyártási módszereit mutattam be, amik globális gyakorlati alkalmazása, átfogó műszaki ismeretek meglétét követelik meg az alkalmazótól.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Óvári Gyula: Korszerű Repülőgépek Kormányvezérlése, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem BJKMK Repülőműszaki Intézet, Egyetemi Jegyzet - elektronikus oktatási segédlet, aerodinamikai kormányzás lehetősége rész, hetedik számú dia, első kép, 2007.
- [2] Dr. Óvári Gyula: Korszerű Repülőgépek Kormányvezérlése, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem BJKMK Repülőműszaki Intézet, Egyetemi Jegyzet - elektronikus oktatási segédlet, belső kormányzervek rész, hatodik számú dia, első kép, 2007.
- [3] Dr. Óvári Gyula: Korszerű Repülőgépek Kormányvezérlése, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem BJKMK Repülőműszaki Intézet, Egyetemi Jegyzet - elektronikus oktatási segédlet, belső kormányzervek rész, hatodik számú dia, második kép, 2007.
- [4] Fémötvözetek hőkezelése (Al ötvözetek hőkezelése és vizsgálata) (online doc) url: www.matsci.uni-miskolc.hu/femtkapl/letoltes/femotvhok/Al%20otv%20hok.doc 13. ábra
- [5] Felületkezelő eljárások (online doc.) url: www.banki.hu/~aat/oktatas/gepesz/anyagtudomany2/hokezeles_3.doc 4. ábra
- [6] SKF: Spherical plain bearings and rod ends, (e-dok.), url: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/index.html> leírást lásd: Maintenance-free rod ends (2016.01.25.)
- [7] SKF: Spherical plain bearings and rod ends, (e-dok.), url: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/index.html> leírást lásd: Maintenance required rod ends (2016.01.25.)
- [8] RBC Aerospace Bearings: Ball Bearing Rod Ends – REP Series External Thread (e-dok.) url: http://www.rbcbearings.com/aero-pdfs/rolling/055_063/bbre_ms21151.pdf (2016.01.25.)
- [9] Dr. Óvári Gyula: Korszerű Repülőgépek Kormányvezérlése, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem BJKMK Repülőműszaki Intézet, Egyetemi Jegyzet - elektronikus oktatási segédlet, rudazatok illesztése rész, harmadik számú dián található kép, 2007.
- [10] Kovács Ádám, Moharos István, Oldal István, Szekrényes András: Végeselem-Módszer, Egyetemi tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Óbudai Egyetem - Bánki Donát Gépész- és Biztonságttechnikai Mérnöki Kar, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Typotex Kiadó ISBN 978-963-279-539-3 2011. 1.7. számú ábrája
- [11] Dr. Páczelt István: Végeselem - módszer alapja VEM alapjai, Előadás Jegyzet, 1. Előadás Pdf dokumentum Miskolci Egyetem, 16. oldal ábrája
- [12] Dr. Vigh Sándor - Mihálffy Attila: Hegesztett szerkezetek törése, fáradása 2013. Elektronikus oktatási segédlet, 6-06 ábra
- [13] EA-0D702 Maintenance Manual Extra 300 LT Extra Flugzeugproduktions und Vertriebs GmbH

APPLICATION OF FIBRE REINFORCED, ALUMINIUM AND SPECIALIZED STEEL ALLOYS IN AIRCRAFT FLIGHT CONTROL SYSTEMS

The applied materials and production methods of flight control systems of air vehicles (aircrafts, helicopters) significant changed and advanced in last 30-40 years in the aviation industry. We can write similarly this one about the design technique procedures. Design and manufacturing methods are inseparable because the base of product development is the integrated computer aided engineering process from sketch to final assembly. This scientific article presents the main requirement of flight control systems, up-to-date structural load calculations, furthermore summarizes the construction techniques and manufacturing parameters of composite parts in the flight control mechanisms.

Keywords: *fibre reinforced composite, aluminium, steel, flight control system, FEM method*

Dr. FARKAS Csaba, PhD
Gépészmérnök
Repülőgép kompozit szerkezeti mérnök
IWE/EWE hegesztő szakmérnök
Genevation Aircraft Kft (www.genevation.hu)
csaba.farkas@genevation.hu
orcid.org/0000-0001-9564-8026

Dr.FARKAS Csaba, PhD
Mechanical Engineer
Aircraft composite structural engineer
IWE/EWE welding engineer
Genevation Aircraft Kft (www.genevation.hu)
csaba.farkas@genevation.hu
orcid.org/0000-0001-9564-8026



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-02-0362_Farkas_Csaba.pdf

Nagy László

A HELIKOPTER-KÉPESSÉG FEJLESZTÉS LEHETSÉGES IRÁNYAI

A Magyar Honvédség a biztonsági környezet folyamatos romlásával régi/új fenyegetésekkel találja szemben magát, melyeknek meg kell felelnie. Az elmúlt években lezajlott változások, kiemelten a migrációs folyamatok következményeként, a korábbi expedíciós képességek kialakításáról a hangsúly ismét az ország szuverenitásának védelme irányába helyeződött át. Az elmúlt években a hazai helikopter-képesség, -köszönhetően a számos nemzetközi szerepvállalásnak - jelentős válságkezelő műveleti tapasztalatot és minimális szinten végrehajtott célirányos eszközfejlesztést/beszerzést jelentett. Mindezek mellett, a korlátozott erőforrások miatt a hagyományos képességek eszköztára javarészt elöregedett, az állomány létszámarányai folyamatosan romlottak. A jelenkor biztonsági kihívásai és a szövetségi elvárások miatt a nemzeti helikopter-képesség fejlesztése elengedhetetlen. Napjaink döntései az elkövetkezendő 40-50 évre fogják meghatározni a helikopterekkel végrehajtható feladatokat, a hazai „helikopteres kultúrát”, ezért a helikopter-képesség fejlesztésének lehetséges irányait célszerű már most figyelembe venni és elemezni a későbbi döntések előkészítése érdekében.

Kulcsszavak: romló biztonsági környezet, elavult eszközpark, nem megfelelő védelmi képesség, helikopter-képesség fejlesztés, katonai repülés üzemeltetési rendszere

„Repülőgépről legfeljebb egy virágot tudnak dobni a földön lévő bajbajutottnak, a helikopter viszont életet is menthet”

Igor Sikorsky

BEVEZETÉS

Magyarország a II. világháborút követően egyértelműen és kizárólagosan orosz gyártmányú repülőeszközök rendszerbe állításával oldotta meg a repülőcsapatok részére meghatározott feladatok ellátását. Az üzemeltetési technológia, az ehhez szükséges személyi állomány felkészítése, az infrastruktúra, a logisztikai ellátási rendszer teljes egészében megfelelt a szocialista országokban alkalmazott eljárásoknak, ezáltal biztosítva a korlátozások nélküli együttműködést.

A Szovjetunió vezette kelet-európai országok többségét tömörítő katonai szervezet, a Varsói Szerződés¹ felbomlása után, a volt tagállamok sokféleképpen kezelték a katonai repülés fejlesztését, a típusváltás kérdését. A repülőeszközök sorsa általában a leállítás lett, a legtöbb repülőgép, helikopter üzemidejét nem hosszabbították meg, hiszen az elavult technikai eszközökkel – figyelemmel a NATO csatlakozásból eredő új kihívásokat – hatékony feladat végrehajtás nem valósulhatott meg. A védelmi költségvetések rohamos csökkentésének, illetve a sorozatos, minden országban végrehajtott hadügyi reformoknak, illetve a kelet-európai tagországok gazdasági nehézségeinek következtében meglehetősen lassan zajlott (zajlik) a típusváltás, s van, ahol ez máig várat magára. A védelmi beszerzési folyamatoknak érezhetően lendületet adott a 2014-

¹ Varsói Szerződés: a közép- és kelet-európai kommunista országok védelmi katonai-politikai szervezete, Varsóban, Lengyelországban alapították meg 1955. május 14-én a Szovjetunió javaslatára, amely a szervezeten belül csaknem az összes hatalmat birtokolta.

ben kezdődött ukrainai eseménysorozat, mely az orosz erők fegyveres beavatkozásával járt, valamint a Szíriában zajló események miatt Európa irányába kialakult migráció. A nemzetközi helyzet valóban súlyosbodik - mint ahogyan a kelet-európai országok védelmi beszerzéseinek üteme is felgyorsult köszönhetően a védelmi kiadások fokozatos emelkedésének.

Sajnálatos módon, ha visszatekintünk a hazai helikopterek hadrafoghatósági mutatóinak alakulására az elmúlt negyed évszázadban, a fentiekben említett tünetek szinte mindegyike fellelhető. Ennek következtében egyértelműen kijelenthető, hogy a 23. órában vagyunk, azaz a fejlesztés már nem halasztható tovább. A szükséges döntéseket minél előbb meg kell hozni, hiszen egy esetleges új típus rendszerbe állítása – különösen mire abból hadrafogható, hazai- és nemzetközi környezetben egyaránt bevethető alegységek jönnek létre – évekbe telhet. A Magyar Honvédség helikopter képességének megtartása érdekében jelenleg 4 db Mi-17 szállítóhelikopter ipari nagyjavítása van folyamatban. Helikopter-képesség fejlesztésről viszont csak abban az esetben beszélhetünk, ha az elkövetkezendő években új, a napjaink kihívásainak megfelelő helikopterek kerülnek beszerzésre. Azért, hogy hazánk számára minden tekintetben a legmegfelelőbb légi járművek legyenek rendszerbe állítva, fontos tisztázni, hogy melyek azok a paraméterek, amelyek együttes figyelembevételével, komplex vizsgálatával érhető el a kívánt célkitűzés.

A helikopterek jelentősége

Attól a pillanattól kezdődően, hogy 1907-ben a francia Luis Breguet megépítette az első teljes nagyságú, forgószárnyakkal ellátott repülő eszközt, amely pilótával emelkedett a levegőbe, majd 1912-ben V. N. Jurjev megalkotta azt az eszközt, amelyen már ekkor alkalmazta a ma klasszikusnak mondható egy forgószárnyas, farok légcsavaros elrendezést, a repüléstudomány területén egy olyan új fejezet kezdődött, amelynek köszönhetően napjainkban a helikopterekkel végrehajtható feladatok igencsak szerteágazóak. Ezen légi járművek egyedi képességeinek felismerése eredményeként 1916-ban Petróczy István, Kármán Tódor és Zurovecz Vilmos a sérülékeny tüzéségi kötött megfigyelő ballonok kiváltására, kötött, – megfigyelő – forgószárnyas légi járművet szerkesztett.

Ezen speciális légi jármű fejlődésének folyamatában egyik meghatározó egyéniség Igor Sikorsky volt, aki 1939-ben a Connecticut állambeli Stratfordban mutatta be első konstrukcióját (VS-300), az azóta is „hagyományos” elrendezésnek aposztrofált farok légcsavaros megoldást, amely kiegyenlíti a forgószárny reakciónyomatékát, és a farok légcsavar lapátjainak beállítási szögét változtatva egyben alkalmas a függőleges tengelye körüli forgás irányítására is [1]. A találmány előnyös tulajdonságai még mindig páratlanok, hiszen képes bármely irányba repülni, akár hátrafelé is. Mindezen túl egy adott pozíció felett egyhelyben lebeghet, és szinte bárhol leszállhat, ahol rendelkezésre áll egy viszonylag sík és akadálymentes terep. A helikopterek hasznos képessége az autorotáció² is: a süllyedő gép forgószárny lapátjait a légáram megforgatja, amely felhajtóerőt termel, csökkenti a süllyedés sebességét, ennek köszönhetően, ha például a hajtómű működésképtelenné válik (ideális körülmények esetén) akár sérülés nélkül is leszállhat. E képességeknek köszönhetően a repülés új változata rövid idő alatt szép karriert futott be, sikerességének egyik

² autorotáció: A helikopter süllyedése közben az áramló levegő szolgáltatja azt az energiát, amely szükséges a lapátok aerodinamikai ellenállásának leküzdésére és a forgatására. A pilóta közreműködésével a helikopter ellenőrzött körülmények között veszít a magasságából, és az így visszaszerzett energia a lapátok forgatására fordítódik, ezáltal a légi jármű irányítható marad.

bizonyítéka, hogy a világ szinte összes hadserege rendelkezik ezen eszközzel, kihasználva minden előnyös tulajdonságát. A nagyhatalmak között kialakult versengés eredményeként sorra jelentek meg a katonai alkalmazásra tervezett helikopterek [8].

A helikopter katonai alkalmazása

E légi járművek katonai alkalmazása során olyan előnyös képességekre lehet szert tenni, mint a magas műveleti sebesség, a harcászati mozgékonyosság, a nagy műveleti rugalmasság, a megnövelt alkalmazási hatósugár, a mindenütt való jelenléttel való fenyegetés, az erők és eszközök gyors összpontosíthatósága, a gyors reagálási képesség, a rejtettség biztosítása, a váratlanság biztosítása, valamint a gazdaságosság.

Természetesen a bázisoktól való függőség, az időjárástól való nagyobb mértékű függőség, a „korlátozott” hasznos terhelhetőség, az összetett rendszerek miatti technikai érzékenység, és az alkalmazott alacsony repülési magasság miatti sérülékenység jelentős korlátozásokat eredményez az alkalmazások során. A fenti kettősség nagy kihívást jelent a tervezőknek, hiszen a korlátozó tényezők minimalizálása mellett a helikopterek alkalmazásának előnyös tulajdonságait kihasználva kell a megrendelő igényeinek megfelelő légi járművet kialakítani.

Mindezekén túl a helikopter-képesség kialakítása során - felhasználói oldalról - olyan összetevőket, tényezőket szükséges figyelembe venni, mit a rendszeresített géplétszám, a hadrafoghatósági mutató, az üzemeltetői háttér biztosíthatósága (humán erőforrás /a helikoptervezetők és a repülő-műszaki kiszolgálásban résztvevő állomány megléte és kiképzettsége), a repülő-műszaki kiszolgáló háttérbázis volumene, valamint a helikopter erőktől elvárt feladatrendszer.

A katonai alkalmazás során az előzőekben megfogalmazott előnyös tulajdonságokat, korlátozó tényezőket és alkalmazási eljárásokat csak és kizárólag egy komplex rendszerben lehet vizsgálni, annak érdekében, hogy minél szélesebb alkalmazhatósági körrel rendelkezzenek mind a légierő, mind pedig a szárazföldi műveletek vonatkozásában és képesek legyenek biztosítani a harcászati, hadműveleti és hadászati célok elérését.

A nem megfelelő darabszámú, vagy a nem kellő körültekintéssel kiválasztott és üzemeltetett helikopterek miatt kialakuló összefegyvernemi műveleti képesség csökkenés egészében rontja az ország védelmi feladatainak biztosíthatóságát.

Joggal merül fel a kérdés, hogy a mai kor követelményeit, a Nemzeti Katonai Stratégiában megfogalmazott feladatokat, a társadalom által megfogalmazott elvárásokat figyelembe véve, mit is jelent a helikopter-képesség?

A helikopter-képesség

A kifejezéssel az elmúlt években számos alkalommal találkozhattunk, amely egyre inkább beépült a napjainkban alkalmazott szakterminológiába. Egyik megközelítésben „a helikopter-képességet a következő elemek összessége alkotja: a rendszeresített repülőeszközök, a felkészült, kiképzett személyi állomány, valamint az a szervezeti keret, amelyben a haditechnikát üzemeltetik, alkalmazzák.” [6]

Fontosnak tartom tisztázni, hogy a „helikopter-képesség” alatt a helikopterek üzemeltetésének (mint például: harcászati-, műszaki paraméterek, üzemeltetési stratégia, üzemeltető állomány) komplex

rendszerét értem, melynek hatékony alkalmazásával biztosítható a haza védelme és a szövetségi feladatok eredményes végrehajtása békében és válság kezelő műveletekben egyaránt.

A helikopter-képesség szükségessége

A helikopter-képesség szükségességét egyértelműen meghatározza Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája³. A dokumentumban megfogalmazott feladatok végrehajtása, úgymint Magyarország függetlenségének, területének, légtérének, lakosságának és anyagi javainak külső támadással szembeni fegyveres védelme, közreműködés a természeti és ipari katasztrófák elhárításában, azok következményeinek felszámolásában, a humanitárius válságok kezelésében, a Szent Korona őrzése és védelme (kimenekítése), a polgári légi járművek fegyverként történő alkalmazásának megakadályozása, a helikopterek alkalmazása nélkül nem lehetséges.

Mindezt csak erősíti, ha áttekintjük a Magyar Honvédség alkalmazásának jellemzőit. Hazánk fegyveres erejének igénybevételére – a békeidőszaki feladatokon túl – jellemzően válságkezelő műveletekben kerül sor, sok esetben Magyarországtól jelentős távolságra, szélsőséges természeti és éghajlati viszonyok között, nehezen megközelíthető terepen, egyre több alkalommal lakott és beépített területeken, ahol csupán korlátozott mértékben, vagy egyáltalán nem áll rendelkezésre befogadó nemzeti támogatás. Szárazföldi műveletekre ott van szükség, ahol a kis létszámú, rugalmasan alkalmazható jól képzett katonákból álló egységek jelentősége megnőtt, melyek légi oltalmazása és légi szállítása kiemelt fontosságú.

A fenti feladatok hosszú távú biztosítása érdekében nem csak repülőtechnikákat kell ipari nagyjavítás alá vetni, vagy beszerezni, hanem a Magyar Honvédség bázisán felállítandó, helikopter-képességet kell a kor színvonalának megfelelő szinten megteremteni, majd fenntartani. Ez magában foglalja a technikai eszközöket, a kiképzést úgy hajózó, mint repülőműszaki vonalon, az üzemeltetési stratégiát, a logisztikai támogatást és a szükséges infrastrukturális beruházásokat. Ennek eredményeként egy, a XXI. század kihívásainak megfelelni tudó, modern helikopterekből álló képességet kapunk, mely hosszú távon, gazdaságosan üzemeltethető és egyaránt alkalmas nemzeti- és nemzetközi feladatok ellátására.

A helikopterek feladatrendszer

A képesség kialakításának első lépéseként a helikopterek alapvető feladatrendszerét kell meghatározni, hiszen NATO tagállamként a műveleti területen történő eredményes együttműködés érdekében az érvényben lévő eljárásokat kell követnünk. Mindez csak abban az esetben lehetséges, ha a NATO által megfogalmazott ajánlásokat magunkra nézve kötelezőnek tekintjük: a katonai szervezetnek rendelkeznie kell minimum 70, de átlagosan 80%-os üzemképességi mutatóval (NATO standard, AFS Volume III.) [2], valamint képesnek kell lenni magyarországi 1 fő- és 1 előretolt bázisról feladatai végrehajtására nappal és éjjel (éjjellátó „NVG⁴” alkalmazásával), egyszerű- és bonyolult időjárás viszonyok között.

A helikoptereknek korszerű navigációs, kommunikációs, illetve aktív önvédelmi (radar és lézer besugárzásjelző, rakétaindítás-jelző, automatikus zavarótöltet kilövő) rendszerekkel kell rendelkezniük.

³ Kihirdetve a 1656/2012. (XII. 20.) Korm. határozattal, közzétéve a Magyar Közlöny 2012. december 20-án megjelent 175. számában.

⁴ NVG – Night Vision Googles – Éjjel látó készülék

Ezen követelmények nem új keletűek a NATO tagállamokban. Gyakorlatilag mindezen tulajdonságok összessége teszi lehetővé a hazai- és a nemzetközi műveletekben való alkalmazhatóságot.

A helikopterek az egyedi tulajdonságaiknak köszönhetően szerteágazó polgári és katonai elvárásoknak képesek megfelelni, melynek köszönhetően alkalmasak komplex feladatrendszerek biztosítására/teljesítésére. Mindezeket figyelembe véve a helikopter-képességgel szemben az alábbi igényeket lehet megfogalmazni.

A helikopter-képességgel szemben megfogalmazott igények

Ország védelmi és szövetségi feladatok

Az ország védelmi (hazai), illetve szövetségi kötelezettségeit figyelembe véve, az alábbi tevékenységek végrehajtására kell felkészülni: (a feladatok jelentős része a MH 86. Szolnok Helikopter Bázis rendeltetésében megtalálható)

1. a Chicagói Egyezményben⁵ lefektetett, és hazánk által is ratifikált kutató-mentő feladatok végrehajtása;
2. különleges műveleti feladatok támogatása;
3. légi sugár-felderítés egy esetleges atom-, vegyi- vagy sugár szennyeződés esetén, mely alapját képezi a későbbi védelmi, illetve mentesítési tevékenységeknek;
4. különösen fontos személyek (VIP) szállítása;
5. harci és logisztikai jellegű légi szállítás végrehajtása;
6. a sérült katonák légi-egészségügyi kimenekítése;
7. légi felderítés végrehajtása a műveleti tervezés támogatása érdekében;
8. kis sebességű és kis magasságon repülő légi célok elleni tevékenység a nemzeti légvédelmi rendszeren belül;
9. vezetésbiztosítás, irányítás, híradás, hírszerzés biztosítása;
10. elektronikai hadviselés a földi telepítésű híradó-technikai eszközök tevékenységének-, illetve a földi és légi kommunikáció akadályozására;
11. harci kutató-mentő műveletek részfeladatainak (a kimenekítésben résztvevő erők kijuttatása majd kiemelése, légi-tűztámogatás) végrehajtása;
12. az ország védelmi célból, határ biztosítási feladatok végrehajtása;
13. a saját csapatok nagy manőverező képességű tűztámogatása, légi oltalmazás a műveleti feladatokban résztvevő szárazföldi csapatok részére;
14. az ellenség páncélozott céljainak és védett objektumainak megsemmisítése harci helikopterek alkalmazásával közeli, mélységi és mögöttes műveleti területen;
15. az ellenséges légvédelem lefogása érdekében folytatott műveletek támogatása a harci helikopterek irányított rakétáinak alkalmazásával;
16. az ország védelmi feladatok végrehajtása során alkalmazásra kerülő légi mozgékonyági, (légi szállítású) könnyű lövész és páncéelhárító csoportok harcbevételének támogatása.
17. városarc műveletek biztosítása az erők és eszközök kiszállításával illetve kiemelésével, a városarcban résztvevő szárazföldi erők légi tűztámogatása;

⁵Chicagói Egyezmény: A **Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet** (rövidítve **ICAO**, amely betűszó az *International Civil Aviation Organization* rövidítése) az ENSZ repüléssel foglalkozó szerve. 1944. december 7-én alakult meg Chicagóban, a Nemzetközi Polgári Repülésről szóló, 52 állam által aláírt egyezményvel.

18. konvojkísérés biztosítása;
19. erődemonstráció.

Katasztrófavédelmi feladatok

A helikopterek bevonhatók nem csak harci jellegű, hanem kormányzati szintű, nemzeti érdeket szolgáló tevékenységekbe is, melyek alapján az alábbi katasztrófavédelmi feladatok teljesíthetők:

20. árvízvédelmi tevékenység támogatása a helikopterek elsődleges beavatkozó képességének biztosításával;
21. nagyterjedésű tüzek légi oltása, a tüzek terjedési irányának légi megfigyelése, a földi- és légi tűzoltási tevékenységek légi irányítása a fedélzeten lévő kárhelyszíni parancsnok bevonásával;
22. polgári célú légi mentés (személyek kimenekítése a hóval körülzárt vagy árvízzel sújtott településekről);
23. humanitárius segítségnyújtás (élelmiszer vagy gyógyszerszállítás az elszigetelt települések lakóinak);
24. légi mentés végrehajtása ipari balesetek- (pl.: kolontári vörös iszap katasztrófa), illetve közúti balesetek sérültjeinek szállítása érdekében.

Kiemelt védelmi feladatok

A helikopterekkel az alábbi terror elhárítási-, légi rendészeti feladatok teljesíthetők:

25. határ biztosítás az illegális bevándorlás visszaszorítása érdekében;
26. légi megfigyelés, felderítés (a belbiztonsági tevékenység irányításának támogatása légi felderítési információk biztosításával);
27. terrorcselekményeket elhárító- és megelőző tevékenységekben való részvétel;
28. légi szállítás;
29. városi műveletek biztosítása;
30. erődemonstráció végrehajtása.

Nemzetgazdasági feladatok

Mindezekon túl a helikopterek bevonhatóak az alábbi nemzetgazdasági érdekeket szolgáló tevékenységekbe is:

31. nagytömegű terhek beemelése nehezen megközelíthető helyekre;
32. emberi szervek sürgős szállítása.

A felsorolt feladatrendszerből is megállapítható, hogy a helikopter-képességre nem csak a Magyar Honvédségnek van szüksége. Ez sokkal szélesebb körben értelmezendő probléma, amelyre meg kell találni a hazánk számára legmegfelelőbb megoldást. A hadrafoghatósági mutatókat és a fenti feladatokat figyelembe véve joggal merül fel a kérdés. Mi is a helyes irány? A meglévő helikoptereket egy modernizálással egybekötve ipari nagyjavítás alá vetni, vagy azokat lecserélni és egy új, a kor kihívásainak megfelelő képességet kialakítani.

Lehetséges irányok áttekintése

Az előzőekben részletesen vizsgáltam a helikopter-képességgel szemben megfogalmazott feladatrendszert. A hatékony és gazdaságos feladat végrehajtáshoz első lépésként meg kell határozni a szükséges géplétszámot típusonként (harci, szállító, kiképző/könnyű). Fel kell mérni mindazon gazdasági- és pénzügyi lehetőségeket, amelyek a képesség fejlesztés szempontjából elérhetők, majd előzetes piacutató segítségével meg kell határozni, hogy hány darab repülőeszköz beszerzése lehetséges és ez a mennyiség elegendő-e a kitűzött feladatok megoldására [5].

A védelmi képesség fenntartása mellett, a gazdasági lehetőségek összeegyeztetésével ki kell választani a pótlás számításba jöhető legcélszerűbb módozatát, amely:

33. hazánkban rendszeresített helikopterek felújítása, vagy;
34. ezek felújítása modernizálással;
35. más géptípus bérlése (lízingje);
36. repülőeszközök gyártása, vagy;
37. vásárlása lehet [4].

Rendszeresített helikopterek felújítása

Elvben valamennyi, jelenleg rendelkezésre álló helikopter felújításához, korszerűsítéséhez létezik program. A Mi-8-as típus egyik sarkalatos pontja a TV2-117 típusú gázturbinás hajtómű által biztosított teljesítmény, különösen magas külső hőmérsékleti viszonyok között, amely jelentős korlátozásokat jelent az üzemeltetés során. Mindezek mellett, a helikopter valamennyi szerkezeti elemét és berendezését tekintve legmagasabb meghibásodási rátával (és javítási, karbantartási költségnyaddal) a – már 15 éve nem gyártott – TV2-117 hajtómű rendelkezik. Egyszeri meghibásodásainak gyakorisága 9-szerese, a katasztrófához vezetőké pedig 1,56-szorosra a Mi-17/24-ben alkalmazott TV3-117-nek.[7]

A Motor Szics vállalat az előzőekben felsorolt tapasztalatokból az alábbi *praktikus következtéseket* vonta le:

38. a Mi-8T gazdaságos felújítására csak olyan, - lehetőség szerint már létező - hajtóművet célszerű alkalmazni, melynek teljesítménye nem haladja meg az eredeti TV2-117-ét, így nincs szükség a sárkány teherviselő elemeinek nagymérvű megerősítésére, illetve a közlőmű rendszer költséges cseréjére. Az új hajtómű viszont ezt a számított teljesítményét a lehető legszélesebb repülési magasság és környezeti levegőhőmérséklet tartományban őrizze meg, az eredetinel érdemben alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztás mellett;
39. a felújítást végző vállalat és a potenciális megrendelő közös érdeke, hogy a modernizációs programba a hajtómű cserén kívül, opcionálisan más, korszerű szerkezeti elemek, berendezések (avionika, forgószárny, farok légcsavar stb.) cseréje is megvalósítható legyen.

A hagyományos, hidromechanikus hajtóművezérlést lecserélték komplex, digitális alapú, úgynevezett FADEC⁶ rendszerűre, melynek köszönhetően a hajtómű teljesítményét és üzemanyag-felhasználását minden repülési és hajtómű üzemmódhoz úgy optimalizálták, hogy miközben az üzemeltethetőségi határok lényegesen kiszélesedtek, az üzemanyag fogyasztás több mint 10%-kal csökkent.

⁶ FADEC: (Full Authority Digital Engine Control) Teljes mértékű digitális hajtómű szabályozás

A modernizált hajtómű TV3-117VMA-SzBM1V 4E beépítése előtt a felújítandó helikopter sárkányszerkezetét átfogóan ellenőrzik, az új, minimálisan megváltozott geometriai méretű hajtómű beépítéséhez - hosszabbító csőtoldat beépítésével - átalakítják a hajtómű szívócsatornáját, a törzs felsőrészen módosítják a megerősített törzskeretet. A gazdaságosság és repülésbiztonság javítása érdekében járulékosan korszerűsítik és módosítják az üzemanyag-, levegő-, kenő-, tűzoltó-, jégtelenítő-, valamint a hajtóművek működésének szinkronizálását biztosító rendszereket és kicserélik a helikopter elektromos hálózatát is.

Az így kialakított Mi-8 MSzB típusú helikopter az alábbi repülési és műszaki jellemzőkkel rendelkezik:

Vizsgált jellemző	MI-8T, + TV2-117 hajtómű	MI-8MSzB, + TV3-117VMA- SzBM1V 4E hajtómű
Maximális felszálló tömeg	12 000 kg	12 500 kg
Rendelkezésre álló hajtómű teljesítmény	2x1500 LE	2x1500 LE
Statikus repülési csúcsmagasság	1800 m	2400 m
Dinamikus repülés csúcsmagasság	4500	7300 m
Hatótávolság 1 db póttartállyal	780 km	820 km
Üzemeltetéshez megengedett külső levegő- hőmérséklet tartomány	(-50)+(+40) °C	(-60)+(+55) °C
Rendelkezésre álló összes repülési idő	12 000 óra	15 000 óra
Ipari javítások közötti repült/naptári idő	1500 óra/10 év	5000 óra/10 év
Óránkénti átlagos üzemanyag fogyasztás	650 kg	560 kg

1. táblázat Jelentősebb repülési és műszaki jellemzők [7]

Mindazok ellenére, hogy a fenti példa igen kedvező lehetőségeket mutat be, „a rendszeresített helikopterek felújítása” módozat nem a legmegfelelőbb megoldást adja számunkra. Az első és legfontosabb indok, hogy nincs annyi - jelenleg ipari nagyjavításra, felújításra váró helikopter, amellyel a meghatározott feladatrendszer lefedhető lenne, ráadásul a felújítást követően a helikopterek nem felelnének meg sem a hazai, sem pedig a szövetségi környezetben elvárt követelményeknek (pl: rádióforgalmazás, éjjellátó képesség, radar és lézer besugárzásjelző, rakétaindítás-jelző, automatikus zavarótöltet kilövő). Ezért ezt a változatot abban az esetben javaslom alkalmazni, ha az erőforrások csak korlátozott mértékben fognak rendelkezésre állni.

Rendszeresített helikopterek felújítása modernizálással

Ez a módozat, ha korlátozottan is, de lehetőséget biztosít a hazai- és szövetségi tagságból adódó feladatok érdekében kialakított képességek eléréséhez. Azonban a modernizációt követően is fennáll a korábban említett maximális élettartam, valamint a korszerűsíthető géplétszám probléma, amely azt jelenti, hogy az elkövetkezendő években le kell cserélni a teljes eszközparkot, függetlenül egy esetleges nagymértékű beruházástól. Ez alapján megkérdőjelezhető, hogy hazánk investáljon-e rövid időn belül egy jelentős összeget a meglévő repülőeszközök helyreállítására, majd egy újabb, meghatározó mértékű kiadással nézzen szembe a helikopterek 10 éven belüli leváltására, vagy egyetlen lépéssel hosszabb távra (akár 40 év) biztosítsa a megfelelő feltételeket a feladatok eredményes végrehajtásához. Mivel a '70-es, '80-as évek technikai színvonalán álló helikopterek jelenlegi állapotukban csak minimális szinten tudják szolgálni az ország érdekeit, és a szövetségi tagságból eredő együttműködésre is csak korlátozásokkal alkalmasak, elkerülhetetlen a Magyar Honvédség jelenleg meglévő képességének megújítása és hosszú távú biztosítása.

Más géptípus bérlése (lízingje)

Ezen módozat alkalmazásában hazánknak már vannak tapasztalatai, hiszen az egykori MIG-29-es kis hatótávolságú elfogó-vadászrepülőgépek kiváltása érdekében 2001-ben aláírtuk azt a bérleti (lízing) szerződést melynek keretében svéd gyártmányú könnyű vadászbombázó repülőgépekkel biztosítjuk hazánk légterének védelmét. A Magyar Honvédség hadrendjében lévő JAS 39 EBS HU Gripen a kor technikai és harcászati követelményeinek maximálisan megfelelő, a piacon elérhető egyik legmodernebb, negyedik generációs vadászrepülőgép, amellyel – a 2012-ben módosított szerződésnek köszönhetően – 2026-ig biztosítható a magyar légtér szuverenitásához elengedhetetlen vadászrepülő-képesség. Jelen dolgozatban csak a beszerzés lehetséges módozataként tértem ki a „Gripen programra” és nem kívánom elemezni, hogy ez a beszerzési módozat mennyire előnyös és gazdaságos hazánknak, milyen hátrányai vannak, esetleg lehetett volna-e jobb bérleti szerződést megkötni.

Repülőeszközök gyártása

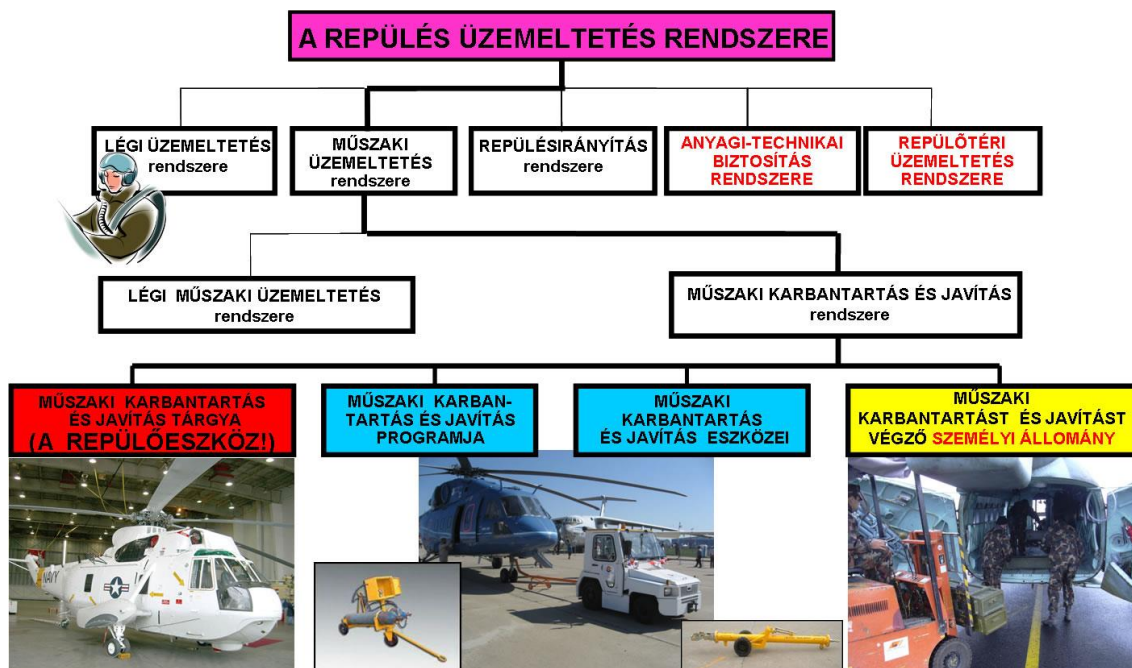
Ezen módozat teljességgel kizárható, hiszen hazánk jelenleg nem rendelkezik olyan ipari háttérrel, amely alkalmas lenne védelmi célra felhasználható helikopterek gyártására.

Vásárlás

A katonai eszközök beszerzése elsősorban politikai és csak ezt követően pénzügyi kérdés. Nekünk, katonáknak az a feladatunk, hogy a döntés előkészítés fázisában a rendelkezésre álló információk alapján összehasonlító elemzések segítségével javaslatot tegyünk az összességében legmegfelelőbb haditechnikai eszköz beszerzésére. Természetesen a Közbeszerzési Törvény ebben az esetben is kötelező jellegű, éppen ezért már a pályázat kiírása előtt fontos meghatározni azokat a harcászati, műszaki jellemzőket, melyek segítségével reálisan össze lehet hasonlítani a különböző gyártók által kínált repülőeszközöket. Minden nagy rendszer létrehozása vagy átfogó fejlesztése előtt, először tisztázni kell a vele szemben támasztott célt, a megvalósítandó funkciókat és a végrehajtandó feladatokat, azok szervezési (és nem szervezeti!) rendjét, majd az azok közötti összefüggéseket, és csak ezek ismeretében érdemes az eszközök kiválasztásához, illetve a szervezeti és térbeli struktúra kialakításához hozzáfogni. E megfogalmazásból is egyértelműen levonható következtetés, hogy egy új típus beszerzése nagyon nagy előkészítő munkát igényel, hiszen egy fegyverrendszer – jelen esetben a Magyar Honvédség helikopter-képesség – 40–50 éves jövőjét határozza meg [3].

ÖSSZEFOGLALÓ

Bármilyen szempontok is érvényesüljenek a fegyverzetváltásnál (képesség kialakításnál), mindez eredményre csak akkor vezethet, ha rendszereket vizsgálunk. Jelenleg adott a magyar katonai repülés meglévő üzemeltetési eljárás rendje, a már meglévő személyi állománnyal, repülőeszközzeivel, infrastruktúrájával, tartozékaival, amelyhez illeszkednie kell az új repülőeszközök üzemeltetési stratégiájának, hiszen a folyamatban lévő Mi-17 ipari nagyjavítás eredményeként még legalább 6–7-évig rendelkezni fogunk orosz típusú helikopterekkel. Ezen belül csak egy – noha meghatározó fontosságú – elem a kiválasztott repülőeszköz, mint az üzemeltetés tárgya, melynek harcászati-technikai lehetőségeit csak a rendszer, az alrendszerek és azok elemeinek tökéletes illeszkedése és kapcsolódása esetén lehet maximálisan kihasználni (1. ábra).



1. ábra A repülőeszköz helye az üzemeltetés rendszerében [7]

A légi járművek gazdaságos és hatékony üzemeltetése csak ezen a komplex rendszeren keresztül valósulhat meg, amelyben maga a légi jármű, már önmagában is egy bonyolult alrendszert alkot. Ahhoz, hogy egy ilyen „képességet” kialakítsunk, átfogó elemzésre van szükség, fel kell tárnunk a szűk keresztmetszeteket és lehetőségként minimalizálni kell a plusz kiadásokat. A katonai repülés üzemeltetése és ezen belül annak tárgya (légi jármű), a repülőműszaki állomány, az üzemeltetési program és a szükséges eszközök és objektumok csak abban az esetben biztosítják a kívánt célok elérését, ha a képesség kialakításakor teljes mértékben vizsgáljuk azokat a szempontokat és összefüggéseiket, amelyek erre döntő hatást gyakorolnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Peter R. March: A repülés története A Wright fivérektől a Concorde-ig; Fordította: FAZEKAS ANDRÁS, Zrínyi Kiadó Bp. 2008. pp. 212.
- [2] AFS Volume III.: ACO Forces Standards Volume III. A NATO erővel szemben megfogalmazott követelmények 2005. pp. 15-20.
- [3] Seres György: „FUTURE AVIATION TECHNOLOGIES” tudományos konferencián elhangzott előadás „A magyar légierő korszerűsítésének folyamata” 2002.; pp. 1-2.
- [4] Óvári Gyula: A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonyasági kritériumok valamint NATO csatlakozásunk figyelembevételével. A légierő fejlesztése Tanulmánygyűjtemény HM, Budapest, 1997. pp. 9-127.
- [5] Pogácsás Imre: A repülőeszközök mérnök-műszaki biztosításának és üzemeltetésének vizsgálata a fegyverzetváltással összefüggésben, NKE PhD értekezés 2012. pp. 22-27.
- [6] Orosz Zoltán: A Magyar Honvédség szállítórepülő- és helikopter-alegységek alkalmazási lehetőségei a NATO szövetségi rendszerében, Doktori (PhD) értekezés, 2011. pp. 106.
- [7] Óvári Gyula, Varga Béla: A MI-8 típusú helikopterek üzemidő-hosszabbításának egy lehetséges, korszerű megoldása (A MOTOR SZICS elgondolása), Katonai Logisztika 2014/2. szám pp. 11-31.;
- [8] Szilvássy László: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben, (Tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori (PhD) értekezésének főbb eredményeit mutatja be). MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, Elektronikus Műszaki Füzetek X. Debrecen, 2011., ISBN 978-963-7064-26-5; url: http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/aaaabchf/doc/musz_fuz_10_2011.09.09-21.50.pdf; url: http://dr.sziszilaci.hu/pub/2011-35_A_HH_fvrensz_mod_lehet_a_MH-ben.pdf

THE FEASIBLE DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF HELICOPTER CAPABILITY

The Hungarian Defence Forces encounters old-new threats because of the continuous deterioration of the security environment in the region, and these threats need to be met. The changes that have taken place in recent years, especially the ones that have resulted from migration processes, shifted the focus from the earlier evolving of expedition capabilities towards protecting the country's sovereignty. With respect to the past few years the national helicopter capability, due to a number of international engagements, gained a significant amount of experience in crisis-management operations and it also experienced a purposeful development of some gears at a minimum level. In addition, limited resources resulted in obsolete conventional equipment and steadily deteriorated numbers in the strength of the forces. Because of the contemporary security challenges and the expectations of the alliance the development of the national helicopter capability is essential. The present decisions will determine the tasks performed by helicopters and the domestic „helicopter culture” over the next 40-50 years, so it is vital to take the feasible directions of the development of helicopter capability into account and analyse it in order to prepare for future decisions.

Keywords: *worsening security situation, obsolete equipment, insufficient defense capabilities, development of the helicopter capability, military flight management system*

Nagy László alezredes
törzsfőnök-helyettes
MH. 86 Szolnok Helikopter Bázis
lesliebig@freemail.hu
orcid.org/0000-0002-7831-8639

LtCol. László Nagy
deputy chief of staff
HDF 86th Helicopter Base
lesliebig@freemail.hu
orcid.org/0000-0002-7831-8639



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-03-0361_Nagy_Laszlo.pdf

Makkay Imre

ÜTKÖZÉSEK ELKERÜLÉSE A KISGÉPES ÉS A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLÉSBEN

A légiközlekedésben a „Látni és látszani” – a résztvevők azonosítása, helyzete, mozgási iránya, sebessége - a legfontosabb információ, amely a zavartalan forgalomirányítást biztosítja. A primer és szekunder radarok mellett a nemzetközi légiforgalomban már rendszeresített ADS-B és az egyre növekvő számú FLARM és OGN-TRACKER berendezések jelenthetik a kisgépes és pilóta nélküli repülések számára a műszaki megoldást egymás észlelésére és az ütközések elkerülésére. Jelen írásműben – az általános ismertetésen túl – a technikai lehetőségekről, azok hazai továbbfejlesztéséről is szót ejtünk.

Kulcsszavak: látni és látszani, ütközés elkerülés, kisgépes/pilóta nélküli repülés, ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER

BEVEZETÉS

Míg az utak, folyók behatárolják a rajtuk közlekedők helyzetét, a légtér közel „végtelen” szabadságot jelent a repülő eszközök számára. Ez egyben meg is nehezíti a légi járművek vezetőinek és a légifogalom irányítóinak helyzetét, hiszen az előírt útvonal, a „kötött pálya” csak a modern navigációs műszerekkel tartható – néhány tíz-száz méter – pontosan. Az utas és teher szállító légi járatok ezeket a virtuális országutakat használják a nagy távolságok megtételekor. A kisebb méretű, rövidebb hatótávolságú repülőgépek is repülhetnek a műszeres repülés szabályai szerint (IFR – Instrument Flight Rule) – ez komoly fedélzeti elektronikai eszközöket és felkészült pilótákat igényel, de így a földi irányítás számára csak az útvonalon repülő légi járművek forgalmának „rendőrlámpa” szerű szabályozása a feladat.

A nagyobb kihívást a látva repülés szabályai (VFR – Visual Flight Rule) alapján közlekedők jelentik, amelyek fedélzetén a mágneses iránytű, barometrikus magasság és légsebesség mérőn kívül egy 1:500 000 léptékű légiforgalmi térkép, valamint egy (perc pontosságú) óra a minimális navigációs felszerelés. A levegő-levegő, illetve levegő-föld rádióösszeköttetést a „repülősáv” (118,000–136,975 MHz frekvenciatartományban 25 kHz-es, vagy 8,33 kHz-es csatornaosztású) készülékekkel lehet biztosítani.

Az útvonalválasztás a légi jármű vezetőjének a lehetősége/felelőssége és a többiektől való biztonságos távolság megtartása is feltételezi a LÁTÁS-t – azaz egymás észlelését. Ennek sikere nagymértékben függ a felderítendő objektum méretétől, színétől, távolságától, illetve mozgási irányától és sebességétől. Az utóbbi jelentős lehet – a merevszárnyú repülőgépek a levegőben maradás érdekében az „átesési sebességet” meghaladó sebességgel kell, hogy repüljenek – amit tetézhetsz, ha összetartó, illetve szembe repülő légi járművek vezetőinek látására kell az ütközés elkerülését bízni.

Súlyosbítja a helyzetet, a magyarországi légtér szerkezet és a szabályozók, melyek lehetővé teszik, hogy bizonyos légi járművek a nem ellenőrzött légtérben bejelentés (repülési terv) nélkül, rádióösszeköttetést nem létesítve – csak „szemel láthatóan” közlekedjenek. Az ütközések koc-

kázatát növeli, hogy a ezekben a légterekben a motoros, vitorlázó, siklóernyős, sárkányos résztvevők mellett az utóbbi időben megjelentek „bátor” drónos résztvevők is [1]. Az utóbbiak különösen a kis méretük, váratlan manővereik miatt jelenthetnek kihívást a „hagyományos” repülőgépekhez szokott pilóták számára.

A pilóta nélküli légi járművek egyre nagyobb hatótávolságra képesek, ugyanakkor az azonosító/helyzetjelentő/ütközést elkerülő rendszerük hiánya miatt erre csak elkülönített légtérben van lehetőségük. Még itt is szükség van a folyamatos követésükre, kapcsolattartásra – például előre nem tervezett mentő-, rendőrségi-, katonai repülés miatt – az eseti légtér visszavonása, gyors kiürítése érdekében. A rövidesen érvénybe lépő tiltó/korlátozó intézkedéseken túl az ő „látásuk és láttatásuk” érdekében is határozott lépéseket kell tenni.

A továbbiakban a kigépes és a pilóta nélküli repülésben alkalmazható eszközök és eljárások bemutatásával az ütközések veszélyét csökkentő kutatás-fejlesztések és beruházások fontosságára kívánjuk a szakemberek és az ez iránt érdeklődő olvasók figyelmét irányítani.

LÁTNI ÉS LÁTSZANI – EZ ITT A KÉRDÉS

Nem túlzás a Shakespeare-i drámaiság, ha a közelmúlt repülő eseményeit elemezzük, melyek visszavezethetők – az emberi gondatlanság, felelőtlenség, szabályszegés klasszikus példáin túl – az organikus tényezőkre, ami az ember érzékszerveinek korlátos képességeit takarja. Az emberi szem/agy nem képes egy bizonyos határon túli nagysebességű változások, mozgások követésére és ennek megfelelő reakciókra. Ami elegendő az emberek természetes mozgása, kapcsolatai (pl.: egy bokszmérkőzés) közben, az a gépek által kiprovokált sebességekkel nem tud versenyezni, mint ahogy nem összemérhető a madarak látásával, reflexeivel sem. Ők az életük minden percében a LÁTVA REPÜLÉS kihívásait élik meg – irreális az elvárás, hogy a látogatóba érkezett ember velük megmérkőzzön. A vitorlázó repülésben gyakori a madarakkal való együtt termikelés. Sok esetben számolnak be arról, hogy a madarak térnek ki az ütközést elkerülendő gyors manőverrel a „tökéletlen” légi jármű elől.

A környezet és abban közlekedő „szomszédok” látása a VFR repülés alapja. Az elemi navigációban a látott kép és a térképen ábrázolt felszínrajz alapján azonosít a légi jármű vezetője. Ha rosszak a látási körülmények – ködös, páras idő, sötétedés zavarja a látást – akkor a helyszámító eljárás segíthet. Ez a felkészülés során kiszámolt útirány, magasság, sebesség és a fordulópontok között eltelt idő tartásán alapuló módszer már az IFR felé vezető első lépés. Ideálisan mindkettőt párhuzamosan, egymás megerősítésére használják.

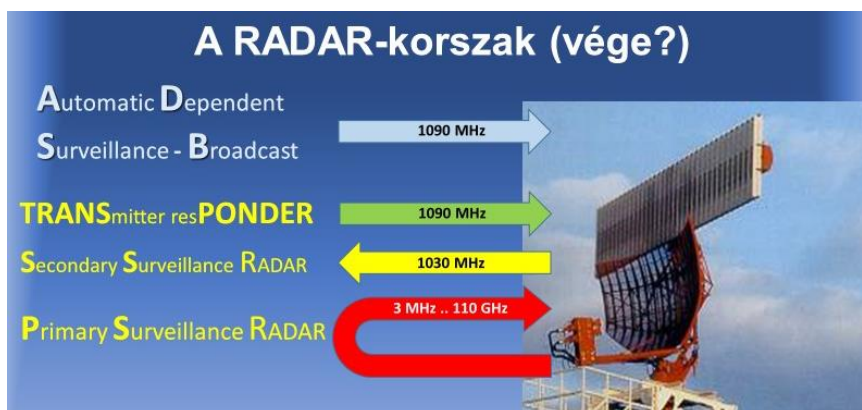
Az ütközésveszélyt növeli, hogy a látás alapján végzett navigáció pontossága, megbízhatósága messze alatta marad a műszerekkel támogatott eljárásoknak – ugyanakkor azok meghibásodása esetén a térkép és iránytű a „menekülő út”, amit ezért minden repülőgépvezető a keze ügyében tart. Eltévedés esetén külső segítség az irányító/tájékoztató szolgálattól érkezik, ehhez a repülőgép is hozzájárul transzponderével és rádiókapcsolatot biztosító eszközeivel. Ha ezekkel nem rendelkezik, vagy meghibásodás történt, akkor a „láthatatlan repülőgép” csak magára számíthat.

A „látni és látszani” a polgári repülés minden eszköze, résztvevője számára létfontosságú. Azoknak is kell adni lehetőséget, amelyek felépítésüknél, méretüknél fogva nem, vagy csak korlátozott

méretű és teljesítményű segédberendezéseket képesek magukkal vinni. A primer radarok a reflektált rádióhullámok irányát, intenzitását, időbeli lefutását mérik – amelyek csak a megfelelő méretű és elektromos vezetőképességű felületekről képesek kellő mennyiségben visszaverődni. A „színalumínium” Cessnák, Blanikok jól felderíthetők, de a részben, vagy egészében műanyag építésű modern motoros és vitorlázó repülőgépekről, a sárkányrepülőkről, siklóernyősökről alig jön értékelhető visszavert jel. A drónok felderítése is nehéz, ezért – a magas biztonsági kihívások miatt – az utóbbi években intenzív fejlesztések kezdődtek. A korábban a repülőterek madármozgásának indikálására kifejlesztett radarokat, a földi objektumvédelemben használt személy-, jármű felderítő radarokat próbálják adaptálni a kisméretű drónok indikálására.

ADS-B¹

A szekunder radarok a kisugárzott kérdező impulzusokra válaszoló fedélzeti (A/C/S módusú) transzponderek jelét érzékelik. A 200 W teljesítményű, ~ 1 kg tömegű transzponder a motoros repülőgépeken általános, míg a korlátozott energiahordozó miatt a vitorlázó repülőgépeken, drónokon nem jellemző felszerelés.



Az ADS-B a radarok felváltására készül – a polgári légiközlekedésben [2]

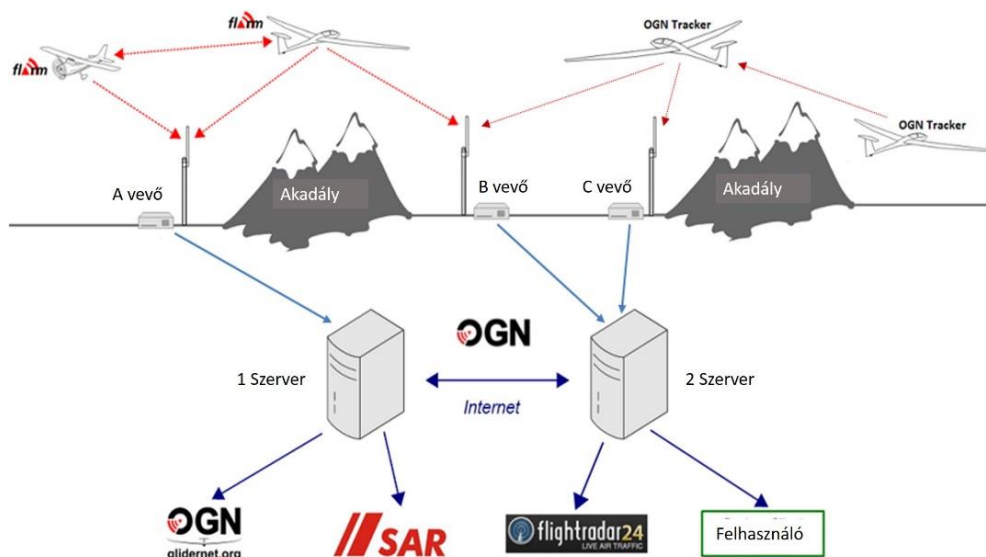
Az ADS-B külső kérdező jel nélkül önállóan jelenti a helyzetet, repülési paramétereiket, útvonallal kapcsolatos információkat. Az ADS-B a földi megfigyelők számára jelent kényelmet – a drága primer és szekunder radarok nélkül is lehet a légi járműveket követni. Az adás frekvenciája megegyezik az A/C/S módusú transzponderekkel (1090 MHz). ADS-B adó is 200 W teljesítményű – az első berendezések az S-módusú transzponderből lettek átalakítva – ezért többnyire csak motoros repülőgépen, nagyméretű UAV-n üzemeltethető. Az ADS-B adásokat a méltán népszerű FlightRadar [3][3] közösségi oldalon, vagy saját ADS-B vevővel [4] is sikerrel lehet megfigyelni. A nagyteljesítményű adásnak, jó terjedési viszonyoknak, jó antenna és vevőberendezésnek köszönhetően nem ritka a 3–400 km-ről érkező jel. (Ez egy átlagos primer rádiólokátor képességével összemérhető hatótávolság!)

A motor nélküli, vagy energiaellátásban korlátozott lehetőségű kisebb pilóta nélküli légi járművek számára ideális megoldás lehet az Open Glider Network (OGN), melyben a FLARM, POWER-FLARM, OGN-TRACKER, földi vevőberendezések és az internet kapcsolattal felépített OGN-hálózat működik.

¹ ADS-B – Automatic dependent surveillance – broadcast (automatikus helyzetjelentő rendszer)

FLARM²

Az OGN alapvető eleme (ötletadója) a FLARM, amely eredeti funkciójában a vitorlázó repülőgépek fedélzetén ütközés-veszélyt jelző rendszerként működött. A FLARM gyorsan elterjedt (2004 óta több mint 30 000 példányt helyeztek üzembe) és a kisépés repülés, valamint a pilóta nélküli légi járművek is egyre többet használnak – különösen a sok (nem ritkán 100) repülőgép részvételével zajló versenyeken.



1. ábra FLARM és OGN TRACKER az OGN-hálózatban [5]

A FLARM fedélzeti adó/vevő a 868 MHz-es – dedikáltan a kis hatótávolságú távvezérlők (garázsajtó, kapunyitó, riasztó ki/be kapcsoló) céljára fenntartott, nem védett – frekvenciasávban működik. A levegőben néhány kilométeres körzetben egyidőben repülő légi járművek azonosítójukat, a saját helyzetüket/magasságukat kisugározva egyben a szomszédos adásokat is veszik és kiszámolják, hogy van-e közöttük összetartó irányon/magasságon repülő gép. Ha igen, akkor grafikus kijelzőn annak irányát/távolságát/magasságát – hangjelzéssel együtt – megjelenítve a pilóták kitérő manővert tudnak végrehajtani. A maximum 25 mW kimenő teljesítményű adást a fedélzeti berendezéssel 2–5 km távolságról lehet venni. Ez éppen elegendő, hiszen az ütközés veszélyre ezen belül van értelme felkészülni.

Az OGN „felfedezése”, hogy a modern szoftverrádiók érzékenysége és „intelligenciája” már biztosítja a FLARM adások vételét akár 20–50 km távolságról is. A földi vevőállomások – nagyméretű antennákkal, érzékeny vevőkkel – hálózatba kötve akár összefüggő légtérből is képesek a FLARM adások vételére.

A technikai lehetőséget megragadva gyorsan kiépült az internet alapú hálózatra dolgozó vevőállomások rendszere – számuk már meghaladta a 7000-t. A „hozádek” a FLARM-al felszerelt repülőgépek útvonalának internetes hálózaton való követése, ami a versenyek „nézettségét” és a légi események gyors leereagálását is nagymértékben javítja. A nyilvánvaló előnyök ellenére a FLARM -tulajdonosok egy része ragaszkodik a FLARM eredeti funkciójához és a földi megfigyelés kizárását kérte – ezt az új FLARM szoftverek lehetővé teszik. Alaphelyzetben a FLARM-

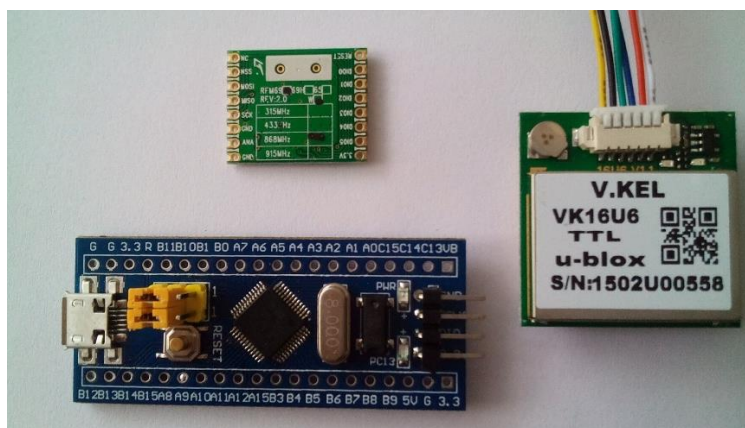
² FLARM – FLight-Alarm, repülőgépek összeütközésének veszélyére figyelmeztető rendszer

val felszerelt repülőgép egy „_”-al (alulvonással) kezdődő (minden nap újra generálódó) sorszám-mal jelenik meg az OGN hálózatban. Ha a repülőgép vezetője úgy dönt, akkor megadhat további adatokat: ICAO kódját, regisztrálhat a FLARM ID alapján. Amennyiben elzárkózik a nyilvános megjelenéstől, akkor a követést letilthatja „no tracking” beállítással a FLARM készülékén. Ebben az esetben a földi OGN hálózat szervei – következésképpen a nyilvános hálózat elemei – nem tudják az adatokat tárolni és értelmezni. Ezzel kizárják magukat a SAR – szolgáltatásból. Ajánlott az ilyen „szégyellős” felhasználóknak az OGN-regisztráció, ahol a „nem akarom, hogy kövesse-nek” megjegyzést kell csak hozzátenni. Ebben az esetben a szervekénél tárolva lesznek a repülési adataik, amiket szükség esetén a kereső szolgálatok megkaphatnak.

OGN-TRACKER³

Az olyan légijárműveken, ahol FLARM (ára, mérete miatt) nem áll rendelkezésre („old-timer” vitorlázó repülőgépek, siklóernyők, sárkányrepülők, pilóta nélküli repülőgépek) az OGN-TRACKER jelentheti az alternatívát. Lengyel fejlesztők 2014-ben mutatták be először a prototípust – azóta megjelent az építését, programozását segítő „Cheap Do-It-Yourself OGN tracker⁴” fejezet az OGN honlapján. [6] Az OGN-TRACKER 25 USD-ból megépíthető, míg a FLARM/PowerFLARM 2000 USD körüli összegbe kerül.

Az OGN-TRACKER helyzet-adatokat sugároz és képes a szomszédos OGN-TRACKER-ek adását venni és továbbítani (a saját adásainak szüneteiben). Ez akkor lehet nagyon hasznos, ha a másik adó jelét – például a domborzati viszonyok miatt – „egyenesben” nem tudná a vevőberendezés megkapni. Az OGN-TRACKER nem a FLARM protokollt használja, nem is tudja azt „relézni”, de a földi OGN-vevőberendezésekkel mindkettő dekódolható.



2. ábra Az OGN-TRACKER alapelemei (rádió modul, GPS vevő, mikrokontroller) [7]

Az OGN-TRACKER jeleit (egyelőre) csak a földi OGN hálózat tudja megjeleníteni ugyanakkor egy rendkívül kis költséggel és emellett hatékonyan működő „FLARM-radar” rendszer kiépülésére ad lehetőséget. Ez nem más, mint az OGN hálózat (Glidernet.org) által már most is sikeresen működtetett „Spot the gliders” [8][9][10][11] megjelenítési felületek. Mindegyik az OGN hálózatba beküldött adatokból dolgozik, de azt a felhasználók saját ízlésüknek megfelelő térképes

³ OGN-TRACKER – az OGN hálózat számára kifejlesztett, követést biztosító jeladó

⁴ Olcsón építsd meg magadnak OGN tracker

hátterrel ábrázolják. A FLARM-radar rendszer a már most is létező OGN hálózat földi elemei mellett a fedélzeten ADS-B-t, OGN-TRACKER-t (vagy követést engedélyező FLARM-ot) használó résztvevőkből állhat. Mivel a megjelenítés bárki számára elérhető – mobil internettel a légi járművek fedélzetén is – a légi irányítás (ATC – Air Traffic Control) és az egészen kis repülőterek (libalegelők) is valós légihelyzet információkhoz jutnak. Az elmúlt időszak „NEM látni és NEM látszani” okokra visszavezethető légi eseményei indokolják az ilyen követő berendezések sürgető felszerelését a kisépés repülés minden résztvevőjének a fedélzetére. A kisméretű, kis fogyasztású jeladó a légi járművek 3D mozgását jeleníti meg – néhány tízezer forintos költséggel.

POCKET TOWER⁵

A közforgalmi repülésben egyre népszerűbb REMOTE TOWER⁶ az elektronikus úton megszerzett és ábrázolt légihelyzet információkat kezeli – nem feltétlenül a repülőtér környezetében települve. A primer – és egyre inkább az autonóm szekunder (ADS-B) – adatok nagytávolságú átvitele és 3D megjelenítése ma már nem okoz műszaki nehézséget. A „távoli torony”-ban helyet foglaló irányító személyzet az érzékelő rendszernek köszönhetően ugyanazt, sőt a „szemmel láthatónál” – például infrával – gazdagabb képet kaphat.

A fentiekben tárgyalt önálló helyzetjelentő rendszer (ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER) adatai alapján – ugyanúgy, mint a REMOTE TOWER-ben – a légi járművek 3D helyzete, mozgása ábrázolható. A kisrepülőterek minimális erőfeszítés és anyagi megterhelés árán „POCKET TOWER”-t hozhatnak létre, amely a helyi forgalom kezelésére, a közeli tájékoztatására és a távoli megfigyelésére is alkalmas. A POCKET TOWER felszereltsége: internet kapcsolattal rendelkező számítógép, a repülőtér közelében telepített, ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER adások vételére alkalmas vevőberendezések.

Az olaszországi BIOFLY [12] kutatóintézetben kifejlesztett „mobil toronyban” a megjelenítés a repülőtér környezetét bemutató és a légi járművek helyzetét követő 3D virtuális térben történik, ahol az irányító személyzet szabadon választhatja meg a nézőpontját – így alkalmazkodni tud a forgalomhoz, annak igényeihez.

A BioFly „mobil torony” koncepciója inspiráló lehet hazai repülőtereink, légtereink biztonságát szívükön viselő kutató-fejlesztő szakmai közösségek számára. Az irányító, tájékoztató személyzetnek LÁTNI, a légi járműveknek pedig (a földön és levegőben) LÁTSZANI kell! Ehhez ma már minden technikai feltétel adott: a repülő eszközökre autonóm helyzetadó (ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER) a forgalom irányítóinak vizuális légihelyzet megjelenítő szükséges.

Az utóbbira egy (akár a zsebben elférő) példa az Android-os operációs rendszereken futó OGN VIEWER [14] program, amely (internet kapcsolattal) az OGN hálózatba bekerült repülő eszközök helyzetét, magasságát, föld feletti- és függőleges sebességét (ha engedélyezte, akkor lajstromszámát is) megjeleníti. A számértékek mellett a szimbólumok színe is jelzi a magasságot – pirostól (földön lévő) a zöldig terjedő színskálán.

⁵ POCKET TOWER – „zseb (irányító) torony” a kis repülőterek fogalmának irányítására

⁶ REMOTE TOWER – a repülőtértől távol elhelyezkedő (irányító) torony



A BioFly „mobil torony” munkahelye[13]

A POCKET TOWER eszközökkel a pilóta nélküli légi járművek repülései a „külvilág számára” is transzparens módon nyomon követhetők. Az autonóm helyzetadó (ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER) jele az OGN hálózaton keresztül bárki számára hozzáférhető, így a hordozó UAV, DRONE, RPV stb. is „láthatóvá válik”. Ennek az alkalmazók egyre növekvő igénye fog utat nyitni, akik minél szélesebb körben kívánnak pilóta nélküli repülő eszközöket működtetni. Jelenleg ennek legnagyobb akadálya, hogy a „látni és látszani” feltételből az egyik sem teljesül. A helyzet csak akkor javulhat, ha **a repülés minden résztvevője hordoz autonóm helyzetjelentő eszközt** és egymás jelenlétéről, repülési irányáról tájékozódhat. A légit forgalom és pilóta nélküli légi járművek irányítói a földön, míg a repülőgépek személyzete a levegőben tud tenni az ütközés elkerülése érdekében. Az ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER csak informál, figyelmet – az elkerülő manővert (egyelőre) embernek kell végrehajtani.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az általános-, kiséges és a hozzá felnőni készülő pilóta nélküli repülés legnagyobb kihívását a levegőben való ütközés elkerülése jelenti. A mai technológiák segíthetnek a „látva repülés” emberi korlátait átlépni, ha erre a lehetőségre felhívjuk a figyelmet – amiért jelen írásmű is készült.

A hazai „demokratikus” légtérhasználat a növekvő forgalom és annak új résztvevői mellett nem tartható biztonságos szinten. Számos ütközéses baleset elkerülhető lett volna, ha a résztvevők tudnak egymás jelenlétéről, szándékáról. A cikkben felsorolt technikai eszközök általános használatával jelentősen javul a „látás és a láthatóság” a résztvevők számára. Az emberi-, anyagi veszteségek töredékébe kerülő beruházással – például egyszerű OGN-TRACKER-ek kötelező használatával – nagyságrendekkel nőne a biztonság, csökkenne az ütközésveszély úgy a pilótás, mint a pilóta nélküli repülésben.

Az utóbbi terület kimunkálásában aktívan részt vesz a NKE kutató csoportja – külön figyelmet fordítva az állami repülőterek légtérben folytatott pilótanélküli repülések biztonsági feltételeinek kidolgozására. A kutatómunka során felépített mintarendszerben szerepet szánunk a jelen cikkben szereplő műszaki megoldásoknak is.

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 Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

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

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Makkay Imre: FPV repülés – felkiáltó jelekkel. Repüléstudományi Közlemények Különszám 3013.2. (e-dok.) url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-29-Makkay_Imre.pdf (2017. 03. 01.)
- [2] saját szerkesztésű ábra
- [3] Flightradar 24 Live Air Traffic. url: <https://www.flightradar24.com/60,15/6> (2017. 03. 01.)
- [4] RTL 1090 software for ADS-B dongles. url: <http://rtl1090.com/> (2017. 03. 01.)
- [5] Open Glider Network. url: <http://wiki.glidernet.org/start> - átszerkesztve
- [6] Cheap Do-It-Yourself OGN tracker. url: <http://wiki.glidernet.org/ogn-tracker-diy> (2017. 03. 01.)
- [7] Core tracker element. url: http://openglidernet.wdfiles.com/local--files/ogn-tracker-diy/STM32F103C8T6_RFM69W_VK16U6.jpg (2017. 03. 01.)
- [8] Live Glidernet. url: <http://live.glidernet.org/#c=8.53345,52.80737&z=3> (2017. 03. 01.)
- [9] Ktrax. url: <http://ktrax.kisstech.ch/ktrax/> (2017. 03. 01.)
- [10] BishFlarm. url: <http://www.bishflarm.co.uk/> (2017. 03. 01.)
- [11] GliderTracker. url: <http://glidertracker.de/#lat=1105585&lon=6428048&z=5> (2017. 03. 01.)
- [12] BioFly Innovacione in Movimento. url: <http://www.biofly.it/> (2017. 03. 01.)
- [13] PTS. (Portable Tower Station) url: <http://www.biofly.it/airport3.asp> (2017. 03. 01.)
- [14] Konstantin Gründer: OGN Viever. url: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.meisterschueler.ognviewer> (2017. 03. 01.)

COLLISION AVOIDANCE FOR GA AND UAV FLIGHT

In aviation, the "see and be seen" - the identity of the participants, position, movement direction, speed - the most important information to ensure the smooth flow of traffic management. In addition to the primary and secondary radars and ADS-B and FLARM a growing number of OGN-TRACKER devices can report a different technical solution to detect and avoid collisions. This paper intents – in addition to the general description – talk about technical opportunities on the domestic developments.

Keywords: *to see and be seen, collision avoidance, small aircraft / unmanned flight, ADS-B, FLARM, OGN-TRACKER*

Dr. Makkay Imre, CSc
nyugalmazott egyetemi tanár
drmi48@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3513-1310

Dr. Makkay, Imre, CSc
professor emeritus
drmi48@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3513-1310



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-04-0378_Makkay_Imre.pdf

Gönczi Gergely

A KÖZEL-KELET ÉS A TÖMEGPUSZTÍTÓ FEGYVEREK: SZÍRIA

A tömegpusztító fegyverek kialakulása mérföldkő volt a hadviselés történetében. Az atombomba feltalálása óta, és az azzal való versengés hatására, a világ országai nagyméretű fegyverkezésbe kezdtek a hidegháború alatt és az azt követő években is, ami a harmadik világbeli országokat is érintette. Az arab országoknak Izraellel való sok évtizede elhúzódó konfliktusa szintén egy fegyverkezési versenybe torkollott, ahol idővel teret nyertek a különböző típusú tömegpusztító fegyverek. Ez alól Szíria sem volt kivétel. Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa Szíria törekvéseit a Közel-Keleti térségben az ilyen nemű fegyverek fejlesztésére, előállítására, beszerzésére az elmúlt néhány évtizedre visszamenőleg¹.

Kulcsszavak: Szíria, biológiai, vegyi, nukleáris, hadviselés

BEVEZETÉS

A háborúk mindig is követeltek bizonyos számú emberáldozatot. Ez a szám általában attól függött mekkora volumenű volt az adott háború. Az idő múlásával és a technológiák fejlődésével egyre több olyan eszköz állt rendelkezésre, amellyel hatékonyabban lehetett megvívni és megnyerni egy háborút. A tömegpusztító fegyverek megjelenésével bizonyos szinten megváltozott addig megismert fegyverkezés. A hadviselésnek egy új formája alakult ki. Ez a mai napig meghatározó jelentőséggel bír a modernkori fegyverkezés szempontjából.

A TÖMEGPUSZTÍTÓ FEGYVER ÉS A TÖMEGPUSZTÍTÓ HADVISELÉS ÉRTELMEZÉSE

A legszélesebb körben ismert definíció szerint, „tömegpusztító fegyver minden olyan fegyver, mely képes nagy mennyiségű halálos áldozat vagy nagymértékű rombolás okozására.” [1] A történelemben számos példa van olyan cselekményekre – amik már a XX. század fegyveres konfliktusait megelőző időkre is visszanyúltak – ahol megjelennek a tömegpusztító hadviselés korai eszközei.

Az ókorban az ostromlott várakba behajított állati tetemek járványokat idéztek elő, amik nemcsak a várvédőket, de a lakosságot is egyaránt érintették. Ez a módszer jó példája a korai biológiai hadviselésnek. Ennek jó alapjául szolgáltak a betegségeket okozó mikroorganizmusok, amik már az emberi történelem kezdete óta rendelkezésre álltak. [1] A különböző típusú kémiai háborús időkben történő alkalmazása jóval korábbra tehető, mint például a fekete lőpor felfedezése. [2] A hadviselés eme formája az I. világháborúra teljesedett ki, amikor nagy mennyiségben alkalmaztak halált okozó gázokat, mint például a klórgázt vagy mustárgázt [2]. A II. világháborúban a stratégiai bombázások és a tüzéség alkalmazása volt a domináns mindaddig,

¹ „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt keretében működtetett Concha Győző Doktori Program keretében, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem felkérésére készült.

amíg be nem vetették Japánban az atombombát. Ez a momentum mérföldkő volt a tömegpusztító hadviselés szempontjából. A tömegpusztító fegyverek kategóriájába az atomfegyverek, biológiai fegyverek és vegyi fegyverek tartoznak. (ABV) Ez a csoportosítás kibővült a radiológiai fegyverek kategóriájával, jelen esetében azonban mégsem kerül tárgyalásra, mivel az érintett időintervallumban még nem volt aktualitása. A téma megkönnyítése érdekében nem árt tisztázni még néhány alapfogalmat:

- az atomfegyver *„olyan tömegpusztító fegyverfajta, melynek megsemmisítő képessége az atommag-reakció közben felszabaduló energia pusztító hatásán alapul”* [3];
- a biológiai fegyverek *„a tömegpusztító fegyvereknek az a fajtája, amelyben mesterségesen kitenyésztett, vagy genetikailag megváltoztatott mikroorganizmusokat és/vagy toxinjaikat megfelelő eszközökkel juttatnak a célterületre, emberek, állatok és növények elpusztítására”* [3];
- a vegyi fegyverek *„a mérgező harcanyagoknak az élő szervezetekre gyakorolt káros hatásán alapuló fegyver”* [3].

FEGYVERKEZÉS A XX. SZÁZADBAN

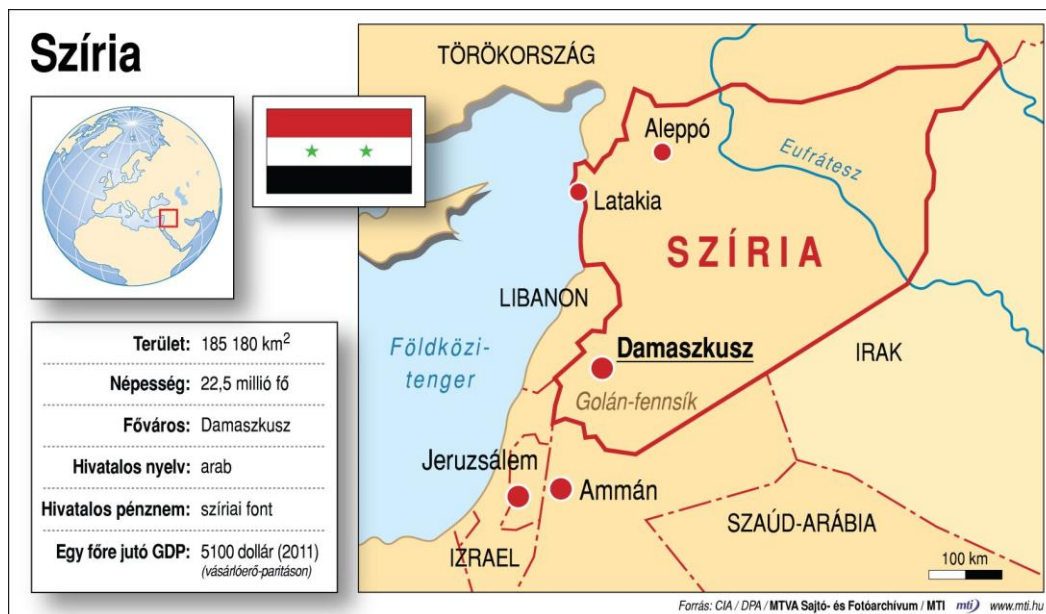
A nukleáris fenyegetettség elindított egy fegyverkezési versenyt, ami a világ számos országára hatással volt. A nyugat és kelet közötti versengés kihatott a harmadik világ országaira is, akik azután szintén arra törekedtek, hogy tömegpusztító fegyvereket fejlesszenek. Ezt a folyamatot nagyban megkönnyítette a nemzetközi kereskedelem fejlődése, illetve az információáramlás, ami hozzáférhetőbbé tette a témával kapcsolatos anyagokat, technológiákat és szakismereteket. Emellett nehezebbé vált az érintett ipari ágazatok és fegyverprogramok ellenőrzése, illetve a kettős felhasználású anyagok kereskedelmének hatékony kontrollálása [1]. A kisebb országok ellenőrzése is nehézkes volt, és az egymással folytatott kisebb háborúk vagy meglévő konfliktusok, illetve az állandó fenyegetettség miatt ők is folytattak fegyverfejlesztéseket, és később rendelkeztek valamilyen tömegpusztító fegyverrel. Ez alól Szíria sem volt kivétel.

SZÍRIA

Szíria Délnyugat-Ázsiában, a Közel-Keleten fekvő ország. Egy muszlim arab állam, társadalmi felépítését tekintve jelentős keresztény vallási és kurd, örmény, illetve asszír nemzeti kisebbségekkel.

A XX. században az országot is elértek a Közel-Keleten zajló események. 1946-ban elnyerte függetlenségét miután két évtizeden keresztül francia fennhatóság alá tartozott. 1958-ban szövetségre lépett Egyiptommal, létrehozva az Egyesült Arab Köztársaság nevű államszövetséget, ami 1961-re fel is bomlott. Egyiptommal és Líbiával kiegészülve újra megkísérelték az arab szövetség megvalósítását, melyet végül 1972-ben megalapítottak Arab Köztársaságok Szövetsége néven. Ez 1977-ben ismét szétesett mikor kivált belőle Líbia. A hidegháborúban a Szovjetunió támogatását élvezte. Az államfő Háfeszal-Assad volt, aki 1970-től egészen 2000-ben bekövetkezett haláláig uralkodott. Még abban az évben, fia Bassáral-Assad vette át a kormányzást. Politikájának köszönhetően 2007-ben újraválasztották. Jó kapcsolatot épített ki Oroszor-

szággal, Iránnal és Kínával. A 2011-ben „Arab tavasz” elnevezésű kormányellenes tüntetéssorozat Szíriát is elérte. Olyan mértékben elmérgesedett a helyzet, hogy azóta is polgárháború dúl az országban. Emellett Szíriának számos konfliktusa volt az évtizedek során Izraellel, és a feszültség a két ország között napjainkig nem rendeződött.



1. ábra Szíria elhelyezkedése [4]

SZÍRIA ÉS IZRAEL KAPCSOLATA

A konfliktus kezdete 1948-ra tehető, mikor Izrael független zsidó állam lett. Még ebben az évben Szíria másik négy arab országgal – Egyiptom, Libanon, Transzjordánia, Irak – együtt elindította az első arab-izraeli háborút. Ezt követte még az 1967-es „Hatnapos háború”, és az 1973-as Jom Kippur-i háború [5]. Mindezek mellett mindketten részesei voltak a Libanoni háborúnak is. Ebből a több évtizednyi konfliktusból adódóan elég tapasztalattal rendelkezett a szír kormány, hogy az izraeli fegyverarzenált mint komoly fenyegetést kezelje, és ezért olyan válaszlépésekbe kezdett, melyeknek köze volt a tömegpusztító fegyverekhez.

SZÍRIA TÖMEGPUSZTÍTÓ FEGYVEREI

Szíria állítólag közvetlen segítséget kapott Oroszországtól (korábban Szovjetunió), Kínától, Irántól és Észak-Koreától, hogy kifejlessze saját tömegpusztító arzenálját (nukleáris, biológiai és vegyi fegyverek) illetve ballisztikus rakéta programját. Az ország fő motivációja, hogy ilyen eszközökhöz nyúljon főleg az izraeli fenyegetésnek volt betudható, hiszen Izrael nemcsak fejlettebb haditechnikával rendelkezett, de nukleáris fegyver is volt a birtokában [6]. Emellett pedig az Irakkal és Törökországgal való rivalizálás is fontos szempont volt.

Atomprogram

Szíria az Atomsorompó Egyezmény aláírójaként (1968) az *Atomfegyverrel nem rendelkező államok* közösségébe sorolható. Ezenkívül az Átfogó Atomcsend Egyezmény aláírója [7]. A szíriai

hadsereg is érintett volt az ország atomprogramjában, ami az 1970-es években kezdődött. Damaszkusz, hogy kiterjessze és fejlessze atomprogramját, egyrészt nyíltan másrészt burkoltan, de segítséget kért más nemzetektől, mint például Kína, Oroszország, Irán, Észak-Korea. Ezek az erőfeszítések viszont kevés kézzelfogható eredménnyel jártak egészen 1991-ig. Abban az évben a kínaiak elkezdték építeni Szíria első kutató reaktorát Dayr Al Hajar-ban. Az SRR-1 típusjelzésű, 30 kW teljesítményű reaktor. „Ez a reaktortípus főleg békés kutatásokra alkalmas, de az ellenőrzés kijátszásával elvileg kis mennyiségben *«fegyver tiszta»* plutóniumot is lehet ilyen reaktorokban termelni” [8]. 2008 és 2009-ben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) emberei nyomait találták antropogén urán részecskéknek. Az ország atom programja akkor került jelentős nemzetközi figyelem középpontjába, mikor 2007 szeptemberében a Gyümölcsös kert Hadművelet keretein belül (Operation Orchard) az izraeliek lebombáztak egy épülő reaktort (Dair Alzour) Al-Kibar-ban, ami amerikai és izraeli források szerint fegyver-előállítás céljára épült volna. A 2. számú képen jól látható az építési terület a bombázás előtt és után.



2. ábra Dair Alzour üzem a légitámadás előtt és után [9]

A szíriai kormány ezek után minden olyan jellegű állítást tagadott, ami a katonai szintű felhasználást támasztotta alá. Az esetet követően vizsgálatokat végeztek a NAÜ emberei az adott területen. A kormány nem kellően támogatta ezeket a vizsgálatokat, ráadásul a bombázás után a maradványok nagy részét eltakarították [10]. Több mint három év kutatás után arra a következtetésre jutottak az ügynökség emberei, hogy nagy valószínűséggel nukleáris fegyver előállítására szolgált volna a reaktor [11]. 2011. június 9-én a NAÜ igazgatótanácsa elfogadott egy határozatot, amely szerint, Szíria nem tudja kötelezettségeit teljesíteni az Átfogó Atomcsend Egyezményben foglaltak szerint, ezért az ügyet jelentették az Egyesült Nemzetek Biztonsági Tanácsának [7]. A szíriai polgárháborúban a területet azóta SCUD-típusú ballisztikus rakétákkal telepítették be. A felkelők vezetői habár azt állították a NAÜ emberei továbbra is végezhetnek vizsgálatokat a területen, hivatalosan nem keresték meg az ügynökséget.

Biológiai fegyverek

Nagyon kevés információ van arról, hogy Szíria rendelkezik-e biológiai fegyverrel, és ha igen, pontosan milyen típusokkal. Német és izraeli illetve amerikai források azt állították, hogy az ország rendelkezik *Bacillus anthracis* baktériummal, botulinum toxinnal és ricinnel. A Svéd Védelmi Ügynökség (Swedish Defense Agency) jelentésében azt írta, hogy nem találtak arra utaló bizonyítékot, hogy a közel-keleti országnak lett volna bármilyen nemű támadó vagy védekező biológiai fegyver programja. Tény, hogy rendelkezik olyan szintű gyógyászati infrastruktúrával, ami lehetővé tehetne egy korlátozott biológiai fegyverkutatási programot. Ennek ellenére Szíria is részese az 1925-ös Genfi Egyezménynek, ami tiltja a biológiai fegyverek használatát. Ezenkívül aláírta a Biológiai- és Toxinfegyver Tilalmi Egyezményt 1972-ben, bár nem ratifikálta azt [12]. Kézzelfogható bizonyítékok nincsenek, csak találgatások és meg nem erősített források a témával kapcsolatban.

Vegyí fegyverek

Szíria rendelkezett az egyik legnagyobb vegyí fegyver készlettel a Közel-Keleten. A vegyí fegyver program és az ahhoz kapcsolódó felkészülés Egyiptom és a Szovjetunió segítségével kezdődött az 1970-es években. Ennek az egyik fő oka az 1973-as háború volt Izraellel. Azóta birtokában volt annak a tudásnak, mellyel fejleszteni és gyártani tudott különböző vegyí fegyver ágenseket, például a mustárgázt, a szarin gázt, és lehetséges, hogy VX idegmérget is. A vegyí fegyver készleteiket állítólag már az 1980-as évek óta állították elő a Hama, Homs, illetve az Al-Safira falvak melletti üzemekben, amelyek az Aleppo régióban találhatóak. Bár még mindig függött azoktól a külföldi forrásoktól, akik a kettős felhasználású berendezéseket és azokat a vegyí alapanyagokat szolgáltatták, melyek elengedhetetlenek voltak a vegyí fegyver gyártáshoz. Az elmúlt években kiderült, hogy Irán volt az egyik olyan ellátója az országnak, aki technikai segítséget és berendezéseket nyújtott azért, hogy a vegyí fegyverekhez szükséges alapanyagokat legyártsák. Ezenkívül Szíria birtokában van SCUD-B és SCUD-C ballisztikus rakétáknak, tüzérségi tölteteknek, melyek vegyí harci anyaggal szerelhetők fel. Egészen a közelmúltig az ország elutasította, hogy tagja legyen a Vegyí Fegyver Tilalmi Egyezménynek. (Chemical Weapons Convention: CWC). A 2011 végén kitört civil zavargások és a folyamatosan fokozódó erőszak megalapozta azt a kérdést, hogy biztonságosak-e a vegyí fegyver üzemek. 2013 márciusában jelentések érkeztek arról, hogy vegyí támadás történt Aleppo tartományban. Sem az Assad rezsím, sem a szíriai felkelők nem vállalták a felelősséget a támadásért. 2013 augusztusában mialatt az Egyesült Nemzetek kivizsgáló csapata megérkezett az országba, egy nagyszabású vegyí támadás történt Damaszkusz mellett, ami a kivizsgáló csapat, illetve az amerikai, angol, francia és német hírszerző ügynökségek figyelmét az Assad rezsím felé terelte és megállapították, hogy ők voltak a felelősek a támadásért. Ezt a kivizsgáló csapat jelentései is alátámasztották. A későbbi amerikai és orosz diplomáciai nyomás eredményeképpen Szíria csatlakozott a Vegyí Fegyver Tilalmi Egyezményhez és beleegyezett abba, hogy leszerelik a vegyí fegyver készleteket 2014. június 30-ig. A Vegyí Fegyver Tilalmi Szervezet egységeit (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons: OPCW) elküldték az országba, hogy számolják fel a készleteket és a hozzájuk kapcsolódó felszereléseket is. 2014. június 23-ra minden szíriai vegyí fegyver előállító üzem működésképtelenné vált és minden bejelentett vegyí fegyvert és azok alapanyagait eltávolították az országból. 2014. július 7-től augusztus közepéig

az Egyesült Államok 600 t szarin és kén-mustár előállításához szükséges alapanyagot semlegesített a Cape Ray teherhajó fedélzetén. Ezután még 200 t alapanyagot küldtek az Egyesült Királyságba megsemmisítésre [6]. 2015. március 20-án jelentések arról számoltak be, hogy a szír kormány klórgázzal töltött hordóbombákat vetettek be. A kormányerők állítólag klórgáz bombákat dobtak Sarmin városára még március elején. A vádak tagadták, és a lázadó csapatokat okolták, akik a régióban tartózkodtak. John Kerry Amerikai Államtitkár kijelentette, hogy „*az egész nemzetközi közösségnek el kell ítélnie*” azt a cselekedetet, hogy az Assad-i erők ilyen eszközöket vetettek be saját népük ellen. 2015 áprilisában és májusában továbbra is folytatta az Assad kormány a civilek bombázását klórgázzal. Ezenkívül a nemzetközi vizsgálatok során találtak eddig nyilvánosságra nem hozott bizonyítékokat szarin gázra és VX idegméregre az egyik szíriai katonai bázison, még 2015 májusában. A mintákról – amiket még 2015 januárjában gyűjtöttek a különböző létesítményekből – bebizonyosodott, hogy veszélyes kémiai anyagok voltak, így kiderült, hogy a szíriai kormány hazudott a szarin gázt illetően. Ez a felfedezés megerősítette azt a nézetet, miszerint nem minden vegyi fegyver készlet volt átadva a nemzetközi közösségnek [11].

ÖSSZEFOGLALÁS

A korábban olvasottakból kiderül, hogy a tömegpusztító fegyverek kifejlesztése és megjelenése nagy hatással volt a XX. század országainak fegyverkezéseire. Hiába voltak vonzóak a bennük rejlő lehetőségek – gondolok itt a megfélemlítésre, elrettentésre, sakkban tartásra, a béke kikényszerítésére – mégsem lehetett elmenni a veszélyek mellett, amiket hordoztak. Ezt belátva idővel a vezető nagyhatalmak szigorú nemzetközi szabályozásokkal és egyezményekkel próbálták kordában tartani az ilyen típusú fegyverekkel kapcsolatos tevékenységeket. A Közel-Keleten az súlyosbította a helyzetet, hogy idővel Izrael is rendelkezett atomfegyverrel a nagyhatalmak mellett és ez aggodalomra adott okot több arab országban, köztük Szíriában is. Mint a tanulmány korábbi szakaszában kiderült, az ország lehetőségei, hogy atomfegyvert fejlesszen, próbálkozásai ellenére is nagyon csekélyek volt, a Genfi Egyezmény aláírásával pedig úgymond már az elején lemondtak a biológiai fegyverek fejlesztéseiről. Vegyi készleteik viszont nagy jelentőséggel bírtak a régióban. Az a tény, hogy ez sokáig nem került előtérbe, betudható a Hidegháborúnak, és ezzel együtt az akkori szembenálló nagyhatalmi érdekeknek.

A figyelem középpontjába igazán akkor került Szíria, mikor 2011-ben kitört a polgárháború. Nem sok idő múlva, felvetődött a kérdés: Egy polgárháború sújtotta ország, aki jelentős vegyi fegyver készleteket halmozott fel az évek során, milyen biztonsági kockázatokat jelenthet magára, illetve más országokra nézve? A válaszra sem kellett sokat várni, hiszen olyan híradásokról lehetett hallani, hogy vegyi támadások történtek különböző szír településeken. Ezután az ENSZ kötelezte Szíriát, hogy csatlakozzon a Vegyi Fegyver Tilalmi Egyezményhez, és készleteik leszereléséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Biztonságpolitikai szemle (2010): Tömegpusztító fegyverek proliferációja, Corvinus Külügyi és Kulturális Egyesület, (online) url: http://biztpol.corvinusembassy.com/?module=corvinak&module_id=4&cid=31(2015. 05. 28.)
- [2] Tom Gersbeck (2014): Practical Military Ordnance Identification. CRC Press, pp. 245-246

- [3] Dr. Szakács Ágnes: A tömegpusztító fegyverek nemzetközi ellenőrzésének főbb állomásai, és lehetséges szakmai feladatai, (online) url: <http://www.zmne.hu/tanszekek/vegyi/docs/fiatkut/Dr2Agi.htm>(2015. 11. 01.)
- [4] MTI: MTVA sajtó és fotóarchívum, (online) url: <http://www.mti.hu>(2015. 06. 05.)
- [5] Rostoványi Zsolt (2011): A rövid XX. század, A Közel-Kelet Története 1918-1991, Kossuth kiadó, pp.121
- [6] Nuclear Threat Initiative.a: Syria, (online) url: <http://www.nti.org/country-profiles/syria/>(2015. 06. 03.)
- [7] Nuclear Threat Initiative.b: Nuclear, (online) url: <http://www.nti.org/country-profiles/syria/nuclear/>(2015. 06. 03.)
- [8] M.CDN (2006): Iráni nukleáris létesítmények, (online) url: http://m.cdn.blog.hu/nu/nukle-raj/file/IraniLetesitmenyek_KAPU_2006.pdf(2015. 06. 03.)
- [9] JULIAN BORGER (2011): UN nuclearinspectorstovisitSyria, (online) url: <http://www.theguardian.com/world/julian-borger-global-security-blog/2011/oct/23/syria-nuclear-iaea>(2015. 06. 05.)
- [10] Globalsecurity: Weapons of Mass Destruction, AlKibar/DairAlzourReactor, (online) url: <http://www.global-security.org/wmd/world/syria/al-kibar.htm>(2015. 06. 05.)
- [11] Jewish Virtual Library: Military threatsto Israel, Syria, (online) url: http://www.jewishvirtual-library.org/jsource/Threats_to_Israel/Syriathreat.html(2015. 06. 04.)
- [12] Nuclear Threat Initiative.c:Biological, (online) url: <http://www.nti.org/country-profiles/syria/biological/>(2015. 06. 03.)

The Middle East and the weapons of mass destruction: Syria

The emergence of the weapons of mass destruction was a milestone in the history of warfare. The invention of nuclear weapons contributed to a worldwide rivalry between countries in the Cold War era and the subsequently ears. The decades long conflicts between the Arabian countries and Israel also contributed to a rivalry. The mutual fear of each other urged them to gain access to weapons of mass destruction. Syria was not an exceptional there. This study aims to present Syria's pursuit of development, production, and supply of these kinds of weaponry in the last decades.

Keywords: Syria, biological, chemical, nuclear, warfare

Gönczi Gergely
PhD. hallgató
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
g.gergely87@gmail.com
orcid.org/0000-0003-2026-9237

Gergely Gönczi
PhD. student
National University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Doctoral School of Military Engineering
g.gergely87@gmail.com
orcid.org/0000-0003-2026-9237



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-05-0406_Gonczy_Gergely.pdf

Dudás Zoltán

REPÜLÉSBIZTONSÁG EMBERI HIBA NÉLKÜL?

Létezhet-e repülésbiztonság emberi hiba nélkül? A szerző megkísérel választ adni arra a kérdésre, hogy a repülésbiztonságot befolyásoló tényezők közt kiemelt szerepet játszó emberi tényező tökéletlensége, illetőleg a légiközlekedési eseményekért legnagyobb részben felelős emberi hiba eltávolítható-e a repülés rendszeréből. A repülésbiztonság filozófiájával, ezen belül a humán faktorról és az emberi hibával elméleti modellek (Reason modell; SHEL(L) modell; SRK modell) foglalkoznak. Eltérő megközelítésük és nézőpontjuk ellenére az elméletek és következtetések átfedéseket mutatnak, mivel a leggyakoribb hibatípusok a modellek mindegyikével szinte kivétel nélkül leírhatók. Ám a modellek teljes egészében nem adnak kielégítő választ az emberi hiba elfogadhatóságára vagy elfogadhatatlanságára. A kérdés megválaszolása érdekében a szerző feltárja a túlhaladott és a modern biztonságfilozófia eltérő elemeit.

Kulcsszavak: döntéshozatal, emberi tényező, emberi hiba, Reason modell, rendszermodell, repülésbiztonság, SHEL(L) modell, SRK modell

AZ EMBERI HIBA ÉRTELMEZÉSE

A mindennapi életben használt *emberi hiba*, mint kifejezés nem mindenki számára jelenti ugyanazt. Még ha a szókapcsolat jól érthető is, hiszen alapvetően önmagában is értelmes, nem lehetünk biztosak benne, hogy ugyanazt értjük-e a fogalom alatt. A hiba együtt jár minden emberi tevékenységgel. Nincs ez másként így a biztonságra érzékeny rendszerek esetében sem, ezért számolnunk kell azzal, hogy a légiközlekedésben bekövetkezett eseményekhez is nagyban hozzájárul a repülés rendszerében meglévő emberi tökéletlenség, melyet rendszerint *emberi hibaként* azonosítanak. A hibák következménye a legtöbb esetben az, hogy a repülés kimenetele valamilyen mértékben eltér a normálistól. Ez önmagában még nem jelenti azt, hogy a repülés biztonsága egyetlen hibától nagymértékben csökkenne, de több hiba együttállása súlyos légiközlekedési esemény bekövetkeztét okozhatja. Az alapvető értelmezésbeli eltéréseket az okozza, hogy az *emberi hiba* fogalma legalább több különböző egyenértékű nézőpontból is releváns lehet. Ilyenformán a fogalom értelmezhető valamilyen probléma okaként, valamilyen eseményként, illetve valaminek a következményeként. A háromféle látásmód természetesen a *hiba* értelmezését a következőképp befolyásolja:

- **okolás**, amikor a hangsúly a cselekvésen van, melynek a bekövetkezett esemény (baleset, incidens) feltételezett következménye;
- **esemény**, mely az emberi cselekvést hangsúlyozza függetlenül attól, hogy a *hiba* vezetett-e káros következményekhez. Szubjektíven értékelve a hibázó benyomása ebben az esetben valóban az, hogy hibázott, hiszen egy elvétett lépést az ellenőrző listában, akkor is hibaként értékelünk, ha annak nem volt kézzelfogható következménye;
- **következmény**, mely a hiba az eredményét emeli ki. Ebben az értelmezés kettős. Az első és legkézenfekvőbb megközelítés szerint az emberi hiba és a káros következmény egymástól elválaszthatatlan, egyenes oksági összefüggés van. Ebben az esetben a szoros oksági összefüggés tulajdonképpen összevonja a hibás cselekvést a következménnyel.

A másik megközelítés szerint az emberi hiba látens, de egyértelmű módon okoz káros következményeket. Az értelmezés azt is magába foglalja, hogy az emberi hibák a rendszerben látens módon rejtve, akár többszörözve vannak jelen és bár nem manifesztálódnak, káros hatásukat kifejtik [1].

Emberi hiba a repülésbiztonsági rendszermodellekben

A repülésbiztonság koncepcióját, ezen belül az emberi hibát több elmélet magyarázza olyanok is, mint a Reason modell, a SHEL(L) modell, illetve az SRK modell. Tekintve, hogy a hibák, így a légiközlekedési események jelentős része a humán faktor területéről ered, a kutatások évtizedek óta az emberi hiba, illetőleg az ahhoz vezető egyéb tényezők felkutatását és megmagyarázását célozzák.

Emberi hiba a Reason modellben

A legszélesebb körben ismert modellt James Reason dolgozta ki. A modell alap gondolata az, hogy a megelőzés érdekében egyfajta eseményvizsgálati kronológián keresztül tulajdonképp az emberi hiba háttér okait kell felkutatni. A koncepció alapja olyan mély összefüggések felderítése, melyek a hiba evolúcióját lépésről-lépésre feltárják, így napvilágra hozzák azokat a nyugvó tényezőket, melyek a szervezeti kultúrában, szabályokban vagy egyéb tényezőkben konzerválva előre kódolják az emberi hiba lehetőségét. A modell itt élesen szemben áll az emberi hiba elavult értelmezésével, ahol „az ember a repülés rendszerében nem más, mint statisztikákkal bizonyítottan a légiközlekedési események legfőbb okozója, tehát *szükséges rossz*” [2]. A túlhaladott felfogás szerint, a biztonságos technikai rendszert az emberi tényezőtől meg kell óvni és automatizálás útján szerepét a rendszer működésében csökkenteni kell. Az ezzel szemben álló modern elgondolás szerint, el kell fogadnunk, hogy a légiközlekedés rendszere alapvetően nem biztonságos, tehát kockázatokat hordoz és az emberi hiba nem a rendszer véletlenszerű káros működése, hanem a rendszerben megbúvó egyéb problémák következménye. Ilyenformán az eseményvizsgálati lépések között az ember hiba elemzését vizsgálat kiinduló pontjává és nem végpontjává kell tennünk. Máskülönben könnyen eshetünk a hibáztatás hibájába, nem tárva fel a távolabbi összefüggéseket az eseményhez vezető olyan tényezőkkel, melyek az emberi hibához hozzájárultak. Reason kutatásainak központi témája ez a modern biztonságfilozófiai megközelítés, melyben fontos szerep jutott a hibamodellek kidolgozásának. Ezek a modell fókuszának megfelelően alapvetően háromfélék:

→ személyközpontú modell

Koncepció: Az emberi hibára, mint pszichológiai tényezőre tekint. A hibát mentális folyamatok működésére, önfejűsége, figyelmetlenségre, feledékenységre vezeti vissza. Ennél fogva a hiba legfőbb okát a hibázóban találja meg, a megoldást pedig annak megnevezésében, megbüntetésében, megszégyenítésében, megfélemlítésében látja. A felmerülő problémákat újabb és újabb szabályozási aktusokkal oldja meg.

Hátránya, hogy a hibát eltávolítja a kontextusától, ezért a mélyebb összefüggések feltárása tekintetében hatástalan.

→ jogi központú modell

Koncepció: A légiközlekedési szakemberek felelősek a tetteikért, ezért nem szabad hibázniuk. Bár hibák ritkán következnek be, de bármily csekélyek is éppen elegendőek

ahhoz, hogy kárt okozzanak. Az légiközlekedési eseményekhez vezető hibák gondatlanság és vakmerősködés következményei, mely tettek példás büntetést érdemelnek. Hátránya, hogy mivel a legtöbb hiba nem vezet légiközlekedési eseményhez, a korrekció érvényesüléséhez ki kell várni egy súlyosabb esetet.

→ rendszer központú modell

Koncepció: A tökéletlenség az emberi természet része. A káros hatások nem felderíthetetlen rejtélyes tényezőkből fakadnak. Az első vonalbeli szakemberek nem *okozói*, hanem *örökösei* a rendszer tökéletlenségének. A megelőző tevékenység alapja a védelmi vonalak (technikai rendszerek, képzés, szabályok) erősítésén és a humán faktorra leleselkedő csapdák semlegesítésén alapul [3].

Emberi hiba a SHEL(L) modellben

A SHEL(L) modell a hagyományos EGK (ember-gép-környezet) modell többdimenziós változata, amelyben az emberi elem a szabályok (software), az technikai rendszerek (hardware), valamint a környezet (environment) mellett egyenrangú tényezőként (liveware) jelenik meg [4]. A modell lapja annak belátása, hogy a rendszerelemek összeállításának mértéke és az összekapcsolódás szintje nem csupán az elemek egymáshoz való viszonyát és együttműködését befolyásolja, hanem a rendszer egészének működési minőségét is meghatározza. Ha ezt a működési minőséget a biztonság oldaláról tekintjük, akkor minden elem minden kapcsolódása hozzáad a rendszer egészének biztonsági szintjéhez. A modell teljes elemzésétől itt most eltekintünk, de megjegyzésre érdemes a tény, hogy a modell az eredeti koncepcióhoz képest fejlődött, amelyben a humán faktort, illetve az azon belüli kapcsolódásokat immár és nem csupán önmagában, hanem saját dimenziójában is értelmezi. Ez azt jelenti, hogy a modell képes vizsgálni a rendszerelemek belüli viszonyokat is, így az L-L és a L-E kapcsolódások az emberi interakciók oldaláról is értelmezést nyernek, így hasonlóan a Reason-i megközelítéshez, a szervezeti és társadalmi környezet biztonságra gyakorolt hatásai, valamint az emberi tényezőn belüli hatások is a vizsgálat homlokterébe kerülhetnek.

Emberi hiba az SRK modellben

Az emberi hiba viselkedés alapú megközelítését a Rasmussen vizsgálta. Döntéshozatali modellje a viselkedés és kognitív lélektan eszköztárát használja fel és számos pontos döntést igénylő rendszerre, így a repülés rendszerére is alkalmazható. Rendszere három szintet különböztet meg, melyek mindegyike hibalehetőségeket hordoz. Ezek:

- jártasság szintje, ahol a tevékenységet, szinte gondolkodás nélkül, csekély figyelem mellett hajtják végre;
- a szabályokon alapuló szint, ahol a szituáció felmérését követően tudatosan alkalmazzák a szabályokat;
- a tudáson alapuló szint, ahol az új és váratlan szituációban kész megoldási eljárások híján a megszerzett ismeretek és tapasztalat, alkotó felhasználására van szükség [5].

A repülési tevékenység elemei tekintve, háttérükben folyamatos emberi döntési láncolatok állnak pontosan megfigyelhetők a megfigyelhetők az SRK szintek valamelyikének, és általánosságban elmondható, hogy a jártasság, a szabályok és az ismeretek a repülés rendszerében is nagy fontossággal bírnak. Éppen ezért az SRK modell alkalmazása repülés rendszerében tevékenykedő, döntéshozó emberre nagyobb nehézség nélkül alkalmazható. Tágabban emberi hibák

természetét és összefüggéseit vizsgálva, támaszkodva a már vázolt modellek koncepcióira, az emberi hibák legjellemzőbb típusai illeszkednek a modellek koncepcióinak bizonyos elemeihez például a következők szerint:

- *szabályok figyelmen kívül hagyása* (szabálysértés) értelmezhető az SRK modell R (szabály) szintjén, de a SHEL(L) modell S-L (szabály-ember) kapcsolódásaiban, valamint a Reason modell személyi és jogi központú megközelítéseihez is;
- *eljárásbeli hibák* értelmezhetők az SRK modell R (szabály) szintjén, de a SHEL(L) modell S-L kapcsolódásaiban amennyiben az eljárás hibás, vagy K (tudás) szintjén, ha az eljárás nem ismert. A Reason modellben bemutatott védelmi vonalak közül a képzés és szabályok finomítása szintén utalhat az eljárásbeli hibák kivédésére;
- *kommunikációs hibák* felfedezhetők szűkebben a repülési személyzeten vagy szervezeten belül, vagy azok közt, más esetben akár a tágabban vett politikai vagy társadalmi környezet vonatkozásában egyaránt. Előbbi esetekben például a nem tisztázott eljárások, feladatok, hatáskörök, utóbbi esetben például a nem kellő alapossággal kommunikált célok, valamint biztonság iránti elkötelezettség deklarálatlansága hozható fel példaként. A bemutatott modellek közül a SHEL(L) L-L, valamint E-L kapcsolódásai érdemelnek említést;
- *jártasságalapú hibák* egyértelműen az SRK modell S (jártasság) szintjére utalnak, de párhuzamosság fedezhető fel a Reason modell védelmi vonalai közül a képzéssel, mely ez esetben a jártasságot erősítő gyakorlati képzésként értelmezendő;
- *operatív szinten hozott hibás döntések*, leginkább a SHEL(L) és a Reason modellhez kapcsolhatók, amennyiben előbbi L-L (ember-ember) és E-L (környezet-ember) kapcsolódásai, valamint utóbbi modern biztonságfelfogása utal a szervezeten belüli és kívüli operatív döntések biztonságot érintő következményeire [6].

Hasonlóságok a rendszermodellekben

Az emberi hiba vázolt felfogásai közül legélesebben a Reason modell mutat rá a tényre, hogy a repülés rendszerében tevékenykedők tettei egyszerűen előfeltételei mások tevékenységének. Az emberi hiba modern felfogása rávilágít arra, hogy a merev biztonságfilozófia, mely szerint az emberi hiba rossz, amely ellen küzdeni kell, irreális elvárásokat támaszt, hiszen nem fogadja el hogy a repülés rendszere a koránt sem hibátlan emberi tevékenység által válik működőképpé, s mint ilyen maga is tökéletlen. Változó, információszegény, gyakran ellentmondásos operatív körülmények között hibátlan tevékenység nem várható el, így a tökéletes biztonság, hibamentes emberi tevékenység reálisan nem célozható meg. Az emberi hiba különböző értelmezéseinek problematikája nem merül ki a nézőpontok sokféleségében. A hiba említése ugyanis a legtöbb esetben valamilyen ítéletet is magában hordoz, amennyiben a cselekedet, mely káros következmény okoz, vagy okozhat az okozó személlyel együtt mérlegre kerül, így a tett helyes, vagy nem helyes volta is megítéltetik.

Ez már önmagában is túlegyszerűsítést jelent, hiszen az emberi cselekedetek - különösen a légiközlekedésben – ritkán befolyásolják egymagukban és közvetlenül a káros hatások kialakulását, hiszen a nem kívánt eseményhez, vagy helyzethez a legtöbbször események, hibák láncolata vezet el. A hiba, mint kifejezés tehát már eleve valamilyen preconcepciót feltételez az incidenshez vagy balesethez vezető események láncolatában, amennyiben a káros következményt a láncolat végén álló személynek tulajdonítja. Ilyenformán a reasoni struktúrában bemutatott mélyen fekvő, látens (szervezeti, kulturális) tényezők helyett a figyelem az első vonalban álló

személyre, annak helyes, vagy helytelen cselekvésére irányul, gyors megoldást kínálva a kialakult helyzet megmagyarázására.

Hollnagel értelmezése ezen a ponton annyiban kritizálható, amennyiben az emberi hiba következményként való értelmezésében nem halad tovább. A hiba ugyanis – legyen látható, vagy akár lappangó - nem csupán a káros következmény jövőbeni elhárítása szempontjából érdekes, hanem azért is, mert a *reasoni* értelemben önmaga is következményként tekinthető. A következmény értelmezésében a második lépés ezért annak megértése kell legyen, hogy a SRK modell szerint bemutatott háromszintű hibastruktúra (szabály, jártasság, tudás) minden dimenziója hordozhat olyan hibás elemeket, melyek a végrehajtó személy szempontjából *készen kapott veszélyforrások*, ezért azok elhárítása, vagy el nem hárítása részéről szakmailag nem várható el. Ennél fogva sem a hibázó személy, sem a hibás tett a szakmai helyesség-helytelenség szempontjából nem ítéltető meg, hiszen az elvégzett művelet eredménye nem szándékoltan tért el az elvártaktól. A leírt ítélet alapú kategorizálás problémáinak feloldására Hollnagel és Amalberti a következő osztályozást javasolja:

- *jól végrehajtott műveletek*, azok a műveletek, amelyek a tényleges eredménye megegyezik a kitűzött célokkal és szándékokkal;
- *korrigált műveletek*, azok a műveletek, amelyeket bármilyen módon helytelenül végeztek el, de a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték és kijavították. Elnéző rendszerekben a hasonló hibákra, amíg azok javíthatók, nem derül fény;
- *hibás műveletek*, azok a műveletek, amelyeket bármilyen módon helytelenül végeztek el, a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték, de a hiba a folyamat visszafordíthatatlansága, időhiány, vagy erőforrás hiány miatt már nem volt javítható. A tevékenység hibásnak minősítendő;
- *gondatlan műveletek*, amelyeket bármilyen módon helytelenül végeztek el, a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben észlelték, de figyelmen kívül hagyták. A tevékenység hibásnak minősítendő;
- *végzetes műveletek*, amelyeket bármilyen módon helytelenül végeztek el, de a kitűzött céltól való eltérést a művelet közben nem észlelték, ezért a hiba korrekciója nem történt meg [7].

Kell-e hibáznunk a biztonság érdekében?

Amint a fenti osztályozására, vagy a már bemutatott elméletekre tekintünk, abba a kérdésbe futunk, hogy vajon az emberi hiba, mely kiszámíthatatlannak és véletlenszerűnek tűnik föl besorolható-e kategóriákba, egyáltalán megjósolható-e előre? Amikor az emberi tevékenységet, mely a repülés rendszerét működteti, elméletekkel próbáljuk körül írni, vajon meg tudjuk-e közelíteni azt a változatosságot és kreativitást, amely a humán faktor tevékenységét jellemezi? Elfogadható-e, hogy a rendszert működtető emberi aktivitás a hibák előállításában is „aktív és kreatív”?

A kérdések megválaszolásához érdemes megvizsgálunk, az emberi tényező szerepét és hozzájárulását repülésbiztonsághoz. A repülésbiztonság rendszerének hatékonysága a megelőzés sikerében mérhető. Ennek a sikernek a mérése összetett feladat, hiszen ilyen értelemben a biztonság mérése valami hiányának, vagyis a légiközlekedési események hiányának, vagy akár az emberi hibák hiányának a mérését jelentené. Ez természetesen lehetetlen és értelmetlen lenne, hiszen mérni a repülés rendszerében meglévő hiányosságok következményeit és nem azok hiányát lehet.

A repülésbiztonsági teljesítményt, azaz a megelőzés eredményességét a bekövetkezett légiközlekedési események számát illusztráló *teljesítménymutatók* mellett, mindinkább a repülésbiztonsági *teljesítmény célok* teljesülésében célszerű kimutatni [8].

Mindkét mérési objektum megítélése nagyban támaszkodik a statisztika módszereire, mely által a biztonsági mutatók hosszabb időtávban kategóriánként és szakmai szempontonként összevetethetők, a teljesítmény célok pedig egzakt módon megítélhetők. Statisztikai viszonyítás nélkül a repülésbiztonsági eredmények mérése a kellő pontossággal nem lehetséges, mint ahogy megfelelő adatbázis nélkül jó statisztikát készíteni sem lehetséges.

A repülésbiztonsági adatbázis feltöltéséről egy sor adatforrás gondoskodik. A biztonság tudatos prediktív rendszerekre jellemzően az önkéntes és kötelező bejelentési rendszerek egyéb adatforrásokkal egészülnek ki, melyek a szervezetten belül és szervezetek közt biztosítják a repülésbiztonsági információk és adatok áramlását. A repülésbiztonsági adatgyűjtés elsődleges célja, a felderített és azonosított veszélyforrásoknak a repülésbiztonság rendszerébe való becsatornázása. A súlyosabb légiközlekedési események szemben ezek a kisebb súlyú, de számosabb eltérések elemzése és korrigálása egyszerűbb. A rendszerbe jutva ezek az adatok, a mindennapi, jelentéktelennek tűnő apró hibák és eltérések a feldolgozás, kockázat elemzés és értékelés nyomán a proaktív megelőzés lehetőségét teremtik meg. A feldolgozásra kerülő adatok, tekintettel a hibafaktorok eredetére, összetételére és arányára az emberi tényezőről, annak kisebb-nagyobb hibáiról szólnak. Ha tehát az emberi hibára, mint a rendszer káros működésére, eltüntetni való rosszra gondolnánk, és képesek is lennénk repülésbiztonság rendszeréből a hibákat teljes egészében kiiktatni, az statisztika üressé, az elemzés pedig lehetetlenné válna. Ilyen helyzet persze nem jöhet létre, mert az emberi elemet a rendszerből száműzni lehetetlen. Ám, ha visszatekinünk a hibáztató, büntető személyközpontú, vagy jogi központú biztonságfilozófiákra könnyen beláthatjuk, hogy a hiba „eltüntetése” egyszerű tagadó attitűddel is lehetséges, valahogy így: „A hiba káros, hibázni nem szabad! A szakemberek tehát tartsák be a szabályokat és ne hibázzanak!” Az ilyenféle biztonságfilozófia eredménye, olyan szervezeti kultúra és légkör, melyben a hibát jobb eltitkolni, mintha soha nem is lett volna. Az ilyen *nem létező* hibából, természetesen soha senki nem fog tanulni, a megelőzés pedig nem fog profitálni.

Ezzel szemben a rendszerközpontú felfogás, mely a hibát természetesnek fogja fel, azt nem oknak tekinti, hanem távolabbi tényezők következményének tekinti, kisebb valószínűséggel esik a hibáztatás hibájába. Az ilyen modern biztonságfelfogás a hibák feltárását bátorítja, az eseteket hibáztatási szándék nélkül elemzi és dokumentálja. A megelőzés így a nagyobb súlyú légiközlekedési események bekövetkezése előtt a mindennapokban előforduló eltérések szintjén képes a biztonságot fenyegető veszélyforrásokat azonosítani és kezelni.

A két felfogás közti alapvető különbség nem csupán a hatékonyság hiányának és a proaktivitásnak szembeállításában ragadható meg, hanem kockázatismeret meglétében, vagy nemlétében is. A különbségek és a rendszerközpontú megközelítés előnyei remekül illusztrálhatók a statisztikai hipotézisvizsgálatok esetében használt eljárások analógiájának felhasználásával [9]. A hipotézisvizsgálatban kétfajta hiba kizárására törekszünk. Egyrésztől azt a helyzetet szeretnénk elkerülni, amikor a feltevésünk nem igazolódik be, azaz a tevékenység folytatását feleslegesen állítjuk le, vagy zavarjuk meg, tehát végeredményben *farkast kiáltunk*. Ezt elsőfajú hi-

bának nevezzük. A repülésbiztonság rendszerében, ez olyan veszélyforrásokra adott intézkedéseket jelentene, melyek nem bizonyulnak a valóságosnak. Szerencsére a jól működő repülésbiztonsági megelőző rendszer képes ezeket a kvázi veszélyforrásokat kiszűrni a kockázat és súlyosság elemzés eszközeivel. Ebben az esetben, ugyanúgy ahogy a statisztikai elsőfajú hiba esetében a valószínűség vagy kockázat kalkulálható, tehát pontosan ismert.

A másik esetben viszont, amikor egy tevékenységet úgy engedünk tovább folyni, hogy közben a háttérben levő problémáról nem veszünk tudomást, akkor *struccpolitikát* folytatunk. A statisztikai hipotézis vizsgálatban ezt másodfajú hibának nevezzük. Ez mind a statisztikában, mind a repülésbiztonságban azt jelenti, hogy a problémát, például egy veszélyforrást figyelmen kívül hagyunk, ezért az nem kerül elemzésre sem, így annak kockázata nem ismert, ezért nem kalkulálható. Általánosságban, de szakmai szempontból is igaz, hogy mindig jobb a problémákról tudni és a kockázattal tisztában lenni, mint a fejünket homokba dugva kockáztatni az ismeretlent. Repülésbiztonsági szempontból az állítás igaza kézenfekvő, mint ahogy annak belátása is, hogy a rendszerközpontú biztonság megközelítés komolyabban támogatja megelőzési rendszer hatékonyabb működését, mint a személyközpontú, vagy jogi központú megközelítés. A kérdés tehát, miszerint kell-e hibáznunk a biztonság érdekében immár megválaszolható. A repülést leíró elméletek az emberi hibára más és más szempontból tekintenek és nagy valószínűséggel nem adnak megnyugtató megoldást annak kiküszöbölésére. Ugyanakkor érdemes feltenni a kérdést, szükséges-e egyáltalán megcélozni az emberi hibák számának mérséklését? A választ erre a modern nem hibáztató, rendszerközpontú biztonságfilozófia adja meg, mely a hibára, mint lehetőségre tekint. Annak lehetőségére, hogy az emberi hibák napvilágra jussanak, a repülésbiztonsági elemzés fókuszába kerüljenek, végső soron pedig szolgálják a megelőzést. Ilyen szempontból a hiba hasznos dolog, nem pedig üldözendő kihágás, ellentétbe a személy és jogi központú modellek elgondolásaival.

ÖSSZEGZÉS

A repülés biztonsága egy sor tényezőtől függ, de az emberi tényező ezek között kitüntetett helyet foglal el, hiszen a légiközlekedése események jelentős része erre a területre vezethető vissza. Éppen ezért amikor emberi tényezőről beszélünk, akkor a legtöbbször valamilyen emberi hibára gondolunk, amely az eseményt kiváltotta. Kézenfekvő hát a gondolat, hogy a biztonság javításához az emberi hiba kiküszöbölése vezet el. Ez a megközelítés azonban olyan nem humánus fel fogásoknak is teret enged, melyek a büntetésben, valamint mindig újabb szabályozásban látják a megoldást. Ezekkel a megoldásokkal együtt jár a hibázó megbélyegzése, egyszersmind a hiba helyénvalóságának tagadása is. A megoldás így kontraproduktív, hiszen a hiba eltitkolását váltja ki, ezzel megfosztja a megelőzést a hibából levonható hasznos tapasztalatoktól.

Ezzel szemben annak elfogadása, hogy a hiba az emberi természet velejárója, elvezet a racionalitás azon szintjére, ahol a hiba immár nem szükséges rossz, hanem lehetőség a megelőzés számára, amennyiben elemzésük által a komolyabb problémák még kifejlődésük előtt kezelhetők és megelőzhetők.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hollnagel, E. & Amalberti, R. *The Emperor's New Clothes, or whatever happened to "human error"?* 4th International Workshop on Human Error; Linköping, 2001. June 11-12
- [2] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótánélküli légijárművek műveleteiben; Repüléstudományi Közlemények, 2013/3, pp. 316. ISSN 1789-770X
- [3] Reason, J.: Human factors; A personal perspective; Human Factors Seminar, Helsinki, 2006. Feb.13.
- [4] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótánélküli légijárművek műveleteiben; Repüléstudományi Közlemények, 2013/3, pp. 315.
- [5] Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, pp. 102.
- [6] Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, pp. 106.
- [7] Dudás Zoltán: A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótánélküli légijárművek műveleteiben; Repüléstudományi Közlemények, 2013/3, pp. 315. ISSN 1789-770X
- [8] Dudás Zoltán, Fábián Anikó: Repülésbiztonság irányítási rendszerek; Repüléstudományi Közlemények, 2012/2, pp. 1030. ISSN 1789-770X
- [9] Takács Szabolcs: Bevezetés a matematikai statisztikába, Antaresz kiadó 2016. pp. 95-102. ISBN978-615-80544-0-9

FLIGHT SAFETY WITHOUT HUMAN ERROR?

A human error proof flight safety? Does it exist? The author attempts to answer the question, whether the most influencing factors of flight safety, such as human factors and their unperfection besides the human errors causing the major part of accidents and incidents could be taken out of the system. The human factors and error as parts of safety philosophy, are examined by various theories like: the Reason theory, the SHEL(L) theory, and the SRK theory. Although, approaches and perspectives to the problem are different, their theories and conclusions have some overlappings, as they could circumscribe most of the frequent types of human errors. Unfortunately, the theories mentioned could not tell whether human error is acceptable or unacceptable. So as to solve that issue the author points out the difference between old fashioned and modern safety philosophies.

Keywords: *decision making, flight safety, human error, human factor, Reason theory, SHEL(L) theory, SRK theory, system model*

Dr. Dudás Zoltán (PhD)
ny. alezredes, repülésbiztonsági szakértő
doktorpilot@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8682-884X

Dr. Dudás Zoltán (PhD)
ret. Lt. Col. flight safety expert
doktorpilot@gmail.com
orcid.org/0000-0002-8682-884X



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-06-0389_Dudas_Zoltan.pdf

Kolláth Kornél

FÉNYSZENNYEZÉS ÉS METEOROLÓGIA – FELHŐALAP MAGASSÁG BECSLÉSE ÉJSZAKA ÉGBOLT KAMERA FELVÉTELEK SEGÍTSÉGÉVEL

Alacsony szintű felhők esetén a felhőalap magassága kritikus repülésmeteorológiai paraméter. A rendelkezésre álló mérések, megfigyelések mellett – azokat kiegészítendő – egy új eljárást javasolunk a felhőalap meghatározására az éjszakai periódusban. A technika a repülőtereken korábban használt felhőfényoszórók elvén és égbolt kamera felvételek feldolgozásán alapul. Megmutatjuk, hogy a fényszennyezés, a mesterséges fények fölfelé irányuló része passzív felhőfényoszóróként szolgálhat. A módszert Budapest belvárosában demonstráljuk, ahol a koncentrált díszvilágítás játszotta a felhőfényoszóró szerepét. Kiterjedt, homogén Stratus felhőzet esetén jó egyezést találtunk a közeli repülőtéren mért és a módszerrel számított felhőalap magasság között. A felhők különböző méretű települések feletti kifénylésének megfigyelésére esettanulmányokat mutatunk. Vizsgáljuk a módszer korlátait, illetve annak általánosabb körülmények közötti alkalmazhatóságát.

Kulcsszavak: égbolt kamera, távérzékelés, Stratus, felhőalap magasság, fényszennyezés, felhőfényoszóró

BEVEZETÉS

Motiváció – a felhőzet megfigyelése éjszaka

Az operatív meteorológiai megfigyelés gyakorlatában a felhőzeti viszonyok éjszakai feltérképezése elsősorban a geostacionárius műholdak infravörös felvételein, a vizuális emberi észleléseken, illetve a főként repülőtereken működő felhőalap méréseken alapul. Az infravörös műholdas mérések inkább a felhőzet tetejének karakterisztikáiról informálhatnak. Az emberi észlelésnek ismert korlátai vannak. Az általában a repülőtereken elhelyezett lézeres felhőalap mérők csak néhány pontban érhetők el. A felhőzet alsó részének nagyobb térségekre kivetített megfigyelése tehát komoly korlátokba ütközik.

A repülés számára – a növekvő műszerezettség és fejlett navigáció ellenére – mind a mai napig komoly biztonsági kockázatot jelent a köd és az alacsony szintű felhőzet. Alacsony felhők esetén a felhőalap magassága kritikus repülésmeteorológiai paraméter. Ugyanakkor az általános meteorológiai előrejelzés, a tartós Stratus és köd előrejelzése, azok csapadékhatékonysága (szitálás, ónos szitálás, szemcsés hó előfordulása) szempontjából is fontos az alacsony felhők függőleges elhelyezkedésének, vastagságának minél jobb analízise.

Égbolt kamerák – a meglévő alkalmazások korlátai

A megfigyelési gyakorlatban elterjedőben van az égbolt kamerák használata, de az alkalmazások még kiforratlanok. A felhőalap magasságának égboltkamera felvételeken alapuló meghatározására találunk létező megoldásokat (Kassianov et al. 2005, Seiz et al. 2007, Janeiro et al. 2010, Chulichkov et al. 2015, Savoy et al. 2015, Wang et al. 2016). Az említett alkalmazásokban azonban közös, hogy a felhőzet struktúrájának kontrasztjain alapulnak és elsősorban a nappali órákra optimalizált a működésük. A fény polarizációjának mérése érdemben növelheti a felhőzet detek-

tálásának megbízhatóságát (Horváth et al. 2002), de a felhők távolsága és a polarizáció foka közötti kapcsolat már valószínűleg nem elég erős a kisebb távolságok megkülönböztetésére. A homogén struktúrájú, alacsonyabb magasságban elhelyezkedő Stratus felhők magasságának égbolt kamerákkal történő passzív távérzékelése tehát általában akadályokba ütközik.

Az olcsó távérzékelési eszközökként is „bevethető” digitális fényképezőgépek, webkamerák fejlődése új, eddig kiaknázatlan lehetőségeket rejt, különösen igaz ez éjszaka, mivel a szenzorok érzékenysége korábban csak nagyon korlátozott képminőséget engedett meg.

Digitális fényképezőgépek, mint távérzékelési eszközök

A felhőzet többféle távérzékelési módszerrel detektálható. Esetünkben a felhőkön szóródó fényt mérjük digitális fényképezőgép segítségével. A látható fény az elektromágneses sugárzás azon hullámhossz tartománya, mely szemünkben fényérzetet kelt. A digitális fényképezőgépek, illetve azok szenzorjai, az abban alkalmazott szűrők úgy vannak kialakítva, hogy olyan hullámhossz tartományban gyűjtse a beérkező sugárzást, melyre az emberi szem is érzékeny. Mind a fényképezőgép, mind az emberi szem tulajdonképpen úgynevezett fénysűrűséget mér. A fénysűrűség az egységnyi térszögből, egységnyi idő alatt, egységnyi felületre érkező fénysugárzás teljesítménye. A fényképezőgéppel egy meghatározott időn keresztül „gyűjthető” a beérkező fény. Az úgynevezett RAW képek egyes pixelértékei arányosak a megfelelő irányokból beérkező fényenergiával. Megfelelő kalibrációval egy fényképezőgép, annak optikájával együtt tehát olyan távérzékelési eszközként használható, mellyel tényleges fizikai mennyiséget, az adott irányból egységnyi felületre beérkező fényenergiát mérhetjük.

A 90-es évek közepétől, végétől az egyre széles körben elérhető digitális fényképezőgépek tudományos célú munkára is alkalmassá váltak (Akkaynak et al. 2014). Megfelelő kalibráció mellett a digitális fényképezőgépek többek között a fényszennyezés mérések olcsó, alternatív eszközeivé is válhattak (Flanders 2006, Kolláth 2010, Hiscocks 2014, Kolláth 2016).

Mesterséges települési fények, mint felhőfényszórók

A lézeres felhőalap mérés elterjedését megelőzően a felhők magasságának éjszakai meghatározására felhőfényszórókat alkalmaztak a repülőtereken (Ashford 1947, WMO 2008). A berendezés egy erős irányított fényforrásból állt, mely képes volt egy határozott foltban megvilágítani a felhőzetet. Egy bizonyos távolságból a kifényesedés pozíciójának szögmagasságát manuális módon megmérve egyszerű háromszögelési eljárással volt számítható a felhőalap magassága. A felhőfényszórók használata mára szinte teljesen eltűnt, feledésbe merült. Hasonló elven működött az úgynevezett „rotating-beam”, más elnevezéssel „optical drum” felhőalap mérő eszköz, mely az egyszerű felhőfényszóróval ellentétben nem igényelt manuális, emberi eljárást. A lézeres (LIDAR) eszközök mára teljesen kiszorították az említett mérési technikákat (WMO 2008).

A mesterséges települési fények kevésbé koncentráltak és irányítottak, illetve intenzitásuk is ingadozhat, de mégis olyan fényforrásoknak tekinthetők, melyek éjszaka segíthetik a meteorológiai megfigyelést. A tapasztalat azt mutatja, hogy sok esetben jól körülhatárolható kifényesedés jelentkezik a felhőzet alján, melyekhez egy-egy település, városrész, ipari létesítmény, esetleg egyedi épület kivilágítása társítható. A fényforrások ezen esetekben tehát passzív felhőfény-

szórókként szolgálhatnak, így a felhőalap magassága az említett háromszögelési eljárással becsülhető. A dolgozat célja, hogy a felhőalap magasságának ilyen formában történő meghatározását, mint módszertani lehetőséget demonstrálja.

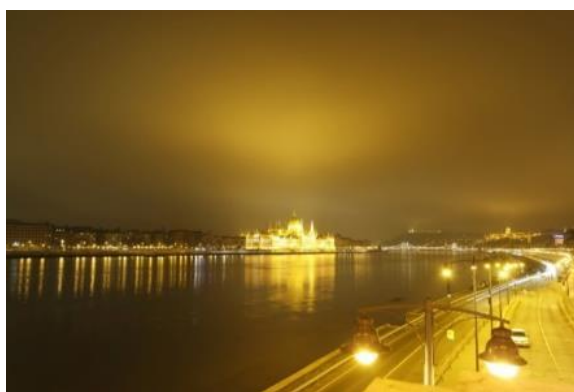
FELHASZNÁLT ADATOK, MÓDSZEREK

A Parlament épületének díszkivilágítása, mint felhőfényező

A Parlament kivilágítása még Budapest belvárosának fényszennyezése közül is markánsan elkülönülő kifényesedést eredményez az alacsony felhőkön az épület felett. A jelenség a belváros legtöbb pontjáról szabad szemmel is jól megfigyelhető (1. kép).

A módszer demonstrálásának céljából a Parlament épületétől 1400 méteres távolságban, az Országos Meteorológiai Szolgálat székházának tetején operatíván működő égbolt kamera felvételeit dolgoztuk fel (2. kép) (OMSz 2014). A felvételek jpeg formátumban voltak elérhetők, ami ugyan nem ad lehetőséget a fénysűrűség, mint fizikai mennyiség mérésére, de a relatív fényességi értékek a jpeg képek pixelértékeiből kiolvashatók. A három színcsatornából csak a zöldet használtuk fel, mely egy 8 bites számérték (0–254). A képen az egyes pixeleknek meghatározott irányok felelnek meg. A pixelek és irányok (magassági szögek) társítását a képeken felhőtlen időben megjelenő Hold, bolygók, fényesebb csillagok adott időpontban lévő pozíciója alapján végeztük el (3. kép). A közbülső pontoknak megfelelő magassági szögeket interpolációval, a mért pontokra illeszkedő másodfokú polinom illesztésével nyertük.

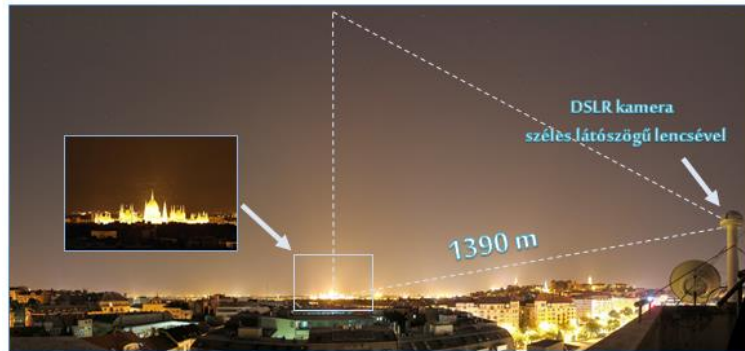
A kiértékeléshez egy szoftvert készítettünk, mely megkeresi a képen a kifényesedés maximumának függőleges pozícióját a Parlament épülete felett (6. kép). Az épület pixelszélességének megfelelő sávban vízszintes irányban átlagolt pixelértékekkel dolgoztunk. Abban az esetben, ha a maximális érték több függőleges pozícióban is szerepel, akkor ezen pozíciók átlagát tekintettük a maximális kifényesedés centrumának. A kifényesedés pozíciójához tehát magassági szöget társíthattunk, melyből az ismert 1400 méteres távolság alapján háromszögelési eljárással már egyszerűen számítható a felhőalap magassága.



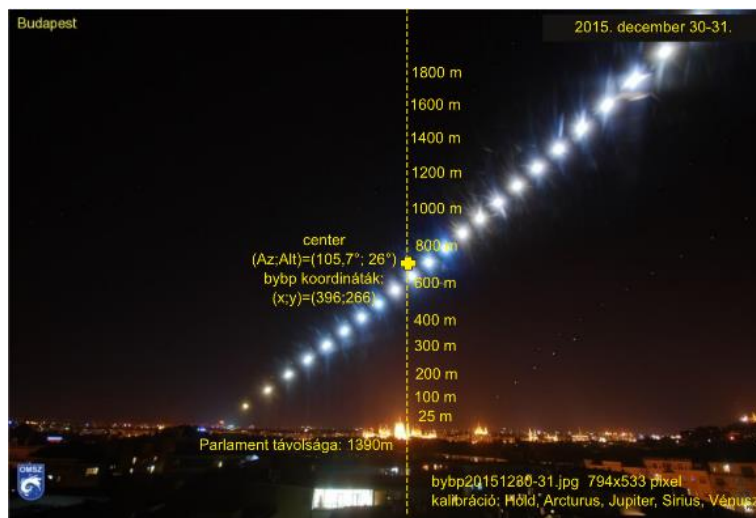
1. kép A felhőzet kifényesedése a Parlament épülete felett a Margit-híd budai hídfőjéről megfigyelve. A városon belül egyes épületek, városrészek erős díszkivilágítása felhőfényezőként funkcionálhat

Az égbolt kamerák felvételeit előzetesen manuálisan szűrtük az olyan felhős esetekre, melyeken szemmel látható határozott kifényesedési maximum mutatkozik a Parlament feletti sávban. Egy kb. féléves - 2015. decemberétől 2016 nyaráig tartó – periódust dolgoztunk fel ilyen módon, mely során a fél óránkénti képekből 163 esetet gyűjtöttünk. Az eredményeket a ferihegyi

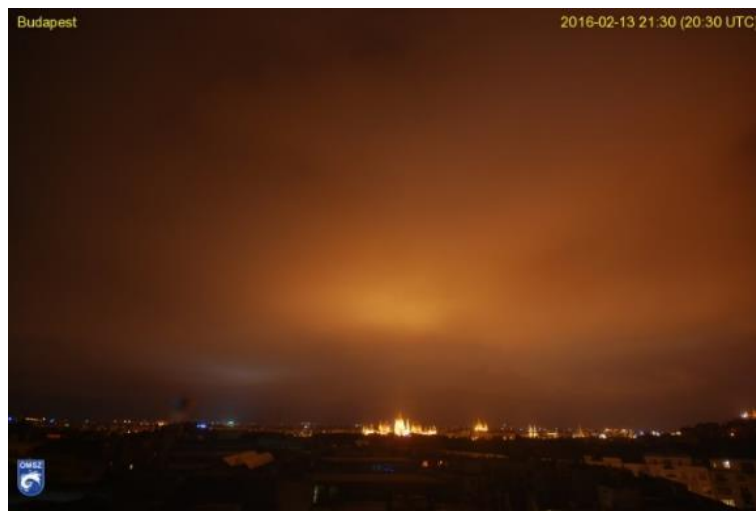
repülőtér meteorológiai távirataiban (METAR) szereplő felhőalap információkkal közös ábrán jelenítettük meg (1. ábra).



2. kép Az Országos Meteorológiai Szolgálat székházának tetején elhelyezett égbolt kamera



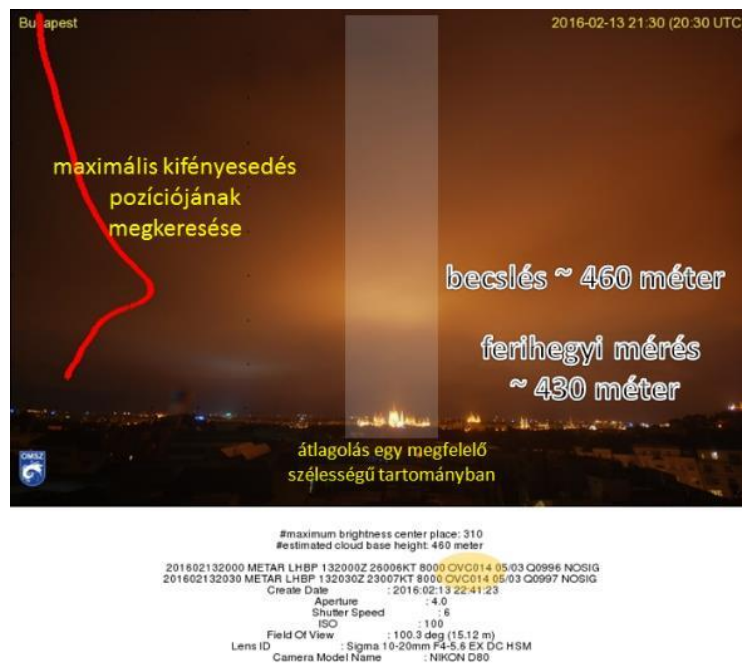
3. kép Az égbolt kamera képén lévő irányok kalibrációja a Hold, illetve bolygók, fényesebb csillagok adott időpontban lévő ismert pozícióival történt



4. kép Égbolt kamera által készített felvétel alacsony felhőzet és a bekapcsolt díszkivilágításnál. (A Parlament díszkivilágítása és a Hősök-tere melletti műjégpálya erős kivilágítása is jól megfigyelhető a kép bal oldalán.)



5. kép A felhők kifényesedése a Parlament felett különböző felhőalap magasság esetén. A bal felső képen 1000 méter feletti a felhőzet magassága, míg a jobb alsó esetben közvetlenül az épület kupolája felett helyezkedik el a felhőzet, de még a látástávolság megengedi a felhő kifényesedésének észlelését

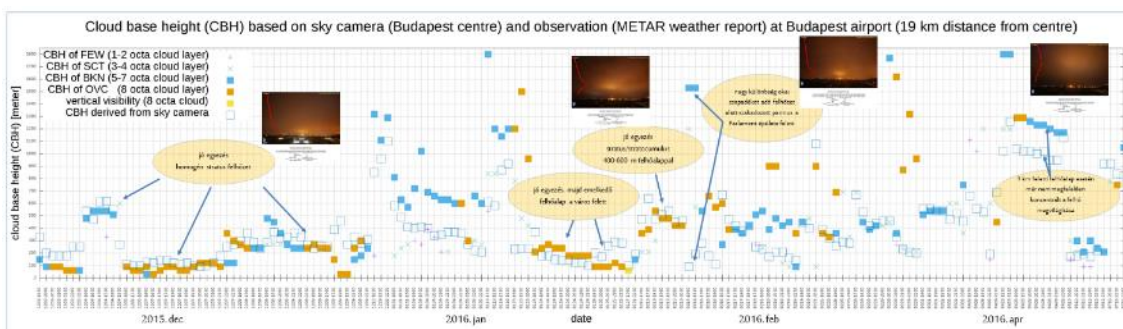


6. kép A feldolgozás módszere a kép Parlament fölötti sávjában lévő a pixelértékek vizsgálatán alapul. A sávbán a jpeg kép zöld színcsatornája az egyes sorokban átlagolásra kerül. A maximális érték függőleges pozíciójában, illetve az annak megfelelő magassági szög alatt feltételezzük a Parlament feletti felhőzet alapját

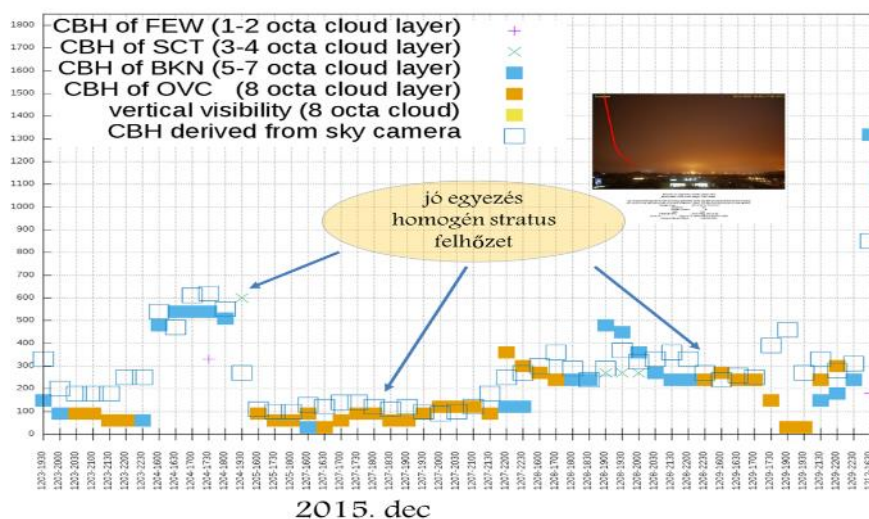
EREDMÉNYEK, DISZKUSSZIÓ

A módszer alapján számított felhőalap értékeket és a 19 km távolságban lévő ferihegyi repülőtérre mért, észlelt felhőzeti információkat (METAR távirat felhőzeti csoportja) közös ábrán jelenítettük meg (1. ábra). Az ábra elkészítésével az volt a célunk, hogy egy áttekintést nyújtson a két egymástól független felhőzeti információ viszonyáról. Az összehasonlítást nem lehet teljesen

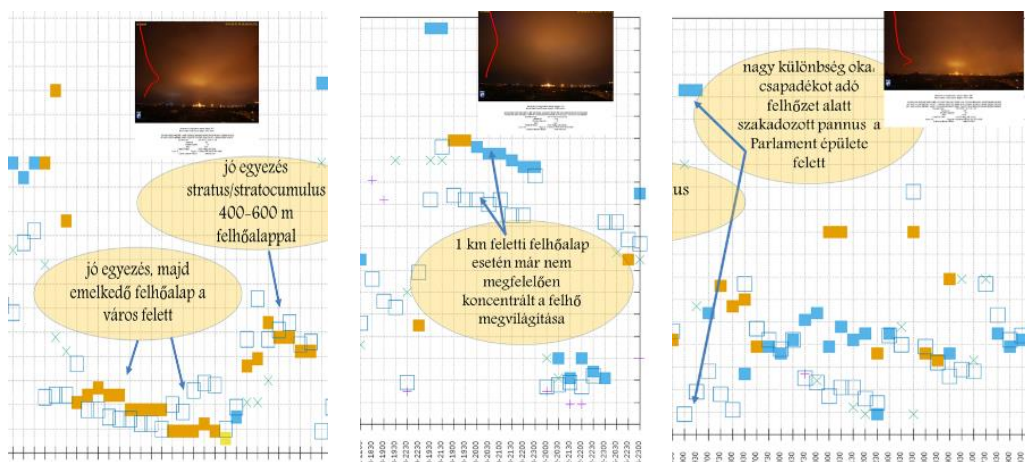
egyértelmű, hisz a METAR táviratokban több magassági szintben lévő felhőzet is megjelenik. Jó egyezésnek azt tekintettük, ha a METAR-ban az 5–8 oktányi mennyiségű felhőzet alapja és a számított felhőalap közel van egymáshoz (100–200 méternél nem nagyobb az eltérés).



1. ábra A manuálisan kiválasztott eseteket időrendi sorrendben jelenítettük meg. A függőleges tengelyen a magasság szerepel. A számított felhőalap magasságát nyitott kék négyzetek jelölik. A zárt kék, narancs négyzetek rendre az 5–7, illetve 8 okta, míg a kis keresztek az 1–4 okta felhőzet alapjának magasságát jelölik



2. ábra Kiterjedt Stratus felhőzet periódusai 2015. decemberében. A mért és a módszer által számított felhőalap magasságok ebben a periódusban jó egyezést mutatnak



3. ábra Néhány jellegzetes periódus a mért és számított felhőalap magasságok idősorában

A következőkben az 1. ábráról egy-egy jellegzetes periódust mutatunk be (2–3. ábra). A 2015. decemberében több periódusban is tartós, kiterjedt Stratus felhőzet volt a jellemző. Ezekben az időpontokban igen jó egyezést mutatott a ferihegyi repülőtéren mért és a módszer által számított felhőalap magasság (2. ábra). A különbségek egy része abból származik, hogy a repülőtér és a belváros felett ténylegesen különböző volt a felhőalap magassága. Más esetekben – főként az 1 km-nél magasabban lévő felhőknel – a felhő kifényesedése már nem eléggé határozott, illetve a díszkivilágítás függőlegestől eltérő aszimmetrikus fényszennyezése is problémákhoz vezethet a módszerben.

A feldolgozás problémái, módszer korlátai, szükséges fejlesztések

A bemutatott feldolgozás során manuális, szubjektív módon történő előzetes szűrést végeztünk, mely során a homogén struktúrájú felhős esetek kerültek válogatásra, jól körülhatárolt módon jelentkező kifényesedéssel. Ezt a manuális szűrést automatikus eljárásnak kell kiváltania. A pixelek fényességi értékeinek egyszerű maximum keresése helyett a fényesség-magassági szögfüggvényt részletesebben szükséges megvizsgálni, hogy szűrhesünk azokra az esetekre, melyre a módszer megfelelő biztonsággal működhet. A kifényesedés foltjához – amit közelítőleg egy ellipszisnek feltételezhetünk a képen – a 2 dimenziós képi térben függvényt (célszerűen Gauss-eloszlást) illeszthetünk. Az eloszlás paramétereiből (pl. szórás) a kifényesedés foltjának határozott mivoltára objektíven következtethetünk, így csak egy bizonyos megbízhatósági küszöb felett származtatunk felhőalap magasságot.

Felmerül a felhős és derült égrészek automatikus detektálása, illetve általában a felhőzet struktúrájának vizsgálata. A nappali képek esetén az RGB összetevők különbségei, egymáshoz való arányai alapján a derült és felhős pixelek egy viszonylagos biztonsággal elkülöníthetők (Heinle 2010, Shields 2013). Az éjszakai égbolt esetén az RGB komponensek alapján a különböző spektrumú települési fényforrások miatt nehezebb univerzális küszöbértékeket alkalmazni a felhőzet detektálására. A detektálásra felhasználható ugyanakkor az az összefüggés, hogy a felhőkről visszaszóródó települési fények miatt a felhős pixelek általában magasabb fényességi értéket mutatnak a derült pixelekhez képest (Kyba 2011). Fényszennyezés mentes környezetben, illetve sűrű ködben azonban éppenséggel a derült ég természetes fénylése lehet magasabb. Főként kevésbé fényszennyezett környezetben a csillagok láthatósága is alapján képezheti a felhőzet detektálásának (Martinis, 2013).

Az égből, felhőzeti kép homogenitásának, textúrájának ellenőrzése is fontos feltétel lehet a felhőalap magasságának bemutatott módszer szerinti alkalmazhatóságában. Erősen inhomogén égből esetén a magasabb fényességi értékek egy-egy foltja a szakadozott, különböző magasságban elhelyezkedő felhőpadokra is utalhat, így a felszíni fényforrást és a hozzá tartozó kifényesedést kevésbé lehetséges társítani egymáshoz. Haralick (1973) nyomán Heinle és társai (2010) az égből képekre, mint kétdimenziós RGB számhalmazra alkalmazták a képfeldolgozó eljárásokban alkalmazott, a képi textúrára jellemző különféle statisztikai mutatókat (energia, entrópia, homogenitás, kontraszt). Ezen paraméterek alapján típusokba sorolták a felhőket. Bár módszerüket nappali képekre fejlesztették, feltételezhetjük, hogy a korszerű digitális kamerák magas érzékenység mellett, rövid záridővel készült éjszakai képeire hasonlóképp alkalmazható a textúra jegyek alapján a felhőzet típusokba sorolása. (A rövid záridőre a felhők elmozdulása

miatti elmosódás kiküszöbölése miatt van szükség.) A felhőalap magasságmeghatározás módszerénél a homogénebb réteges felhők (Stratus, Altostratus, esetleg Nimbostratus, kiterjedt Stratocumulus, Altocumulus stratiformis) jelenthetik az alkalmazás feltételét.

A Hold fénye vékonyabb felhők esetén megzavarhatja az algoritmus működését, így felmerül, hogy a Hold várható pozíójától, fázisától függővé kell tenni a szűrési eljárást.

A módszer csak megfelelően nagy látástávolság esetén működőképes (a kifényesedő felhőzet és a megfigyelő pont közötti távolságnál lényegesen nagyobb látástávolság szükséges). Felmerül tehát, hogy a stabil távoli fényforrások, kontrasztok alapján a látástávolság behatárolásával párhuzamosan működjön a felhőalap magasság meghatározásának eljárása.

Példák a felhőzet kifényesedésére a fényszennyezés más konfigurációi mellett

A következő pár felvétellel azt illusztráljuk, hogy számos más környezeti körülmény esetén is jól behatárolható függőleges pozíóban fényesedik ki a felhőzet. Különböző nagyságú és lélekszámú települések mesterséges fényei, más-más távolságból megfigyelve is határozott „nyomot” hagyhat a felhőzeten.



7. kép Veszprém fényszennyezése világítja be a felhőket a Siófoki égbolt kamera felvételén (távolság: 23 km)



8. kép Heves város fényei a felhőzeten 3 km távolságból, kb. 1 km-es felhőalap esetén



9. kép Kisebb lélekszámú falvak fényei a kb. 1 km-es alappal rendelkező felhőzetben 5–10 km-es távolságból.

ÖSSZEGZÉS, KITEKINTÉS

Demonstráltuk, hogy kiterjedt, homogén Stratus, Stratocumulus stratiformis felhőzet és megfelelő látástávolság esetén a környező fényszennyezés, mint fényforrás segítségével, az éjszakai égbolt kamera képek feldolgozásával számítható a felhőalap magassága. A módszer a repülés-meteorológiai szempontból kiemelt fontosságú, alacsony (néhány száz méter) felhőalap detektálásában játszat nagyobb szerepet az egyéb távérzékelési eljárásokhoz, égbolt kamera alkalmazásokhoz képest olyan térségekben, melyek távol esnek megbízható felhőalap mérésektől.

A módszer általános körülmények közötti teszteléséhez, a későbbiekben operatív gyakorlatba integrálásához a soron következő fejlesztések szükségesek, illetve az alábbi kérdések várnak megválaszolásra:

- a matematikai képfeldolgozó eljárásokban alkalmazott, képi textúrára jellemző statisztikai paraméterek meghatározása a kiterjedt, homogén felhőzet detektálásához;
- az RGB komponensek egymáshoz képesti viszonyának vizsgálata a felhőzet detektálásának javításához;
- csillagok láthatóságának vizsgálata a felhőzet detektálásához;
- a Hold pozíciójának, fázisának figyelembe vétele;
- a felhőzet kifényesedésének, mint a képen látható alakzat matematikai karakterisztikáinak kiszámítása;
- az eljárás megbízhatósági szintjének paraméterezése, küszöbértékek megállapítása, mely fölött az adott esetben számítható a felhőalap magassága;
- milyen karakterisztikákkal kell rendelkezzen egy adott megfigyelő hely és a környező fényszennyezés, hogy a felhőzet magassága megbízható módon becsülhető legyen? Vagyis milyen korlátokkal kell számolni a megfigyelő hely kiválasztásában? Hogyan lehetséges hatékonyan kalibrálni (irányok, használható stabil települési fényforrások) egy adott megfigyelő helyre telepített égbolt kamerát?
- a kamera-lencse rendszer, mint fénysűrűséget mérő távérzékelési eszköz kalibrációja (JPEG képekről RAW formátumba való áttérés; lencse peremsötétedés pontos kimérése, figyelembe vétele; megvilágítás mérő eszköz (luminance meter) használata a kalibrálás során);

- hogyan segítheti a fényszennyezés modellezése a kamera felvételek kiértékelését?
- az éjszakai látható tartományú műholdképek és az égbolt kamerák hogyan egészíthetik ki egymást, illetve a többi rendelkezésre álló távérzékelési eljárást a felhőzet feltérképezésében?

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Akkaynak, D. et al. (2014): Use of commercial off-the-shelf digital cameras for scientific data acquisition and scene-specific color calibration. *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 31 (2), 312.
- [2] Ashford, O. M. (1947): Meteorological instruments. *Weather*, Vol. 2 (4), 103–104.
- [3] Chulichkov et al. (2015): Method of estimation of cloud base height using ground-based digital stereophotography. In: 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics
- [4] Flanders (2006): Measuring Skyglow with Digital Cameras. *Sky & Telescope*, 99–104. url: <http://www.skyandtelescope.com/wp-content/uploads/SkyglowDigitalCameras.pdf> (2017.03.15.)
- [5] Haralick et al. (1973): Textural features for image classification, 3, 610–621, 1973.
- [6] Heinle et al. (2010): Automatic cloud classification of whole sky images, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 557–567
- [7] Hiscocks, P. D. (2014): Measuring Luminance with a Digital Camera. url: <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes-2.pdf>. (2017.03.15.)
- [8] Horváth et al. (2002): Ground-based full-sky imaging polarimetry and its use for polarimetric cloud detection. *Appl. Opt.* Vol. 41 (3), 543.
- [9] Janeiro et al. (2010): Developments of low-cost procedure to estimate cloud base height based on a digital camera. *Measurement*, Vol. 43 (5)
- [10] Kassianov et al. (2005): Cloud-Base-Height Estimation from Paired Ground-Based Hemispherical Observations. *J. of Appl. Met.*, Vol. 44 (8)
- [11] Kolláth, Z. (2010): Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 218, 012001.
- [12] Kolláth, Z. et al. (2016): Qualifying lighting remodelling in a Hungarian city based on light pollution effects. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Volume 181, September 2016, Pages 46–51
- [13] Kyba et al. (2011): Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PloS one*, Vol. 6 (3), e17307.
- [14] Martinis et al. (2013): A New Method to Estimate Cloud Cover Fraction over El Leoncito Observatory from an All-Sky Imager Designed for Upper Atmosphere Studies. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125:000-000
- [15] OMSZ (2014): Az Országos Meteorológiai Szolgálat égkép készítő rendszere. url: http://www.met.hu/downloads.php?fn=/ismertetok/egkep_ismerteto.pdf (2017.03.15.)
- [16] Savoy et al. (2015): Cloud base height estimation using high resolution whole sky imagers. In: 2015 IEEE, (IGARSS).
- [17] Seiz et al. (2007): Cloud mapping with ground-based photogrammetric cameras. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28 (9)
- [18] Shields et al. (2013): Day/night whole sky imagers for 24-h cloud and sky assessment: history and overview. *Appl. Opt.* Vol. 52. (8), 1605.
- [19] Wang et al. (2016): Cloud base height from sky imager and cloud speed sensor. *Solar Energy*, Vol. 131, 208–221.
- [20] WMO (2008): Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. url: https://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf (2017.03.15.)

**LIGHT POLLUTION AND METEOROLOGY – CLOUD BASE HEIGHT ESTIMATION AT NIGHT
BASED ON SKY CAMERA MEASUREMENTS**

Base height of low-level clouds is a critical parameter in aviation meteorology. We introduce a new observation method for determining cloud base height at night. The technique is based on processing sky camera pictures and it is analogous to the triangulation principle of searchlight ceilometer. We show that light pollution (the upward component of artificial lights) could be used passively as cloud ceiling projector in various environments. The method was tested in one year period from one observation site in central Budapest. We found that the base height could be estimated with reasonable accuracy in the case of homogeneous stratus cloud sheets, via the illumination of the clouds from the stronger ornamental lights in the city. Case studies with different local light pollution characteristics (e.g. smaller settlements, different observation distances) will be presented. Limitations of the method will be discussed.

Keywords: *sky camera, remote sensing, stratus, cloud base height, light pollution, searchlight ceilometer*

Kolláth Kornél (MSc)
meteorológus
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző és Veszélyjelző Osztály
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Környezettudományi Doktori Iskola
kollath.k@met.hu
orcid.org/0000-0002-0771-4116

Kolláth Kornél (MSc)
meteorologist
Hungarian Meteorological Service
Unit of General and Severe Weather Forecasting
Eötvös Loránd University
Doctoral School of Environmental Sciences
kollath.k@met.hu
orcid.org/0000-0002-0771-4116



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-07-0388_Kollath_Kornel.pdf

Beneda Károly Tamás, Rohács Dániel, Kavas László, Óvári Gyula

MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ RENDSZER KIVÁLASZTÁSA ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK VIZSGÁLATÁRA KÉSZÜLŐ MIKROGÁZTURBINÁS PRÓBAPADHOZ

A repülésben széles körben alkalmazott gázturbinás hajtóművek is érintettek a fosszilis tüzelőanyagok korlátozott erőforrásaival. Már régóta folynak kutatások alternatív tüzelőanyagokkal kapcsolatosan, jelen kutatás azonban nemcsak a gázturbina termodinamikai, esetleg emissziós kérdéseivel kíván foglalkozni, hanem rendszer szinten közelíti és vizsgálja a kiszolgálást, üzemeltetést is érintő területeket. Természetesen elsődleges magának a hőerőgépnak az eredetitől eltérő tüzelőanyaggal történő megtáplálása következtében a munkafolyamatban előálló változások feltárása, melyhez egy sugárhajtóműves próbapad kerül megépítésre. Jelen cikk a fenti céloknak megfelelő mérő-adatgyűjtő rendszer kiválasztását vázolja fel, rámutatva annak a kutatás befejeztével oktatási berendezésként történő alkalmazási lehetőségeire.

Kulcsszavak: gázturbina, alternatív tüzelőanyag, sugárhajtómű, mérő-adatgyűjtő rendszer, LabVIEW, mikro-gázturbina

BEVEZETÉS

A repülésben nagy teljesítmény-sűrűségük, egyszerű felépítésük, széleskörű alkalmazhatóságuk révén már döntően gázturbinás hajtóművekkel lehet találkozni. Úgy a polgári, mint a katonai repülőeszközök javarészt egy- és kétáramú gázturbinás sugárhajtóművekkel, esetleg légsaváros gázturbinákkal vannak felszerelve, illetve helikopterekben is széles körben tengelyteljesítményt leadó gázturbinákat alkalmaznak [1]. Nagy sebességek esetén az egy- és kétáramú sugárhajtóművek hangsebesség feletti tartományban kiegészülnek utánégetéssel, amivel azonban napjainkban szinte kizárólag katonai repülőeszközökön találkozhatunk [2]. Napjaink érdekes trendje, hogy a gázturbinás egységek egyre kisebb teljesítményeknél képesek felvenni a versenyt a dugattyús motoros megoldásokkal, így a kisgépes repülésben is egyre nagyobb részesedésük van, már az 500kW alatti tartományban is terjedőben vannak [3], valamint az egyáramú sugárhajtóműveket pilóta nélküli légi eszközökben (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) is alkalmazzák néhány száz N tolóerő nagyságrendben [4].

A folyamatosan bővülő alkalmazás és a fogyóban lévő fosszilis tüzelőanyag-források, valamint a környezetvédelem problémái arra sarkallják a mérnököket, hogy alternatív hajtóanyagokat találjanak, fejlesszenek, alkalmazzanak [5]. Jelen kutatás célja, hogy a katonai hajtóművekben alkalmazható újfajta tüzelőanyagokat mind elméleti, mind gyakorlati oldalról megvizsgáljuk, melyben a nagy hajtóműveket egy kisméretű gázturbinás egységgel modellezzük.

A cikk első része összegzi a szerzők mikro gázturbinák terén elért tapasztalatait különös tekintettel az üzemeltetés és a mérő-adatgyűjtő rendszerek kérdéseire. A mikro gázturbinák kis méretüknél fogva bizonyos szempontból sokkal érzékenyebbek lehetnek az eredetitől eltérő tulajdonságokkal rendelkező tüzelőanyagra, mint pl. viszkozitás miatt [6] vagy akár a hővesztések terén [7].

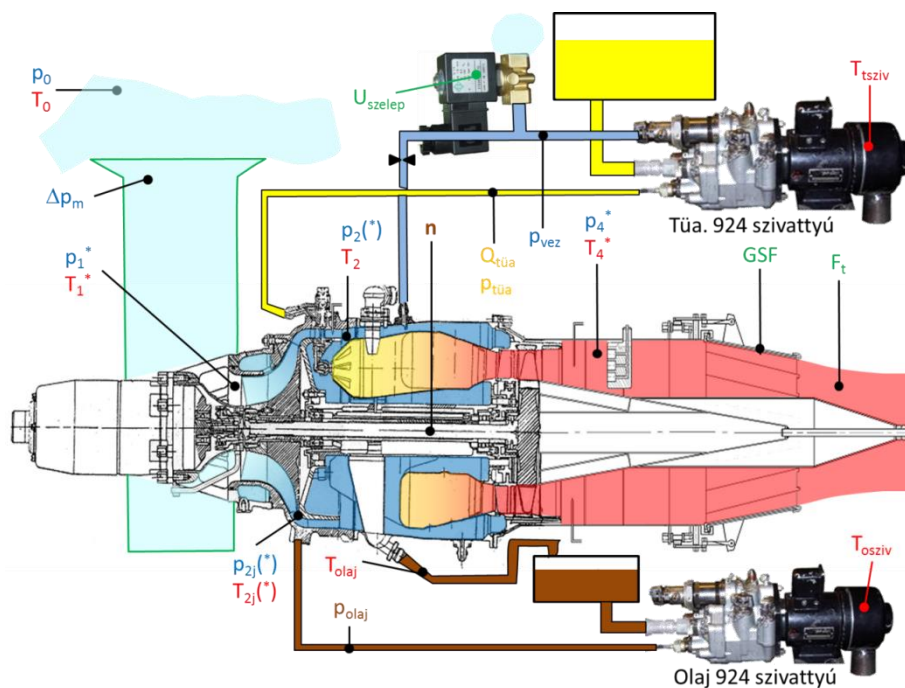
A cikk második része a mérő-adatgyűjtő rendszer kialakítását ismerteti. A tervezett gázturbinás sugárhajtómű, melyen az alternatív tüzelőanyagok hatását kívánjuk vizsgálni, igen kiterjedt mérő-adatgyűjtő rendszerrel kell rendelkezzen, hogy már a kutatások alatt lehetőséget biztosítson a hajtómű termodinamikai folyamatainak megismerésére, a hagyományos és újfajta hajtóanyagok elégetésekor létrejövő különbségek feltérképezésére. Továbbá a megválasztásnál olyan igényeknek is meg kell felelni, hogy a berendezés a kutatás befejeztével végül oktatási eszközként fog üzemelni.

A cikk megírásakor az NKE korábban (szélcsatorna mérésére) megalkotott mérő-adatgyűjtő rendszere, valamint a TJ100 gázturbinás sugárhajtómű gyártója, a PBS Velká Bíteš cég által kínált berendezés összehasonlítása volt lehetséges. Ebben egy komplett, kifejezetten az adott típushoz adaptált megoldás és a saját kialakítású rendszer lehetőségei alapján történik a javaslatétel, ezen felül két kifejezetten a TJ100-hoz használt próbapad bemutatása.

MIKROGÁZTURBINÁK

A BME Vasúti Járművek Repülőgépek és Hajók Tanszéken (VRHT) kialakított kísérleti kis-méretű gázturbina az TKT-1 elnevezést kapta, ami 2007 decembere óta oktatási-kutatási célokat szolgál [8]. A Tanszéknek birtokában van egy tengelyteljesítményt leadó Deutz T216 típusú gázturbina is, mely egy szabályozással kapcsolatos PhD munka alapját képezte még a 2000-es évek elején [9]. A szerzők ezen túlmenően részt vettek a PD-60R típusú modell sugárhajtómű szabályozórendszerének megtervezésében, melyben igen értékes tapasztalatokat szereztek a mikrogázturbinák mérési és szabályozási kérdéseiben [10].

TKT-1

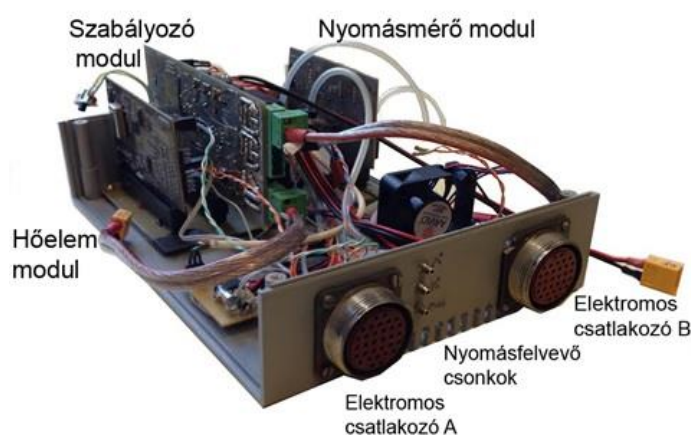


1. ábra A TKT-1 mérési helyei

A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű a TSz-21 indító gázturbinából került kifejlesztésre, ami csaknem 10 éve megbízhatóan üzemel a VRHT-n. Eddig közel 130 sikeres indításból több mint 7,5 óra üzemidőt teljesített. Tekintettel arra, hogy a Magyar Honvédség részéről rendelkezésre álltak a megfelelő dokumentumok, az üzemidő nyilvántartás is lehetővé vált. Már a kezdetekben cél volt az oktatási-kutatási jelleg miatt a kiterjedt mérő-adatgyűjtő rendszer létrehozása, melynek mért adatait a jelenlegi kialakításában az 1. ábra mutatja.

A mért adatok jelenleg kettős feldolgozásra kerülnek, kiépítés alatt van egy kétcsatornás, teljes hatáskörű szabályozórendszer (TEDDI) [11], mely a mérési feladatokat saját célból is elvégzi, tehát az eredeti mérőegységeket feleslegessé teszi. Amíg azonban minden paraméter mérése nincs kivitelezve a TEDDI-n, addig hibrid üzemmódban az eredeti adatgyűjtő is működik. A későbbiekben minden adatot a TEDDI fog az adatokat megjelenítő számítógépre elküldeni, ahogy a már integrált információkkal most is történik.

A TKT-1 saját fejlesztésű szabályozórendszerrel rendelkezik, mely teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozást alkalmaz (Full Authority Digital Electronic Control, FADEC). A moduláris kialakítás már a koncepcionális fázisban a kétcsatornás működésre fókuszált, jelenleg azonban még csak egyetlen csatorna működik. A TEDDI elrendezéséről, jelenlegi állapotáról a 2. ábra nyújt információt.



2. ábra A TEDDI teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozó egység felépítése

A szabályozás történhet hajtómű nyomásviszony (Engine Pressure Ratio, EPR; az 1. ábra jelöléseivel p_4^*/p_1^*), valamint hajtómű teljesítményviszony (Turbofan Power Ratio, TPR; $p_2^* / p_1^* \cdot \sqrt{[T_4^* / T_1^*]}$) alapján. Mivel a TSz-21 nem rendelkezett fordulatszám-érzékeléssel, ezért az egészen mostanáig nem került kiépítésre. Jelenleg zajlik a fordulatszám szerinti szabályozás fejlesztése.

A berendezés alapvetően üzembiztos, az elmúlt tíz év sikertelen indításai minden esetben visszavezethetők voltak a rendszer nagymértékű fejlesztésére, amikor a fokozatosság elve nem volt biztosított, és az új, még be nem járatott új megoldások okoztak problémát.

A sugárhajtómű egy mozgatható próbapadra került felépítésre, amivel a labor udvarán történtek az eddigi üzemelések. Ezt azonban az időjárás befolyásolhatta, így tervbe van véve a zárt térben való működtetés.

Deutz T216

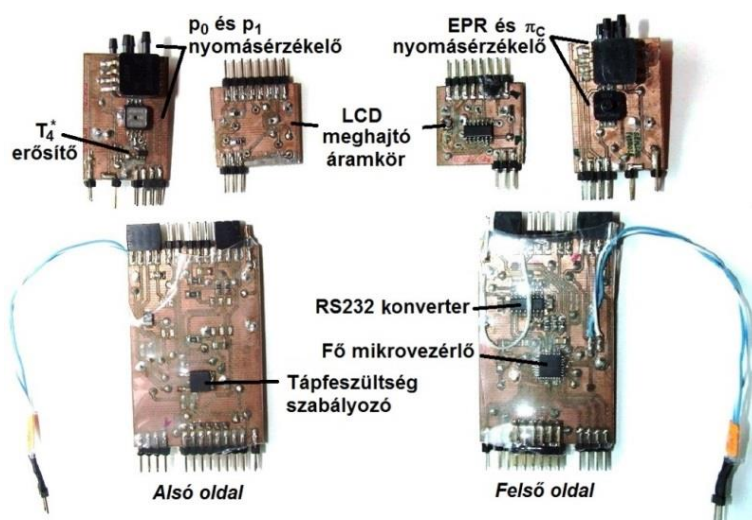
A német Klöckner-Humboldt-Deutz cég még az 1960-as években fejlesztette ki a 80kW-os tengelyteljesítményt leadni képes T216 típusjelzésű gázturbináját. A VRHT laborjában a 2000-es évek elejére készült el az első próbapad [9], melyen PhD munka mellett hallgatói mérések is zajlottak. A labor 2011-es bontása miatt szét kellett szerelni, és 2015-ig nem üzemelt. Jelenleg, mivel a bontás a rendelkezésre álló helyet rendkívüli módon lecsökkentette, az eredeti kezelőpult megtartása nem vált lehetővé. Emiatt új mérő-adatgyűjtő rendszer került kivitelezésre, mely egy NI USB-6218 típusú 16 bites A/D eszközre épül, és egy laptopon futó LabVIEW program gyűjti és jeleníti meg valós időben a mért adatokat. Itt minden főbb keresztmetszetben van nyomás- és hőmérséklet-mérés, mérhető a fordulatszám, az tüzelőanyag mennyisége egy kifogyasztó tartályban, valamint a terhelőnyomaték. Itt a szabályozás hidromechanikus, a gázkar mozgatása történik félautomatikusan, számítógépről vezérelt motor segítségével. A berendezést a 3. ábra mutatja.



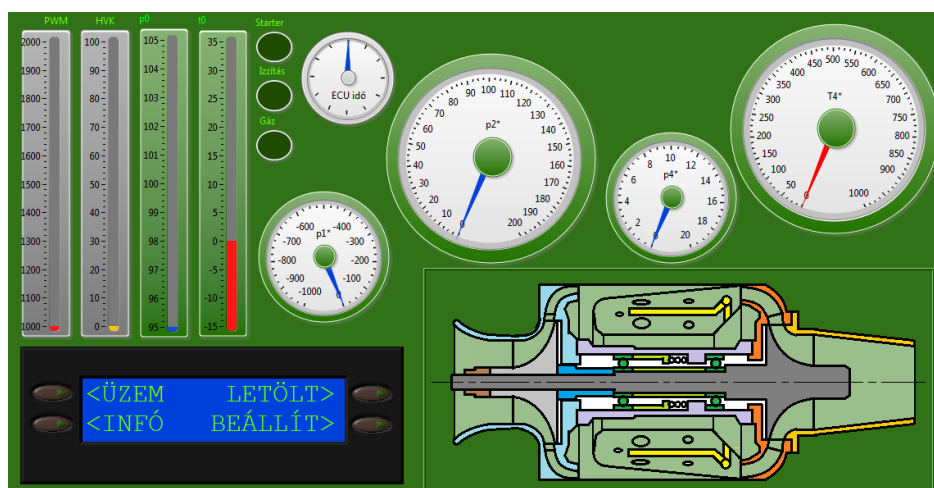
3. ábra A Deutz T216 tengelyteljesítményt leadó gázturbina, próbapadja és mérőrendszere

PD-60R

A modell sugárhajtóművek körébe tartozó, egyéni fejlesztésű PD-60R típusú gázturbinás sugárhajtóműhöz mérő- és szabályozórendszer készült [10], mely TPR szerinti szabályozást valósít meg a rádió távirányítóról érkező vezérlőjelek alapján, itt tehát az előzőekkel ellentétben vezeték nélküli az adatátvitel. Az elektronika moduláris, a méréshez készült egy önálló kijelző egység, melyen megjeleníthetők a mért adatok. Szükség szerint soros kommunikáció is megvalósítható egy, az adatokat fogadó számítógéppel, ahol rögzítés és megjelenítés történhet pl. LabVIEW segítségével. A szabályozórendszer felépítését a 4. ábrán láthatjuk, míg az adatgyűjtő szoftver képe (a sugárhajtómű metszeti ábrájával) az 5. ábrán figyelhető meg.



4. ábra A MARCEL fantázianevű szabályozó elektronika felépítése



5. ábra Az adatgyűjtő LabVIEW program képernyője

Tapasztalatok a mérőrendszerek területén

Mindegyik gázturbinás berendezés hőmérsékleteit K típusú (krómel-alumel) hőelemekkel mérjük, mely jeleket először erősíteni kell. Ez egy kritikus pontja a hőfok érzékelésének, ami azonban kiküszöbölhető kifejezetten erre a célra készült integrált áramkörökkel. Az eddigiekben azonban ezek magas árfekvése miatt nem kerültek alkalmazásra.

A nyomásokat mindenütt piezorezisztív érzékelőkkel mérjük, melyeknek a belső erősítő tartalmazó változatai nagyon egyszerűen illeszthetők akár saját építésű, akár gyártói A/D rendszerekbe. Itt a megfelelő nyomástartomány szem előtt tartása a fontos, de mivel a mérendő gázturbina paraméterei lényegében ismertek, ez nem jelenthet különösebb gondot.

A fordulatszámot a két nagyobb gázturbinánál induktív elven érzékeljük, a PD-60R esetében a tengelyvég anya átfúrásával optikai szondával mérjük. Mindegyik módszer bevált, működőképes, az utóbbi esetben 130 000 fordulat/perc értéknél még mindig megbízhatóan működött. Erő- és nyomatékmérésre erőmérő cellákat alkalmazunk, ezeket – a nyomásméréshez hasonlóan – az ismert működési tartományra való tekintettel előre ki kell választani.

A lineáris avagy forgó elmozdulások követésére a repülésben általában alternáló vagy forgó differenciál transzformátorokat alkalmaznak, ezekben a kísérleti gázturbinákban a potenciométeres megoldás is megfelelő, mivel egyenfeszültséggel is gerjeszthető, és a jel kondicionálása sem igényel különleges áramköröket.

A mérő-adatgyűjtő rendszerben a szoftveres oldalt minden esetben LabVIEW fejlesztőkörnyezetben hoztam létre, mert kellően rugalmas, gyors fejlesztést tesz lehetővé, nem kell a tényleges programozással sokat bajlódni, sok benne a kész megoldás, emellett látványos, kimeneti formátumait pedig egyszerűen be lehet olvasatni táblázatkezelő szoftverrel az üzemelés utáni kiértékelés céljából.

Tapasztalatok az üzemeltetésben

A méretek csökkenésével természetesen a teljes felhasznált tüzelőanyag-mennyiség jelentős mértékben csökken, de a gázturbina mérési lehetőségei is jelentősen beszűkülnek, hiszen egyre kisebb szenzorokat kell létrehozni, egyre körülményesebb azoknak az elhelyezése.

Éppen ezért kedvező, hogy olyan mérettartományba eső hajtóműre esett a választás, mely a szerzők által is üzemeltetett TKT-1 és Deutz T216 turbinákkal egy nagyságrendbe esik. A TJ100 típus felműszerezése, üzemeltetése emiatt vélhetően hasonló jelleggel lesz majd megvalósítható, mint a fentebb említett típusok esetében.

Mivel a TJ100 típus a TKT-1-hez hasonlóan sugárhajtómű, a terhelés változtatása körülményesebb, mint a tengelyteljesítményt leadó gázturbinák (pl. Deutz T216) esetén. Ez utóbbinál ugyanis a kimenő tengelyen fékezőnyomatékot működtetve a valóságos terhelés (pl. légcsavar, forgószárny) egyszerűen modellezhető igen széles tartományban. A TJ100 rendeltetéséből fakadóan (pl. vitorlázó repülőgépek segédhajtóműveként) nem igényel ilyen széles üzemmód-tartományt, ezért állandó keresztmetszetű fűvócsővel készül. Felmerülhet az igény, hogy jelen kutatás céljaira viszont egy változtatható keresztmetszetű fűvócsőre lehet szükség, hogy a hajtómű üzemállapotát minél szélesebb tartományban lehessen változtatni. A TKT-1 tapasztalatai azonban ebben az esetben szintén felhasználhatók lesznek, amennyiben a változtatható fűvócső megépítése szükségessé válik.

A LEHETSÉGES MÉRŐRENDSZEREK BEMUTATÁSA

Az NKE jelenleg meglévő mérőrendszere

Általános leírás

A berendezéshez tervezett mérőrendszer eredetileg egy szélcsatornához került beszerzésre, így mint a projekt kezdetekor rendelkezésre álló eszköz, a projekt teljes költségvonzatát hatékonyan lehet csökkenteni a már meglévő rendszereknek az új kívánalmakhoz történő adaptálásával, teljesen új rendszer beszerzése helyett.

A központi számítógép

A mérő-adatgyűjtő rendszer központi eleme a számítógép, mely egy CASON ipari számítógép, legfontosabb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. A számítógép 2006 évben került beszerzésre. Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy a konfiguráció bár a tíz évvel ezelőtti színvonalat

tükrözi, jelenlegi állapotában, vagy minimális fejlesztéssel (pl. memória-bővítés) megfelel a kívánalmaknak, a mérő-adatgyűjtő rendszer központi egységének feladatait el képes látni.

Alaplap	BG1404 passzív alaplap ipari számítógépekhez
Processzorkártya	Socket478 P4; Intel 845GV chipkészlet 400/533MHz FSB
Processzor	Intel Celeron D 2,8 GHz
Memória	max. 2GB, telepítve 512MB DDR
Grafikus kártya	integrált AGP
Merevlemez	160 GB Samsung EIDE HDD
Optikai lemez meghajtó	LG GSA4167 EIDE DVD RW Dual Layer
USB	5×2.0

1. táblázat A mérő-adatgyűjtő számítógép főbb specifikációi [12]

A mérő-adatgyűjtő kártya

A hardver kiépítés szempontunkból legkritikusabb eleme a mérő-adatgyűjtő kártya. Erre vonatkozóan egy Advantech PCL-1710L típusú eszköz került beszerzésre, melynek legfontosabb adatait a 2. táblázatban olvashatjuk.

Típus	Advantech PCL-1710L				
Csatlakozás a számítógéphez	PCI buszon keresztül alaplpra				
Analóg bemenetek					
Felbontás	12 bit				
Mintavételezési sebesség	100 000 minta/másodperc				
Egy konverzió időigénye	8 μ s				
Adatpuffer	FIFO 4096 minta számára				
Csatornák száma	8 differenciális vagy 16 egyvezetékes (SE)				
Csatlakozás a külső jelekhez	68 tűs SCSI csatlakozó				
Erősítések	0,5	1	2	4	8
Bemeneti feszültség-tartomány	diff.	0~10 V	0~5 V	0~2,5 V	0~1,25 V
	SE	\pm 10 V	\pm 5 V	\pm 2,5 V	\pm 1,25V
Integrált nemlinearitás (INL)	\pm 1LSB				
Monotonicitás	12 bit (nincs hiányzó kód)				
Ofszet hiba	Nullázható				
Erősítés hiba (a max. mért érték %-ban)	0,5	1	2	4	8
	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
Ofszet stabilitás	15 ppm/ $^{\circ}$ C				
Erősítés stabilitás	25 ppm/ $^{\circ}$ C				
Digitális ki- és bemenetek					
Csatornák száma	16 kimenet és 16 bemenet				
Jelszint	TTL (5V kompatibilis)				
Digitális számláló					
Csatornák száma	1				
Felbontás	16 bit				
Maximálisan mérhető frekvencia	1 MHz				
Jelszint	TTL (5 V kompatibilis)				

2. táblázat A mérő-adatgyűjtő kártya főbb tulajdonságai [13]

A mérő-adatgyűjtő kártya paramétereit elemezve a következőket szükséges kiemelni:

- ➔ a 12 bites felbontás esetleg kevésnek bizonyulhat a tervezett környezetben. Ajánlott volna a 16 bites felbontás, azonban ez mindenképpen új mérőkártya beszerzését tenné szükségessé. Az elemzést külön alponban lásd alább;

- a mintavételezés sebessége 100 000 minta/másodperc. A kártya architektúrája szerint egy A/D átalakítót tartalmaz, mely $8\mu\text{s}$ alatt végez el egy konverziót, tehát 125 000 minta/másodperc lenne az elvi korlát. Itt azonban ún. Multiplex rendszerben több bemenet közül egyidejűleg egynek a kapcsolását tesszük lehetővé, ami feltételezi az egyes bemenetek közötti átváltást, annak időszükségletével együtt. Ha tehát 16 egyvezetékes bemenetet alkalmazunk, akkor kb. 6250 minta/másodperc érhető el minden csatornáról. Ez elegendő időbeli felbontást kínál tranziens jelenségek vizsgálatára is;
- a külső jelekhez történő csatlakozás 68 tűs SCSI szabványú csatlakozón keresztül lehetséges. Ennek érdekében, hogy ne kelljen az általunk mérni kívánt jeleket egy ilyen csatlakozóra felforrasztani, az NKE rendelkezik PCLD-8710 jelű adapterrel, mely sorkapcsokon keresztül bontható kapcsolatot biztosít a jelek számára a mérőrendszerben;
- előnye a kártyának, hogy rendelkezik digitális ki- és bemeneti jelekkel is, melyeket a gázturbinás sugárhajtómű vezérlésében, illetve visszacsatolásaiban lehet felhasználni (pl. olajnyomás-kapcsoló stb.);
- egy további nagyon fontos előny, hogy a kártya biztosít egy 16 bites számlálót, mely maximálisan 1MHz-es jelek mérésére alkalmas (a kártyán 10MHz-es órajellel dolgozik a számláló maga). Ez a bemenet fordulatszám mérését teszi lehetővé számunkra, mely elengedhetetlen a gázturbinás sugárhajtómű üzemállapotának pontos rögzítéséhez.

A felbontásból eredő hibák

A jelenlegi konfigurációban egy laboratóriumi mérőberendezésről van szó, mely temperált (ha nem is léghőképző) helyiségben fog működni, tehát számottevő hőmérséklet-eltérés a mérőrendszer környezetében nem várható, az offset- és erősítés stabilitásnak így nem lesz számottevő szerepe. A hibák kalkulációjakor ezeket tehát jó közelítéssel elhanyagolhatjuk, így az erősítés hiba és az integrált nemlinearitás (INL) fognak döntően érvényre jutni. Ha 1-szeres erősítést veszünk, amikor pl. 0–10 V-os tartományban kívánunk mérni, az erősítési hiba a táblázat szerint 0,1%, az INL pedig $\pm 1\text{LSB}$ (Least Significant Bit, legkisebb helyiértékű bit). A 12 bites felbontás (4096 kvantálási szint) miatt a 10 V-os tartományon az LSB értéke 2,44 mV, a skála 0,1%-a pedig 10mV. Így tehát egy mérés esetén a pontosság a tényleges feszültség közel 5LSB-nyi környezetébe eső mérési eredményt fog szolgáltatni. Ez 16 bites felbontással (4096-ról 65 536-ra növelvén a kvantálási szinteket) közel egy nagyságrenddel csökkenthető volna.

A csatornák erősítése egyesével állítható. Így tehát nincs probléma abból fakadóan, hogy bizonyos eszközök (pl. nyomástávadók) már eleve erősített, tipikusan 0–5 V tartományba eső jelet szolgáltatnak, míg mások, pl. hőelemek csupán néhány 10mV-nyi feszültséget adnak. Ezt szoftveresen konfigurálhatjuk, tehát a mérő-adatgyűjtő programba kell majd beépíteni.

Érzékelők

A meglévő érzékelők a ZMNE szélcsatorna berendezéséhez szintén kínálnak lehetőséget a gázturbinás próbapadon történő alkalmazásra.

Hőmérséklet-érzékelés

A szélcsatornában nem alakulnak ki számottevő hőmérsékletek, így PT100 (100 Ω -os névleges ellenállású platina) ellenállás-hőmérőket alkalmaztak, a hozzájuk tartozó DT100 távadó-

val, mely a platina hőmérsékletfüggő ellenállásjelét 4–20mA szabványos áramjellé alakítja. Megjegyzendő, hogy a PCLD-8710 kártya biztosít lehetőséget a gyakrabban alkalmazott feszültség bemenet helyett áramjel mérésére is.

A gázturbinás sugárhajtóműben azonban előállnak az égéstérben és a turbinában olyan nagy hőmérsékletek is, melyeknek a mérése ellenállás-hőmérővel már nem lehetséges. A turbina előtti és utáni gázhőmérsékletek (melyekből vélhetően csak a kilépést fogjuk mérni) hőelem alkalmazását követelik meg. A hőelemek kifejezetten kis feszültségjeleket hoznak létre, a leggyakrabban használt (és ebben a rendszerben is ajánlott) K típusú, krómél-alumel hőelem tipikusan közel 40 μ V feszültséget hoz létre 1 °C hőfokkülönbség esetén. Ez természetesen további jelkondicionálást igényel.

Szükséges tehát a nagyobb hőmérsékletek mérését hőelemmel megvalósítani, melyhez magát a hőelemet és a jelkondicionáló áramkört kell beszerezni. Ez utóbbi lehet gyári távadó, de akár saját gyártású erősítő is, mely természetesen kisebb anyagi ráfordítást igényel, miközben az elvárt pontosság teljesíthető.

Nyomásérzékelők

A szélcsatorna számára a ZMNE 2006-ban négy darab DT701DP típusú nyomástávadót rendszeresített, melyek ± 150 mbar érzékelési tartománnyal rendelkeznek. Ilyen kis nyomáskülönbség a gázturbinás sugárhajtóműben csak korlátozottan áll rendelkezésre, de ettől függetlenül vannak olyan helyek, ahol a már meglévő komponensek alkalmazhatóak.

A TJ100 típusú gázturbinás sugárhajtómű jellegzetes keresztmetszeteinek nyomásai a következőképpen alakulnak [14] nyomán, atmoszférikus bemenő feltételekkel és álló körülmények között a 3. táblázatban láthatóak. Fontos megjegyezni, hogy ezen értékek csak hozzávetőlegesek, az előzetes tervezéshez a nagyságrendek meghatározására alkalmasak. Az azonban egyértelműen kitűnik, hogy a kompresszor előtti nyomást leszámítva minden esetben nagyobb tartományban mozgunk, mint a meglévő szenzoroké. Következésképpen tehát olyan nyomásérzékelők, avagy –távadók beszerzése elkerülhetetlen, melyek ezeket a nagy nyomásokat képesek mérni.

	Nyomás (kPa)	Hőfok (°C)
Kompresszor előtt	95–100	0–30
Kompresszor után	400–450	200–250
Turbina előtt	350–400	800–1200
Turbina után	150–200	500–800

3. táblázat A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű nyomás- és hőmérséklet értékei [14]

Egyéb mérőeszközök

Legelsőként a fordulatszám-érzékelő megvalósítása válik fontossá, hiszen ez a paraméter alapvetően befolyásolja a gázturbinás sugárhajtómű üzemállapotát. Ennek kivitelezése függ attól, hogy a TJ100 milyen beépített eszközzel rendelkezik, illetve milyen elven működő szerkezet építhető a gázturbinához. Mivel a TJ100 rendelkezik FADEC (Full Authority Digital Electronic Control, teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozással) rendszerrel, ennek a beépített fordulatszám-érzékelőjének az alkalmazása az egyik kínálkozó lehetőség. Amennyiben ez nem érhető el, válik szükségessé a saját érzékelő létrehozása, mely lehetséges optikai vagy induktív jeladók segítségével. A jelfeldolgozás – a fentebb említettek alapján – a

mérő-adatgyűjtő rendszerben meglévő számláló segítségével történhet, melynek szoftveres konfigurálásával a beérkező jelek közötti periódusidőből lehet mérni a fordulatszámot.

Szoftver

A mérő-adatgyűjtő rendszer programját ebben az esetben a felhasználónak kell megírnia, ami LabVIEW fejlesztőkörnyezetben nem igényel programozói előképzettséget, mert a blokk diagramon az egyes csomópontok vezetékezése igen logikus, a felhasználói felület kialakítása minden egyedi igényt kielégíthet néhány alap tulajdonság beállításával.

Ezen felül megemlítendő, hogy a már meglévő szoftverek kiváló kiindulási alapot nyújtanak az új kifejlesztéséhez, tehát nem nulláról kell a program létrehozását megkezdeni, ezáltal a fejlesztési folyamat bizonyosan gyorsítható.

Következtetés

A PCL-1710L kártya megfelelőnek mutatkozik a feladatra, bár egy esetleges csere egy újabb, csatornaszámban azonos, felbontásban viszont nagyobb képességekkel rendelkező eszközre kedvező hatással lenne a mérő-adatgyűjtő rendszer pontosságára. Egy USB buszra csatlakoztatható multifunkciós adatgyűjtő (mint pl. NI USB6218) alkalmas lehet erre a feladatra, hiszen a LabVIEW fejlesztőkörnyezet kifejezetten egyszerű programozást biztosít, miközben 16 bites analóg-digitális konverziót kínál, lehetővé teszi különféle kétállapotú jelek vételét és kiadását is (pl. berendezések ki- ill. bekapcsolására), valamint rendelkezik kettő analóg kimenettel is, mellyel proporcionális feladatok (adagolószelep pozicionálás stb.) is megvalósítható. Ez a lehetőség közel 1500 € költséget igényelne.

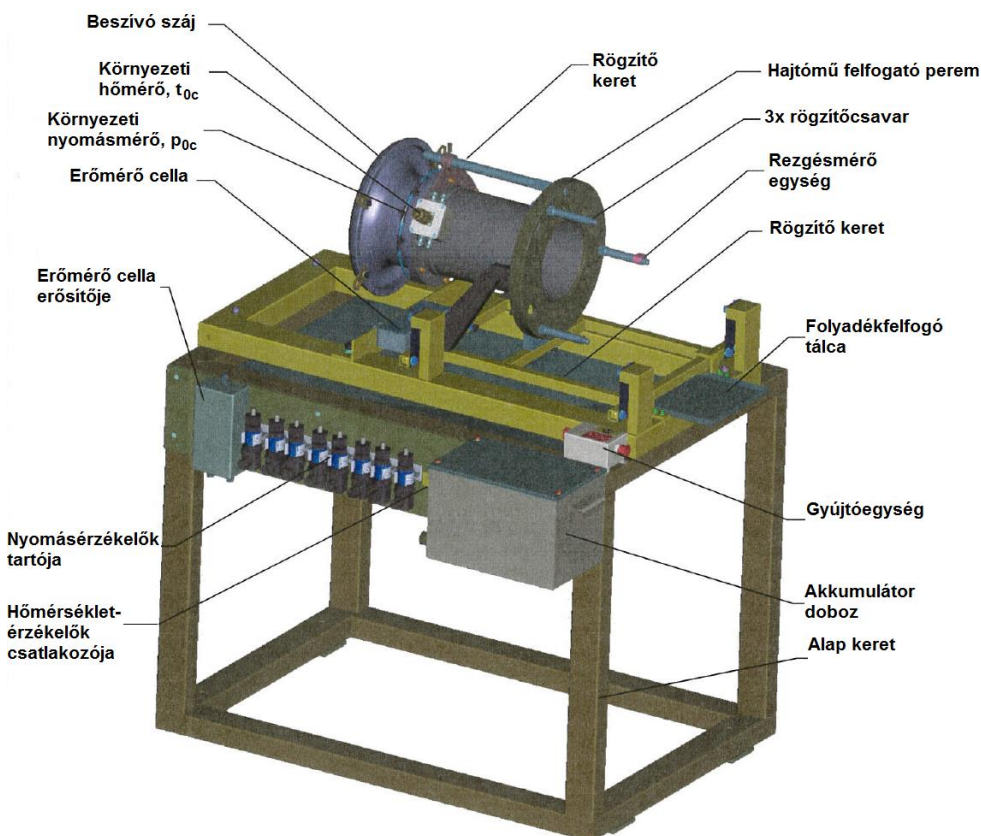
Az eredeti szélcsatorna mérőrendszer sok olyan szenzort nem tartalmaz, amely a gázturbina üzemállapotának felügyeletéhez szükséges, de ezek viszonylag kis anyagi ráfordítással (nagyágrendileg 1000 € körüli értékben) beszerezhetők, és nagyobb átalakítás nélkül illeszthetők a jelenlegi rendszerhez.

Megállapítható tehát, hogy a már meglévő mérő-adatgyűjtő rendszer átalakítása a kívánt cél elérésére megvalósítható és költséghatékony megoldásnak tekinthető.

A TJ100 gyári mérőrendszere ([15] nyomán)

Általános leírás

A gyári mérőrendszer tulajdonképpen egy komplett fékpad, melyen a sugárhajtómű üzeme vizsgálható. A fékpad rendelkezik a megfelelő rögzítési pontokkal, melyek segítségével elsődlegesen konténeres üzemeléshez biztosítható a felfogatás. Az alap keret idomacélból készül, cink védőbevonattal a korrózióvédelem érdekében. Ezen a kereten hozták létre a nyomásérzékelők tartóját, valamint az akkumulátor is itt rögzíthető. A levegő a mérőhelyiség légtéréből történik, a friss levegőellátásról mindenképpen gondoskodni kell. A füstgáz elvezetésére pedig különálló gázvezető csövet kell építeni. A fékpad nézeti képe az 6. ábrán látható.



6. ábra A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű gyári fűpadja ([15] alapján)

Szabályozó, mérő-adatgyűjtő rendszerek

A TJ100 hajtómű FADEC típusú szabályozórendszerrel rendelkezik, mely a beállított gázkar pozíció alapján a fordulatszám kívánt értéken tartását teszi lehetővé.

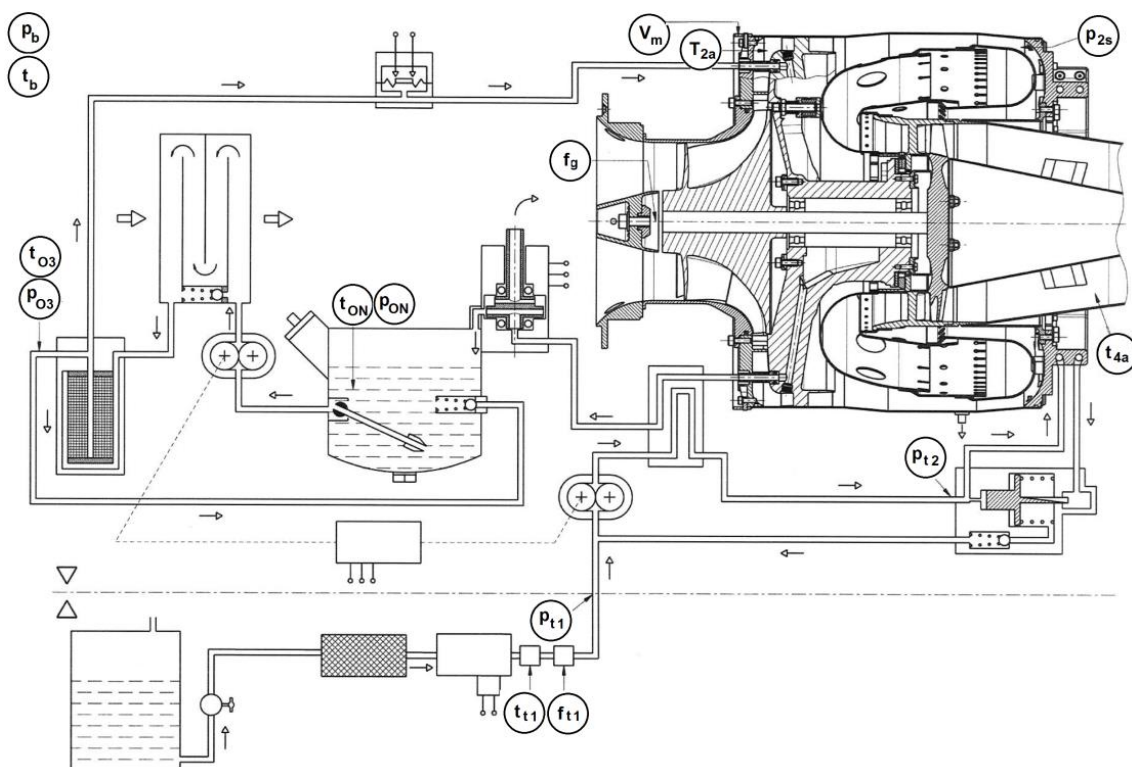
Az adatgyűjtő rendszer a szenzoroktól külön szerezhető be a hajtóműhöz, és egy adatrögzítő- és kiértékelő egységet tartalmaz, mely összesen 22 paraméter mentését, továbbá nemzetközi normál atmoszféra szerinti átszámított értékekre történő konvertálását valósítja meg.

Az adatgyűjtőről USB interfészen keresztül lehet az adatokat számítógépre küldeni.

Érzékelők

Az érzékelők elhelyezését és megnevezését a 4. táblázat és a 7. ábra mutatja. (Megjegyzés: a 7. ábra nem mutatja a mérőpadhoz tartozó szívócsatornát, és az abban elhelyezett mérőperem nyomásesés valamint kompresszor előtti hőmérséklet mérőpontokat.)

Mint az a 7. ábrán és a 4. táblázatban megfigyelhető, a TJ100 mérőrendszere nem teszi lehetővé minden termodinamikai paraméter megfigyelését, de számos más, az üzemmellel kapcsolatos információt tartalmaz. A tüzelőanyag- és olajnyomások, valamint – hőmérsékletek nem feltétlenül szükséges információk a jelenlegi kutatásban, de meglétük, ismeretük segítheti a gázturbina viselkedésének megértését, amennyiben a normálistól eltérő paraméterekkel rendelkező tüzelőanyag használatkor a vártól eltérő jelenségeket tapasztalunk (pl. eltérő tüzelőanyag viszkozitás még azonos hőmérséklet mellett is okozhatja a tüzelőanyag fűvókák rendellenes működését, ezáltal a hajtómű szabálytalan járását).



7. ábra A mérési pontok elhelyezkedése a TJ100 rendszerben ([15] nyomán)

Termodinamikai paraméterek	Nyomás (kPa)	Hőmérséklet (°C)
Atmoszférikus	p_b	t_b
Mérőperem	Δp_m	
Kompresszor előtt	t_1^*	–
Kompresszor után	p_{2s}	t_{2a}
Turbina előtt	–	–
Turbina után	–	t_{4a}

Hajtómű paraméterek	
Fordulatszám	f_g (ford/perc)
Tolóerő	F_t (N)
Tüzelőanyag-fogyasztás	f_{t1} (l/óra)
Vibráció	V_m (mm/s)

Segédberendezések paramétereit, egyéb értékek	
Olajnyomás a szivattyú után	p_{O2} (kPa)
Olajhőmérséklet a szűrő után	t_{O3} (°C)
Olajnyomás a szűrő után	p_{O3} (kPa)
Tüzelőanyag nyomás a hajtómű bemenetén	p_{t1} (kPa)
Tüzelőanyag nyomás a szivattyú után	p_{t2} (kPa)
Tüzelőanyag hőmérséklet a hajtómű bemenetén	t_{t1} (°C)
Olajhőmérséklet a tartályban	t_{ON} (°C)
Olajnyomás a tartályban	p_{ON} (kPa)
Akkumulátor feszültség	U_A (V)
Akkumulátor árama	I_A (A)
Környezet páratartalma	RHø (%)

4. táblázat A TJ100 gázturbinás sugárhajtómű mért paramétereit [15]

Fontos többlet lehet a vibráció mérésének lehetősége, mely a hajtómű állapotfelügyeletének kiemelt része a nagygépes repülésben is. A BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszékén a közelmúltban történt egy rezgésdiagnosztikai vizsgálat, illetve rendszerterv, mely egy diplomamunka keretében lett összefoglalva [16]. Ebben a munkában megállapításra került, hogy a gázturbina különböző üzemmódjain az esetleges rendellenességek spektrumképei megkülönböztethetők egymástól, így lehetőséget nyújtanak nemcsak a probléma létrejöttének jelzésében, hanem a kiváltó ok, a meghibásodott vagy rendellenesen működő komponens (csapágy, lapátok stb.) szelektálásában is.

Mivel a gyár összesen 200 üzemóra nagyjavításközi üzemidőt írt elő, ez a kutatás során – hosszabb tartampróbákat is figyelembe véve – viszonylag nagy valószínűséggel elérhető, illetve, tekintettel a berendezés későbbi oktatási-kutatási célját, mindenképpen szem előtt tartandó. Amennyiben összetett rezgésdiagnosztikai rendszer kerül kiépítésre (nem feltétlenül az első időszakban), akkor a gázturbinás hajtómű használata során létrejövő elhasználódás és más, rendellenességek időben felderíthetővé válnak, így az állapot szerinti üzemeltetés feltételei is megteremthetők.

Következtetés

A gyár által rendelkezésre bocsátott brosúra alapján kijelenthető, hogy az általuk kínált mérő-adatgyűjtő rendszer igen alapos ismereteket képes nyújtani a hajtómű üzemállapotáról, de van néhány olyan paraméter (pl. kompresszor utáni torlóponthi hőmérséklet és nyomás, turbina utáni nyomás), melyek a hajtómű termodinamikai jellemzésére igen kívánatosak volnának.

Továbbá szükséges megemlíteni, hogy bár eltekintve az esetleges további jelek rendszerbe integrálásától, mely igen bonyolultnak tűnik, egy garanciával rendelkező komplett rendszert kínálnak. Ez azt is jelenti, hogy adatgyűjtő szoftver is tartozik hozzá, nem kell annak megírását a felhasználónak magára vállalnia.

Ez egyúttal az anyagi vonzatát is jelentősen megnöveli, nagyságrendileg 15 000 € környéki beszerzési árral lehet kalkulálni.

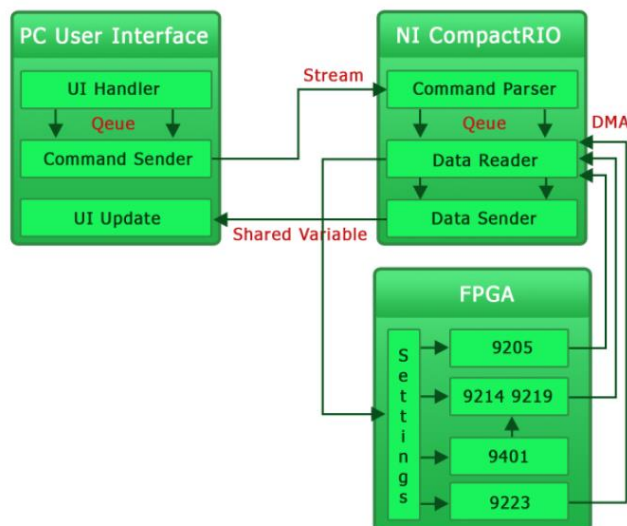
Megvalósított TJ100 mérőpadok

A közép-európai régióban eddig kettő TJ100 laboratórium épült, egyik a Brnoi Honvédelmi Egyetemen, a másik pedig a Kassai Műszaki Egyetemen. Az előbbiről egy cikkben is beszámoltak a fejlesztők [17], a másik esetben csupán szóban volt lehetőségem az építést, üzemeltetést végző kutatókkal egyeztetnem.

A brnoi TJ100 mérőpad ([17] nyomán)

A mérőpad alapvetően a gyári berendezésen alapul, viszont a mérő-adatgyűjtő rendszer, mely a szenzorok adatait feldolgozza, már saját összeállítású, melynek architektúráját a 8. ábra mutatja. Amint az látható, komplex architektúrával rendelkezik a különböző mintavételezési frekvenciájú változók elkülönített mérése érdekében. A központi egység egy hagyományos személyi számítógép, mely négy képernyőn tudja a mért adatokat valós időben megjeleníteni, továbbá az eredmények rögzítéséért is felelős. Ez a számítógép 1 gigabit/s sebességű Ethernet hálózaton keresztül kommunikál a mérő-adatgyűjtő komplexum vezérlési feladatait ellátó National Instruments (NI) CompactRIO (cRIO) 9081 típusú egységgel, mely 8 kártyás foga-

dóegységet is tartalmaz a különböző feladatokra szolgáló A/D kártyák számára. Továbbá tartalmaz egy Spartan-6 LX75 FPGA (Field Programmable Gate Array, a felhasználás helyén programozható logikai kapumátrix) integrált áramkört, mely az egyedi időzítések, vezérlések és adatfeldolgozás lehetőségét kínálja. Az integrált közvetlen memória-hozzáférés (Direct Memory Access, DMA) kiemelten fontos a nagy mennyiségű adat valós idejű átvitelében.



8. ábra A brnoi mérő-adatgyűjtő rendszer architektúrája [17]

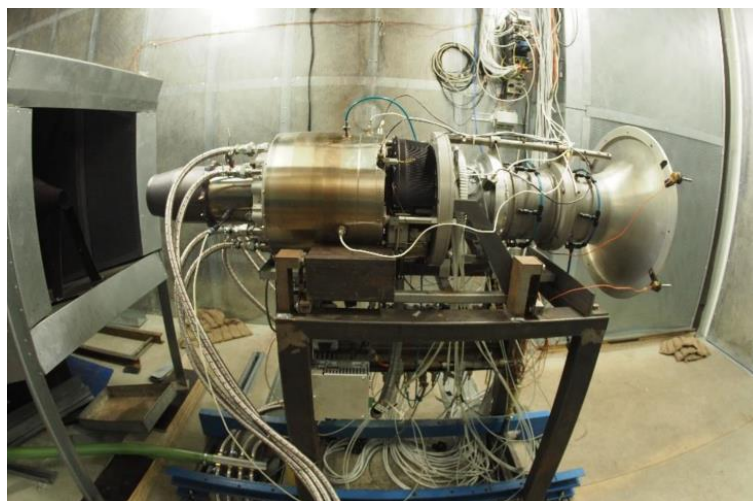
Ezen felül az alap konfigurációban öt különböző adatgyűjtő bővítőkártyát alkalmaznak:

1. Az első egy 32 csatornás, 16 bit felbontással és összesített 250 kS/s mintavételezési sebességgel rendelkező NI9205 modul, nyomástávadók és a tüzelőanyag-átfolyásmérő jeleinek vételére.
2. A hőelemek jeleit egy 16 csatornás, 24 bit felbontású, csatornánként 70 minta/másodperc sebességű NI9214 modul dolgozza fel.
3. A tolóerőt egy hídkapcsolású erőmérő cella szolgáltatja, melynek jele a 4 csatornás NI9219 univerzális híd-erősítőbe csatlakozik, mely 24 bit felbontással és csatornánként 100 minta/másodperc sebességgel rendelkezik.
4. A negyedik modul egy 8 csatornás NI9401, mely digitális impulzusok mérését teszi lehetővé, azaz fordulatszám-érzékelést lehet vele megvalósítani.
5. Az utolsó modul egy NI9223, mely ± 10 V tartományban 1 MS/s sebességre képes, ezzel nagysebességű nyomásmérést terveznek (pl. kompresszor pompázs terén).

Érdeemes még megjegyezni, hogy mindezen túl RS232 kommunikációval zajlik az olyan lényegében statikusnak tekinthető paramétereknek a rögzítése, mint a környezeti nyomás és hőmérséklet, valamint a páratartalom.

Az újabb fejlesztések során bekerült egy további NI9237 adatgyűjtő a további gyors nyomás-érzékelők számára, valamint egy NI9234 három gyorsulásmérő és egy mikrofon számára [18].

A kiépített rendszer igen fejlett, valós idejű mintavételezésre, így tranziens folyamatok feltárására is tökéletesen alkalmas, a probléma, hogy ez a rendszer a NI honlapján megadott árak alapján közelítőleg (a gyári mérőpadon felül) 20 000 € összeget igényel.

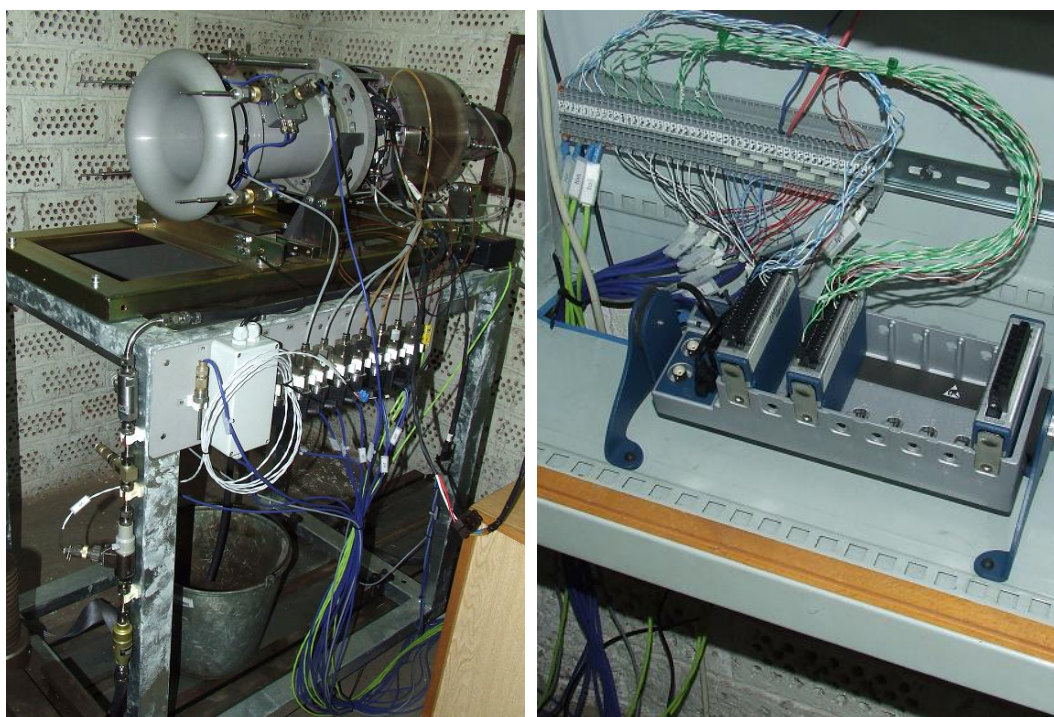


9. ábra A brnoi TJ100 mérőpad [18]

A kassai TJ100 mérőpad

A Kassai Műszaki Egyetem Repülőmérnöki Karán a Repülőgép Hajtóművek Intelligens Szabályozórendszerei Laboratórium (LIRSLM, Laboratórium inteligentných riadiacich systémov leteckých motorov) birtokában van egy TJ100 mérőpad, mely szintén a gyári fékpadon és a vele szállított szenzorokon alapul, és a brnoi megoldáshoz hasonlóan saját összeállítású mérőrendszert tartalmaz, ez viszont egy szerényebb költségvetésű rendszer.

A NI CompactDAQ rendszerét alkalmazzák, mely teljesítményben nem éri el a cRIO képességeit, de azonos modulok alkalmazhatóak, és leszámítva a kiemelten nagy mintavételezési sebességeket (>100 kS/s) és a valós idejű adattovábbítást, közel azonos végeredményre juthatunk. A mérsékelt képességekből fakadóan a rendszer kiépítési költsége nagyságrendileg fele a cRIO alapú adatgyűjtőnek. A kiépített rendszer elemeit az 10. ábra mutatja.



10. ábra A kassai mérőpad és a mérő-adatgyűjtő egység (a szerző fényképei)

ÖSSZEFOGLALÁS

Végeredményben megállapítható, hogy a megvizsgált négy különböző megoldás bármelyike alkalmazható a kutatási munkában, mivel mindegyik biztosít lehetőséget a vizsgálni kívánt paraméterek rögzítésére. Az anyagi oldalon igen jelentős eltérések tapasztalhatók a vizsgált összeállítás képességeinek függvényében.

A meglévő rendszer átalakítása mutatkozik a legköltséghatékonyabb változatnak, melyben a már meglévő adatgyűjtő rendszerben a szenzorok bővítését és új kezelőprogram létrehozását kell csupán megvalósítani. Egy új adatgyűjtő beszerzése még szintén elenyésző a további lehetőségek bekerülési költségeihez képest, ami javíthatja a rendszer képességeit, miközben nem igényel számottevő anyagi ráfordítást. A vezérlőszoftvert a felhasználó alakítja ki, amely így teljes mértékben idomulhat a kívánalmaknak megfelelően, azonban természetesen némi többletmunkát jelent.

A gyári mérőrendszer olyan kész megoldást kínál, melyben tulajdonképpen felhasználásra kész rendszert kaphat a vevő.

Ha komolyabb, erőforrás-igényes feladatokat is szeretnénk végrehajtani, akkor a gyári mérőpad szenzorrendszerét vagy a NI compactDAQ vagy a NI compactRIO rendszereket érdemes kialakítani, azonban ezek nem rendelkeznek gyári vezérlőszoftverrel, azt a felhasználónak kell létrehoznia.

Végül érdemes megemlíteni azt a lehetőséget is, amikor pl. NI compactDAQ mellé saját összeállítású érzékelőket alkalmazunk, ez magában hordozza a rugalmas bővítés lehetőségét, nem kell feltétlenül a gyári kialakítás keretein belül megmaradni.

Az is megállapítható, hogy mindegyik rendszer magában hordozza a későbbi oktatási berendezésként történő alkalmazást, bár a gyári rendszer bővítése korlátozott, de nem lehetetlen, ezért inkább az olyan megoldások közül volna célszerű választani, mely az egyszerűbb bővítetőséget is biztosítja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BICSÁK György, SZIROCZÁK Dávid, Dr. ROHÁCS Dániel: Changes in Aerospace Development Process Trends. In: Rolandas Makaras, Robertas Keršys, Rasa Džiaugienė (szerk.), Proceedings of 20th International Scientific Conference Transport Means 2016.. 1159 p., Juodkrantė, Litvánia, 2016.10.05-2016.10.07. pp. 528-535.
- [2] Foroozan ZARE, VERESS Árpád: Derivation and Application of a New Equation for Design and Analysis of Triple Spool Mixed Turbofan Jet Engines with Verification. Acta Polytechnica Hungarica, ISSN 1785-8860, vol. 13 (2016), issue 6, pp. 147-162, DOI: 10.12700/APH.13.6.2016.6.8
- [3] VERESS Árpád, BICSÁK György, ROHÁCS Dániel: Pressure Loss and Flow Uniformity Analysis of Baseline and Redesigned Engine Inlet Duct for a Small Turboprop Aircraft. In: Czech Aerospace Proceedings, 2016/1, pp. 3-9.
- [4] BABURIN Róbert, BICSÁK György, JANKOVICS István, Dr. ROHÁCS Dániel: Using UAVs in Education to Support the Development of Engineering Skills. In: The Proceedings of the First International Scientific Workshop "Extremal and Record Breaking Flights of the UAVs and the Aircraft with Electrical Power Plant" ERBA 2013, konferencia helye, ideje: Moszkva, Oroszország, 2013.08.23. 12 p.
- [5] Michael PALOCZ-ANDRESEN: Decreasing Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions in Transportation. Springer, Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-11975-0, DOI 10.1007/978-3-642-11976-7
- [6] J. L. H. P. SALLEVELT, J. E. P. GUDDE, A. K. POZARLIK, G. BREM: The impact of spray quality on the combustion of a viscous biofuel in a micro gas turbine. Applied Energy 132 (2014), pp. 575-585, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.07.030

- [7] Dries VERSTRAETE, Carlos BOWKETT: Impact of heat transfer on the performance of micro gas turbines. *Applied Energy* 138 (2015), pp. 445-449, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.075
- [8] PÁSZTOR Endre, BENEDA Károly: A TKT-1 kisméretű, oktatási és kutatási célú gázturbinás sugárhajtómű első tíz éve. *REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK* 2015:(3) pp. 117-132. XVIII. Magyar Repülés-tudományi Napok. Budapest, Magyarország: 2015.12.03 -2015.12.04.
- [9] AILER Piroška: Mathematical modeling of a low-power gas turbine engine and its control system. In: *CD Proceedings 22nd International Congress of Aeronautical Sciences*. Konferencia helye, ideje: Harrogate, Egyesült Királyság / Anglia, 2000.08.27-2000.09.01.pp. 1-7.
- [10] BENEDA Károly: Modular Electronic Turbojet Control System Based on TPR. *ACTA AVIONICA* 17:(31) Paper 1. 14 p. (2015) ISSN 1339-9853
- [11] BENEDA Károly: Development of a modular FADEC for small scale turbojet engine. In: *SAMI 2016: IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*. Konferencia helye, ideje: Herlany, Szlovákia, 2016.01.21-2016.01.23. New York: IEEE, 2016. pp. 51-56. (ISBN:978-1-4673-8739-2; 978-1-4673-8740-8)
- [12] TECHNO-CONTROL: Dokumentációs lista a ZMNE részére szélcsatorna mérő-adatgyűjtő rendszerről. Budapest, 2006.
- [13] ADVANTECH: PCL-1710L mérő-adatgyűjtő kártya adatlap. A <http://advdownload.advantech.com/productfile/Downloadfile1/1-13L5V9R/USER%20MANUAL%20FOR%20PCI-1710U.PDF> (2017-02-20)
- [14] Z. KATOLICKÝ, B. BUŠOV, M. BARTLOVÁ: Turbojet Innovation and TRIZ. 16th International Conference on Mechatronics, pp. 16-23, 3-5 Dec. 2014. doi: 10.1109/MECHATRONIKA.2014.7018230
- [15] PBS VELKÁ BITEŠ: Test bench for turbojet engine TJ100A-Z. Operation and maintenance manual. Brno, 2012.
- [16] TOLNAI András: TKT-1 típusú sugárhajtómű rezgésdiagnosztikai rendszerének kiépítése. MSc diplomaterv, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2014. Konzulens: Beneda Károly, külső konzulens: dr. Szabó József Zoltán.
- [17] Jakub HNIDKA, Jiri PECINKA: Measurement automation for small jet engine testing. 2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), pp. 29-34, doi: 10.1109/SAMI.2016.7422977
- [18] Jiří PEČINKA: Small Gas Turbine Engine Test Cell DAQ System. *NI Case Studies* – megjelenés alatt.

SELECTION OF DATA ACQUISITION SYSTEM FOR A MICRO GAS TURBINE TEST BENCH USED IN THE RESEARCH FOR ALTERNATIVE FUELS

The various gas turbine engines widely spread in aviation are also prone to the diminishing resources of fossil fuels. There were several researches regarding alternative fuels, present investigation tries to look further and does not only focuses on changes in thermodynamic and emission properties of the gas turbine itself, but tries to create an insight on system level differences like operation, service, etc. Nevertheless, the primary goal is to identify the changes of gas turbine working process, and for this reason a small gas turbine test bench is to be produced. The goal of the present article is to provide an overview of the selection of data acquisition system, with special emphasis on the planned usage beyond the reach of the research as an educational equipment.

Keywords: *gas turbine engine, alternative fuel, jet engine, data acquisition system, LabVIEW, micro gas turbine*

Dr. Beneda Károly (PhD)
adjunktus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Vasúti
Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

kbeneda@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Beneda Károly (PhD)
Assistant professor
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transportation Engineering and Vehicle
Engineering, Department of Aeronautics, Naval Ar-
chitecture and Railway Vehicles
kbeneda@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Dr. Rohács Dániel (PhD) egyetemi docens Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	Rohács Dániel (PhD) Associate professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles drohacs@vrht.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417
Dr. Kavás László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527	Kavás László (PhD) Associate Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527
Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861	Óvári Gyula, CSc Professor National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Institute of Military Aviation Department of Aircraft And Engine ovari.gyula @uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861

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

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



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-08-0376_Beneda_Karoly_et_al.pdf

Szilágyi Dénes

SZÁMÍTÓGÉPES TELJESÍTMÉNYANALÍZIS HELIKOPTER ÜZEMELTETÉSHEZ 1. TELJESÍTMÉNY OSZTÁLYBAN

Felgyorsult és információbőséggel rendelkező világunkban az információk gyors feldolgozási lehetősége kulcsfontosságú. Így van ez a repülések tervezésének területén is. A nagy utasszállító gépek esetén évtizedes múltra tekintenek vissza a navigációs és teljesítmény adatbázist egyben kezelő kitűnő alkalmazások, melyek még a fedélzeten is rendelkezésre állnak (FMCS¹). A kisebb légitársaságokat kisebb darabszámban gyártók általában ezt a lehetőséget nem biztosítják. Különösen így van ez a helikopterek esetén. Ez a cikk egy többhajtóműves helikopter teljesítmény analíziséhez kifejlesztett alkalmazást ismertet, amely jól használható az egyre kitűnőbb felhő alapú navigációs alkalmazások kiegészítéseként.

Kulcsszavak: Teljesítmény analízis, helikopter, 1. teljesítmény osztály, hajtóműhiba, akadálymentesség, emelkedési profil, teljesítmény által korlátozott tömeg.

BEVEZETÉS

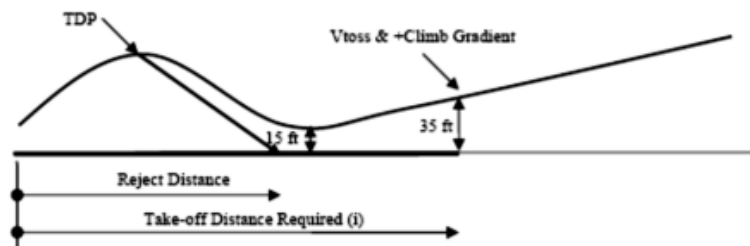
A kereskedelmi műveleteknél az üzemeltetésre vonatkozó uniós szabályozások részletesebben taglalják az alkalmazható/alkalmazandó eljárásokat. Az Európai Unióban és az Amerikai Egyesült Államokban is úgy alakítják ki a légitársaságokra vonatkozó típusalkalmassági követelmény-rendszert, hogy az teljes mértékben igazodjon azok üzemeltetésére vonatkozó követelmény rendszerekhez. Így a 965/2012 EK rendelet és a hozzá az EASA² által az értelmezést segítő kiadott útmutatók komplex repülés végrehajtási eljárásokat tartalmaznak többek között az 1. teljesítményosztályban üzemelő helikopterekre is. Az 1. teljesítmény osztályban úgy lehet üzemelni, hogy kritikus hajtóműegység meghibásodása esetén a helikopternek képesnek kell lennie a megszakított felszállásra rendelkezésre álló felületen a kényszerleszállás végrehajtására illetve a repülés folytatására, attól függően, hogy a meghibásodás hol és mekkora sebességnél következett be. A rendelkezésre álló és a szükséges teljesítmény különbsége a teljesítmény felesleg. Ha a helikopter hagyományos farokrotoros kivitelű és két hajtóműves (3 hajtóműves gépek elég ritkák), akkor egy hajtómű meghibásodása a rendelkezésre álló teljesítmény legalább felének elvesztését jelenti, főleg akkor, ha az eredeti repülési állapotot fent kell tartani. (Ez utóbbira csak a legújabb előírásoknak megfelelő gépek képesek és rendszerint azok sem a maximális (szerkezeti) felszállótömeggel. A legtöbb géppel súlylédni lehet csak ilyenkor.) Ha például a vontatási teljesítmény és így a főrotor reakciónyomatéka sem csökkenhet számottevően, akkor az annak kiegyensúlyozásához szükséges nyomaték sem. Ebből következik, hogy a farokrotor hajtásra ebben az esetben közel akkora teljesítményt kell fordítani a sokkal kevesebb rendelkezésre álló teljesítményből. Mivel a szükséges teljesítmény a sebességgel jelentősen változik (Pénaud-diagram), ezért ilyen esetben is van kirepülhető sebesség tartomány,

¹ FMCS: Flight Management Computer System – A navigációs és a teljesítmény adatokat egyben kezelő, repüléstervezésre, monitorozásra és a repülés vezérlésére alkalmas rendszer.

² EASA: European Aviation Safety Agency – Európai Repülésbiztonsági Ügynökség az EU polgári légiközlekedési hatósága, melynek a nemzeti légiközlekedési hatóságok az alárendeltségébe tartoznak.

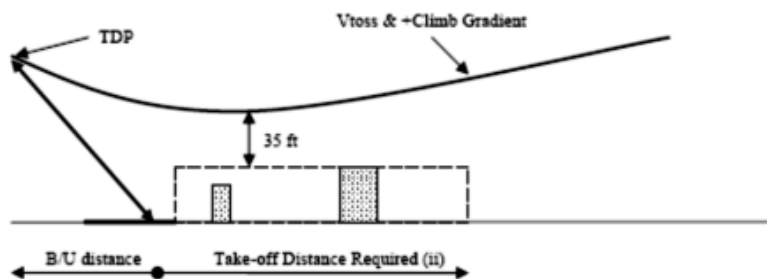
amely azonban távolról sem teszi lehetővé a függeszkedést, illetve a maximális sebesség kirepülését (nagyjából a V_{NE} ³ 20–30%-ra tehető). Főleg a fel és leszállás teljesítmény igénye a legnagyobb és ekkor a legnagyobb a hajtóművek igénybevétele is. Ebből következik, hogy ezekben az állapotokban fokozott a hajtóműhiba veszélye. Adódik tehát egy sebességtartomány, amelynek az alja zérus a felső határa pedig az ún. V_{TOSS} ⁴. A nagyméretű profílozott függőleges vezérsíkkal rendelkező gépek esetén a V_{TOSS} kisebb lehet a nem ilyen kialakítású gépekhez viszonyítva, mert a farokrotor teljesítmény igényét ez a kialakítás csökkenti. Ebben a sebességtartományban egy hajtóműhiba esetén csak a kényszerleszállás lehetősége marad. Pontosan ezért is írják elő az üzemeltetési szabályok, hogy vagy olyan eljárást kell követni, amellyel pontosan a felszállás helyére vissza lehet szállni (1. ábra), vagy lenni kell egy viszonylag nagyobb kiterjedésű sík területnek, amely biztosítja a felgyorsulást V_{TOSS} értékre illetve onnan a lelassítást és a leszállást annak a veszélye nélkül, hogy a légi-jármű súlyosan megsérülne (2. ábra).

Clear Area take – off



1. ábra Felszállás tiszta területről [1]

Helipad take-off



2. ábra Felszállás „helipad”-ról [1]

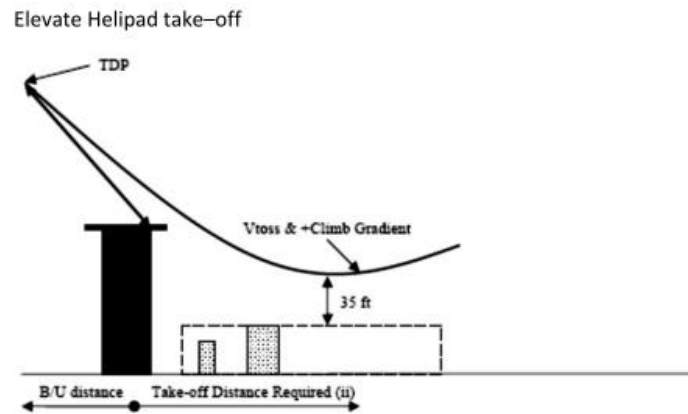
Az ábrákból látható, hogy minden esetben meghatározható egy pont a TDP⁵ amely elérése után a helikopternek van annyi helyzeti energiája amelynek egy része teljesítmény csökkenés esetén mozgási energiává alakítható, biztosítva ezzel a V_{TOSS} elérését és az akadálymentességet. Repülésvégrehajtási és teljesítmény szempontból a „helipad” eljárás a nehezebb – széllel szemben,

³ V_{NE} : Never Exceed Speed – Az a műszer szerinti repülési sebesség, melynél nagyobbat nem lehet kirepülni stabilitási és szilárdsági okokból.

⁴ V_{TOSS} : Take-off Safety Speed – Az a műszer szerinti repülési sebesség, melynél a szükséges teljesítmény már akkora, hogy egy hajtómű által biztosított rendelkezésre álló teljesítménnyel a repülés biztonságosan folytatható.

⁵ TDP: Take-off Decision Point – Felszállási elhatározási pont. Az a pozíció, amely elérése után a helikopter már képes hajtóműhiba esetén felgyorsulni V_{TOSS} sebességre. E pont előtt csak a kényszerleszállás lehetséges.

hátra tolatva (B/U^6) kell elérni a TDP-t – és általában ez az eljárás azonos körülmények (H_p^7 , OAT^8) esetén csak kisebb felszállótömeggel hajtható végre a tiszta területhez képest. Az eljárás előnye az, hogy a helikoptert ugyan arra az előkészített felületre kell visszavezetni ahonnan felszállt, ellentétben a tiszta terület pl. teherbírás miatti inhomogenitásával. A „helipad” eljárás további előnye a tiszta területtel szemben a nagyságrenddel kisebb helyigény, ami az esetek jó részében csak ezt az eljárást teszi lehetővé, különös tekintettel arra, hogy a helyből le és felszálló képességet alapvetően ilyen helyeken szükséges alkalmazni, nem nagy kiterjedésű sík területeken, netán repülőtereken. A „helipad” eljárás egyik alváltozata a megemelt „helipad” eljárás (3. ábra), amely egy kicsit nagyobb potenciális energia átalakítását teszi lehetővé tekintettel arra, hogy az indulási magasság alá lehet „merülni”. Ezért azonos körülmények között a két előző eljárás által korlátozott felszállótömeg értékek közé eső értékek adódnak. Ennél az eljárásnál komoly kérdés az, hogy a gép mennyivel fogja elkerülni a felszállóhelyet és mennyivel fog a felszállóhely szintje alá süllyedni. Általában ahol ilyen eljárásra van szükség, ott a magas épületek tereptárgyak miatt a szél hatását nehéz előre figyelembe venni. Ezekben a helyeken rendszerint csak előre kidolgozott be és kirepülési útvonalak vannak, amelyek nem feltétlenül felelnek meg az aktuális szél irányának, illetve a magas akadályok számottevő turbulenciát is okoznak.



3. ábra Felszállás megemelt „helipad”-ról [1]

A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ADATOK ÉS MÓDSZEREK

A gyártóknak meg kell felelniük a típusalkalmassági előírásoknak (pl. CS-29⁹ „A” kategória szükséges az 1. teljesítmény osztályban való üzemeltethetőséghez), ahol a megfelelés igazolására többek között teljesítmény adatokat kell prezentálniuk a gyártóknak ezekhez a repülésvégrehajtási eljárásokhoz. Ezeknek az eljárásoknak az a lényege, hogy az adott körülmények között (H_p ; OAT , szél, akadályok) megadják az adott eljáráshoz tartozó teljesítmény által korlátozott felszállótömeget ($PLTOM^{10}$). Természetesen a leszálláshoz is tartoznak eljárások és a hozzájuk

⁶ B/U: Back-up – Az emelkedve tolatás során hátrafelé megtett távolság. Feltétlenül meg kell határozni, mert az akadálymentesség szempontjából nagyon lényeges terület, hiszen a pilóta látóteréből kiesik.

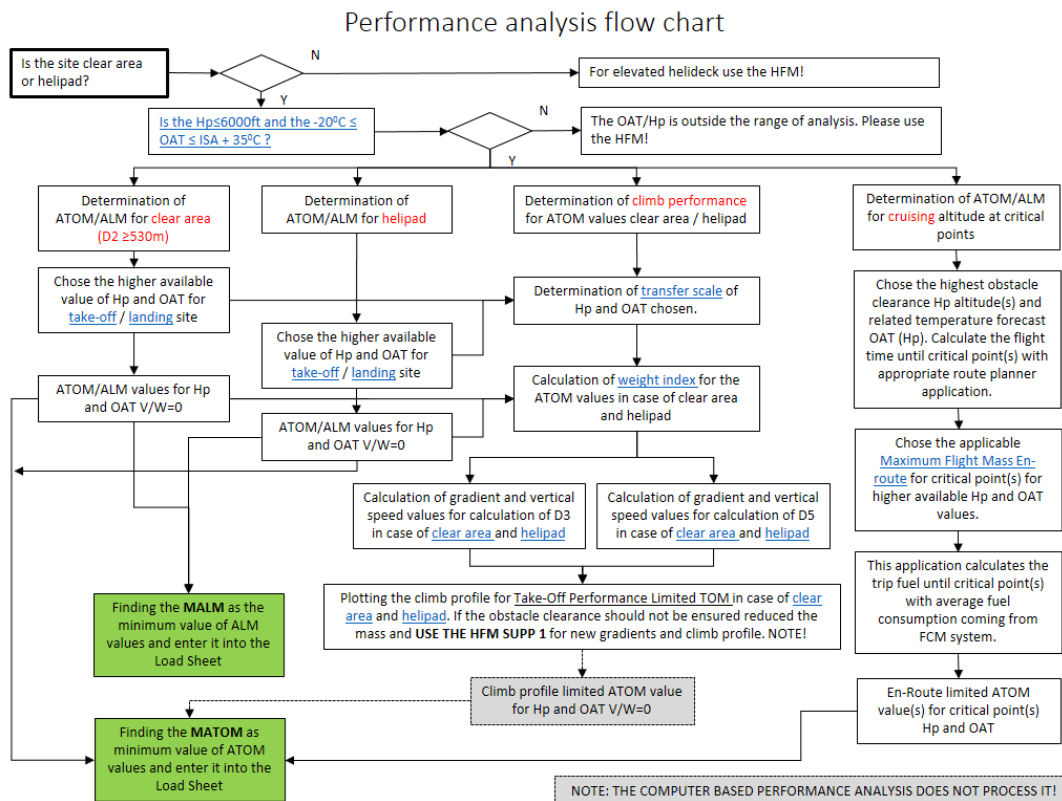
⁷ H_p : Nyomásmagasság. Az adott felszállóhely közepes tengerszintre átszámított magassága.

⁸ OAT : Outside Air Temperature – Külső léghőmérséklet. Az adott felszállóhelyen a levegő hőmérséklete.

⁹ CS-29: Certification Specification – Large Rotorcraft. Nagy helikopterekre* vonatkozó típusalkalmassági előírás. (*Bármely több hajtóműves és $MTOM \geq 3175$ kg, és vagy 9 utasüléknél nagyobb befogadó képességű helikopter).

¹⁰ $PLTOM$: Performance Limited Take-Off Mass. Teljesítmény által korlátozott felszállótömeg.

tartozó adatok is. Valamennyi eljárásban közös, hogy definiálva van egy pont az LDP¹¹ de jellemzően a PLLM¹² nagyobb vagy egyenlő, mint a PLTOM azonos körülmények között a kedvezőbb energetikai helyzet miatt. Ugyanis az LDP-nél még van valamennyi potenciális és számottevő mozgási energia, ugyanakkor a teljes felszálló teljesítményre itt még nincs szükség, hiszen süllyednie kell a gépnek. A teljes teljesítményre csak a tengelyirányú átáramlásra átállás után van szükség. Több hajtóműves gépek esetén az egy hajtóművel tartandó utazómagasság által korlátozott tömeg meghatározásához is kell rendelkezni adatokkal és módszerekkel. Ezek az adatok a típusalkalmassági berepülések során végzett nagy mennyiségű mérések eredményein alapuló diagramok formájában állnak rendelkezésre a HFM¹³-ben. A 4. ábra az AS 365N3 típusú helikopter teljesítmény számítási blokkvázlatát mutatja.



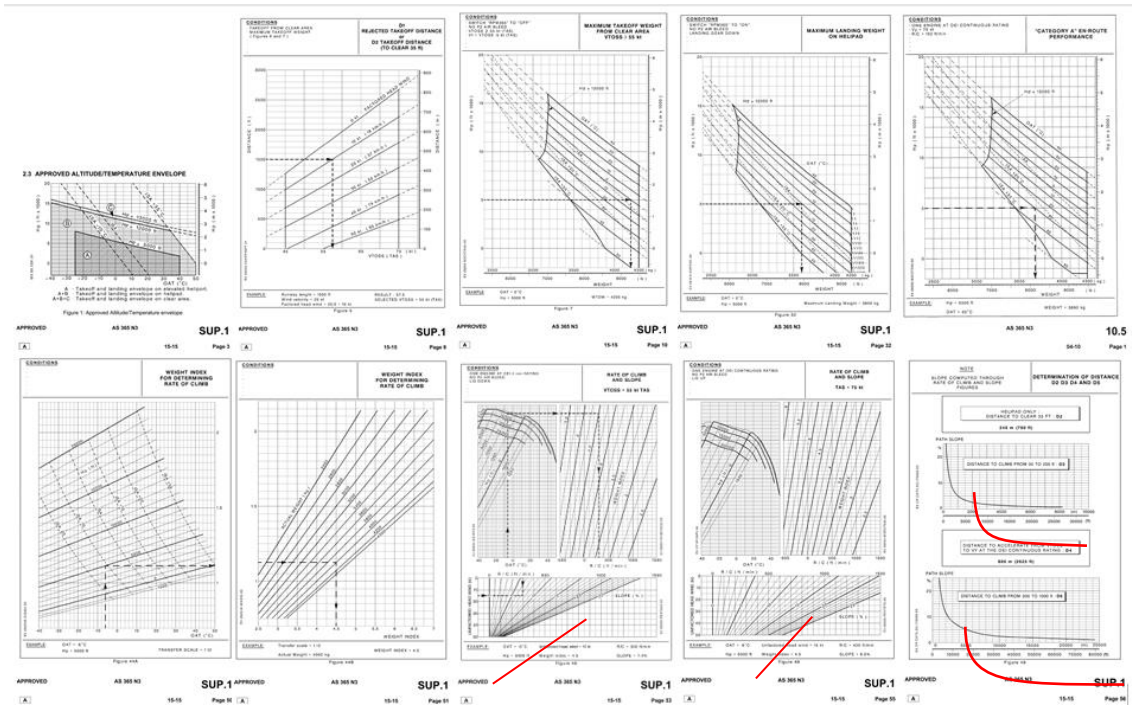
4. ábra Teljesítmény analízis blokkvázlat [2]

Ha például egy tiszta területen való felszállás után szükség van az emelkedési profil ismeretére, majd az útvonali magasságkövetelménynek meg akarunk felelni és végül végrehajtunk egy leszállást „helipad”-ra, akkor nem kevesebb, mint 10 diagramot kell használni és pl. az útvonali diagramot akár többször is.

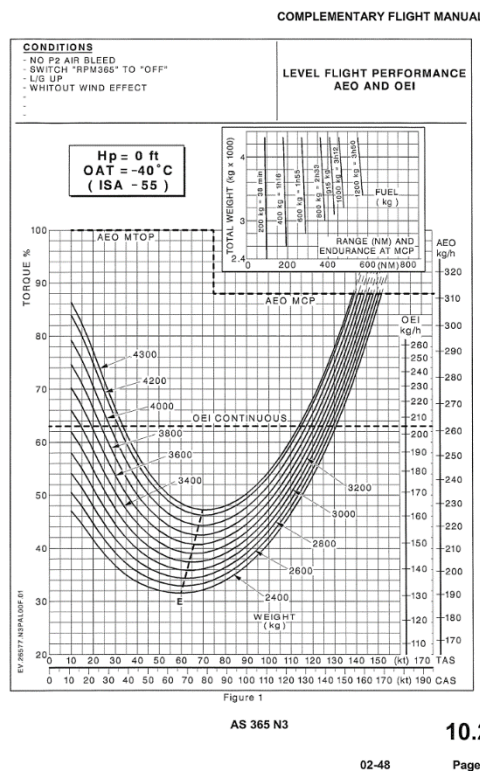
¹¹ LDP: Landing Decision Point – Leszállási elhatározási pont. E pozícióban a helikopter sebessége V_{TOSS} adott távolságban és 50 ft magasságban a leszállóhelytől. Itt még lehetséges az ártartolás. E pozícióban túl süllyedve és a leszálláshoz lassítva egy hajtóműhiba esetén a gép már csak befejezni tudja a leszállást.

¹² PLLM: Performance Limited Landing Mass. Teljesítmény által korlátozott leszállótömeg.

¹³ HFM: Helicopter Flight Manual. Helikopter repülési kézikönyv.



5. ábra Teljesítménydiagramok PLTOM/PLLM meghatározásához [3]



6. ábra Utazóteljesítmény diagram [3]

A HFM 1. kiegészítése tartalmazza az 1. teljesítményosztályú üzemeltetéshez szükséges eljárásokat és adatokat (22 diagram) mindhárom lehetséges (1–3. ábrák) felszállási formára. A leírás és az adathalmaz teljes, de a mai felgyorsult világunkban ennek a mindennapi használata gyakorlatilag lehetetlen. Nem is beszélve arról, hogy sok esetben hasonló metodikája van az

üzemanyag számításnak is. A 6. ábrán látható diagramtípusból 24 darab áll rendelkezésre különböző OAT és H_p értékekre. Ráadásul hatótávolság (Range) és légbentartózkodási idő (Endurance) nyerhető ki piros keretben látható görbékből, a gép súlyának és a betankolt üzemanyag mennyiség függvényében. Ami a gyors használatot illeti ez a módszer szintén problémás, különös tekintettel arra, ha a napjainkban már elterjedt navigációs tervező alkalmazásokat használunk a tervezéshez. Oda ugyanis alapvetően egy óránkénti üzemanyagfogyasztás érték szükséges. Felmerül tehát a kérdés, hogy a napjainkban olcsón rendelkezésre álló hordozható számítógépeken remekül futó navigációs alkalmazások kiegészítéseként meg lehetne-e oldani a teljesítmény analízist, és mivel a PLTOM értékek is meghatározásra kerülnek a tömeg és kiengyensúlyozási számítás is? Erre a kérdésre próbálok meg választ adni a következő fejezetben.

AZ ALKALMAZÁS

Az alkalmazással szembeni alapkövetelmény, hogy semmilyen formában nem térhet el a HFM-ben leírt módszertől és adatoktól és a végeredményül kapott értékeknek pontosan meg kell egyezniük a HFM-ből nyerhetőekkel. Gyakori alkalmazás, hogy egyes diagramok helyett táblázatot használnak, mely táblázat az üzemeltetés szempontjából megfelelő finomsággal kiválasztott H_p és OAT értékekkel és egyszerűsítésekkel (pl. szélcsend feltételezése, meghagyva, hogy minden le és felszállás széllel szemben történjen) kiszerezett eredményeket tartalmaz. Ezek használata már sokkal egyszerűbb és gyorsabb – akár repülés közben is lehetséges. Itt meg kell jegyezni, hogy amennyiben valamelyik bemenő jellemző a rendelkezésre álló értékek közé esik, akkor vagy a magasabb, tehát korlátozóbb érték felé kell eltérni, avagy interpolálni kell, amely azonban újabb számolási tételt jelent. Egy útvonallal kapcsolatos a felszállásra, az útvonalra (itt akár több korlátozó hely is lehet) és a leszállásra is kell használnunk egy-egy táblázatot, amely szintén további hibalehetőséget hordoz magában. Tehát célszerű lenne az egészet egyben kezelni. Ennek az alkalmazásnak a lényege, hogy a különböző repülésvégrehajtási módokhoz és repülési fázisokhoz előre meghatározott értéktáblázatokat egyben kezeli és határozza meg a legalacsonyabb PLTOM értéket a MATOM¹⁴-ot. Erre a célra a legkézenfekvőbbnek az MS-Excel program kínálkozott, melynek mobil eszközökön futó verziója is van.

Az alkalmazás elkészítésének lépései

1. Meg kell határozni az alkalmazás korlátozásait és specifikációit, pl.:
 - 1.1. Az alkalmazás szélcsendet feltételez;
 - 1.2. Csak tiszta területre és „helipad”-ra vonatkozó repülési eljárásokhoz lett kidolgozva;
 - 1.3. Az alkalmazás maximális magassága (6000 ft) és szélső hőmérséklet értékei $-20-(+50)^\circ\text{C}$;
 - 1.4. $IAS^{15} = TAS^{16}$ feltételezéssel élünk, hogy ne kelljen átszámolni a TAS-ban kifejezett állandó V_{TOSS} értékét IAS értékre. Ezzel a biztonság felé térünk el és a maximális magasságban is 5 KIAS értékű az eltérés (pl. 40 KIAS¹⁷ helyett 45 KIAS-t kell tartani a pilótának);

¹⁴ MATOM: Maximum Allowable Take-Off Mass. Maximálisan megengedhető felszállótömeg.

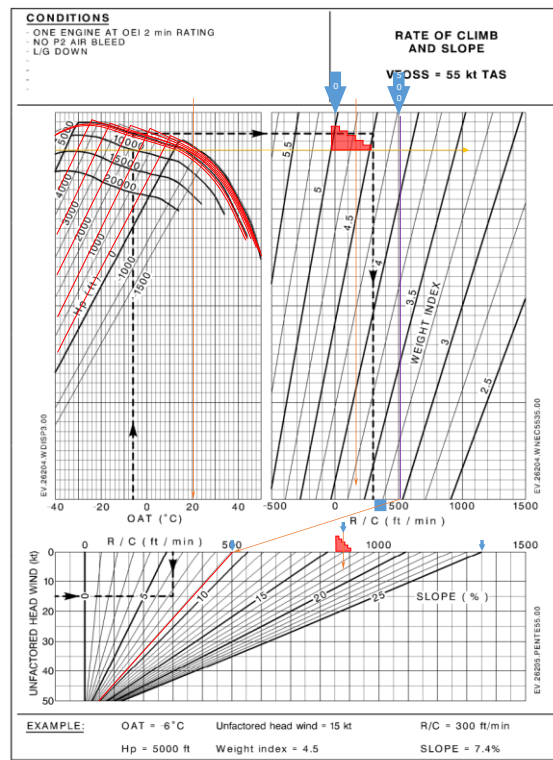
¹⁵ IAS: Indicated Airspeed. Műszer szerinti sebesség.

¹⁶ TAS: True Airspeed. Valós légsebesség.

¹⁷ KIAS: Knots Indicated Airspeed. Csomóban kifejezett műszer szerinti sebesség.

1.5. LDRH¹⁸ kalkuláció nincs külön, mert rövidebb távolság-szükséglet adódik, mint felszálláskor (TODRH¹⁹) és minden helyről fel is kell szállni.

2. El kell végezni az adattáblák meghatározását:



APPROVED AS 365 N3 SUP.1
 A 15-15 Page 53

7. ábra Emelkedési teljesítmény diagram [3]

Minden értéket ki kell szerkeszteni a HFM-nek megfelelően. Ez hatalmas munkának bizonyult. Az MS Power Point-ot használtam a szerkesztésekhez, mert az elektronikusan rendelkezésre álló diagramokat ide áthelyezve tetszőlegesen felnagyítva sokkal pontosabb szerkesztések érhetők el (7. ábra) egy A5 formátumú diagram kézi szerkesztéséhez képest. Ezen túl valamennyi eredmény és annak szerkesztése a pontos visszakövethetőség végett szintén belekerült ebbe a ppt dokumentumba. Ott ahol lehetséges volt egyszerű függvénykapcsolatot találni pl. 7. ábrán látható diagram R/C²⁰ értékei és a γ emelkedési gradiens között ott a szerkesztések helyett természetesen ezt alkalmaztam (1. táblázat)

Gradient calculation with R/C		
R/C (ft/min)	γ (%)	Tangent value
225	5	0,022222
450	10	0,022222
1105	25	0,022624

1. táblázat $\gamma = f(R/C)$ [2]

¹⁸ LDRH: Landing Distance Required Helicopter. A helikopternek 50ft magasságról a teljes megállásig szükséges leszállási távolsága.

¹⁹ TODRH: Take-Off Distance Required Helicopter. A helikopternek szükséges felszállási távolság.

²⁰ R/C: Rate of Climb. Emelkedési sebesség (varió).

A munka eredményeként 12 db a 2. táblázathoz hasonló adattábla jött létre és 4 függvénykapcsolat (5. ábra pirossal jelölt görbéi).

ATOM Clear area		VTOSS=55 KIAS				V1=50KIAS				Vy=75KIAS				Based on						
RPM365 OFF		RTODAH/TODAH ≥ 530m																		
No P2 air bleed		Wind:0																		
H _p / °C	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	22	25	27	30	32	35	37	40	42	45	
0	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4230	4150	4060	
200ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4270	4190	4120	4020
500ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4220	4140	4080	3980
1000ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4260	4190	4140	4070	3990	3900
1500ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4290	4230	4170	4110	4070	3990	3910	3820
2000ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4240	4210	4150	4100	4030	3990	3910	3830	3760
2500ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4270	4220	4170	4130	4070	4020	3960	3900	3830	3770	OAT Limit	
3000ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4270	4180	4130	4090	4050	3990	3930	3880	3820	3760	3690	OAT Limit	
3500ft	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4280	4180	4110	4070	4010	3980	3910	3870	3790	3740	3680	3610	OAT Limit	
4000ft	4300	4300	4300	4300	4300	4280	4190	4110	4020	3990	3930	3900	3830	3790	3720	3680	3610	OAT Limit		
4500ft	4300	4300	4300	4300	4280	4200	4120	4030	3960	3910	3860	3820	3770	3720	3640	3600	3530	OAT Limit		
5000ft	4300	4300	4300	4280	4200	4120	4030	3960	3880	3830	3780	3740	3690	3640	3580	3530	OAT Limit	OAT Limit	OAT Limit	
5500ft	4300	4300	4290	4210	4120	4040	3970	3880	3800	3770	3710	3670	3620	3570	3500	3460	OAT Limit	OAT Limit	OAT Limit	
6000ft	4300	4290	4210	4120	4040	3970	3880	3810	3720	3680	3630	3610	3540	3490	3430	3390	OAT Limit	OAT Limit	OAT Limit	

2. táblázat ATOM²¹ tiszta terület [2]

AS 365 N3 Loadsheet
(Revision 0 Edited by TM/GHM; 09.12.2016)

Registration: HA-BGA SN:6786 Enter loads on their location!

*CHK the latest Weighing Record Sheet in the HFM Section 6 of W&B Manual!

Enter green fields only!	mass (kg)	arm (m)	Moment
Basic Empty Mass (EEM as per HFM)*	2897,9	4,092	11858
Pilots (Max: 180 kg)	180	1,97	355
6 seats COMFORT - 3 pax front	0	2,86	0
layout (Max: 720kg) - 3 pax rear	0	4,18	0
Luggage (B3) (Max 200 kg)	0	5,29	0
FUEL A at Take-off (MAX: 573 LITER)	250		558
FUEL B at Take-off (MAX: 585 LITER)	250		771
Trip fuel (LITER: ρ=0,79 kg/L)	300		237
Estimated FUEL A at destination (L)	100		250
Estimated FUEL B at destination (L)	100		310
Take off mass (TOM) and CG	3473	3,90	13542
Zero fuel mass (ZFM) and CG	3078	3,97	12213
Landing mass (LM) and CG	3236	3,95	12773
Underload (kg) (For LMC decision)	537		

CG Envelope

mass (kg) vs distance (m)

****Max: 610kg/m²**

****Max: 295kg/m²**

****CHK cabin floor and cargo ring limits if used (HFM 6.2)!**

LIMITATIONS	
MZFM (Structural) (kg)	3998
MTOM/MLM (Structural) (kg)	4300
PLTOM (Performance CM B4)	4010
PLLM (Performance CM B4)	4300
MATOM (Max Allowable TOM)	4010

Printable, when red warnings are disappeared, and mass indicator dots are within the envelope.

Pilot-In-Command: _____

Document made by: _____

Flight ID (HFL/No.): **301/1**

Date of flight: **1.17.2017**

Signature of P.I.C. _____
In case of printed version only.

8. ábra Terhelési lap [2]

3. Le kell fektetni az alkalmazás számítási menetét (4. ábra), amelynek szigorúan igazodnia kell a HFM-hez és az üzemeltetési szabályokhoz. Az alkalmazás az alábbi módon működik:

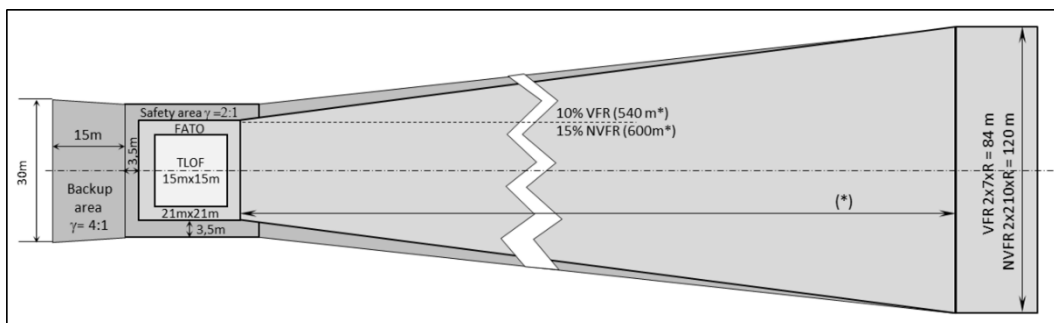
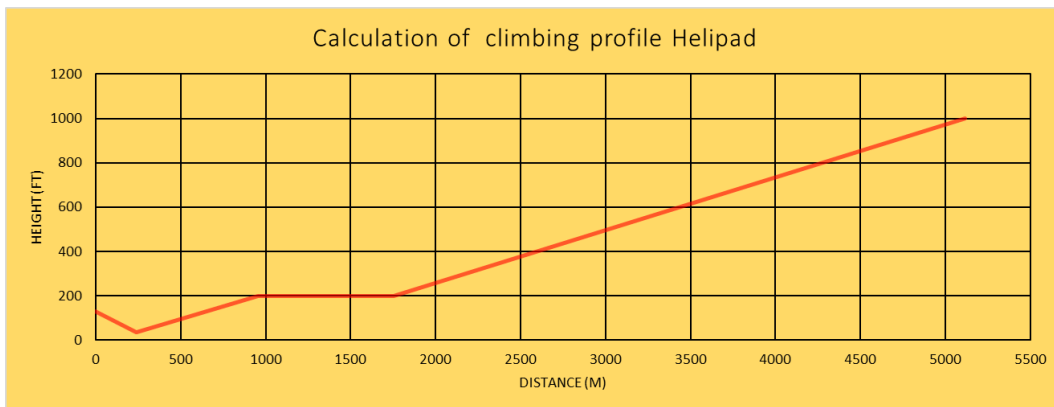
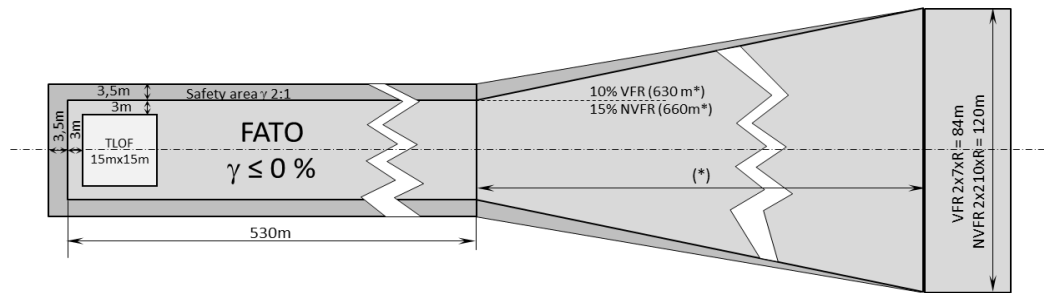
3.1. Meg kell nyitni a pilótának az Excel dokumentumot, amelyben csak a beviteli mezőkbe lehet írni, a teljes dokumentum védett. A dokumentumban 5 munkalap van:

Egy terhelési lap: A feltüntetett adatmennyiség tekintetében megfelel a kereskedelmi légi-szállítás követelményeinek. Valamennyi helyről ide érkeznek az ATOM értékek, itt kerül kiválasztásra közülük a legkisebb érték és a helikopter BEM²² és a szükséges üzemanyagmennyiség segítségével itt kerül kiszámításra az ATL²³ érték, segítve a pilótát a forgalmi

²¹ ATOM: Allowable Take-Off Mass. Megengedhető felszállótömeg, a PLTOM és az MTOM közül a kisebb.

²² BEM: Basic Empty Mass. Alap üres tömeg (a számítás alapja). A feladatra felszerelt helikopter száraz tömege.

²³ ATL: Allowable Traffic Load. Megengedhető forgalmi terhelés: Utasok, árú, csomag és nem kereskedelmi tételek is.



10. ábra Emelkedési profilok [2]

3.1.5 Egy munkalap van az útvonali teljesítmény analízishez. Itt meg kell határozni azt a magasságot az útvonal kritikus pontjain, amelyet tartani kell tudni egy hajtóművel (pl. 5NM oldaltávolságon belüli legmagasabb akadály fölött és az oda előrejelzett hőmérsékletet alapján). Ez után meg kell adnia a pilótának például egy navigációs tervezési alkalmazás segítségével, hogy mennyi repült időre van az adott hely az indulástól. Ez után az alkalmazás a fogyasztáskövető rendszerből ismert átlagfogyasztás értékkel kiszámolja a kritikus hely eléréséig szükséges üzemanyag mennyiséget, amellyel meghatározza az adott kritikus hely szempontjából korlátozott ATOM értéket (11. ábra). Ebből a lehetőségből 5 db van beépítve, tehát 5 kritikus pont / hely kezelésére képes az alkalmazás. Mint látható drift down²⁴ számítására nem alkalmas az analízis. Ez után valamennyi ATOM érték közül meghatározásra kerül a legkisebb a terhelési lapon a 3.1.1 pontnak megfelelően.

²⁴ Drift down: Lesiklás. Annak számítása, hogyan kerül el az akadályokat a légijármű, miközben az utazómagasságról lesüllyed az egy hajtóművel már tartható magasságra.

1 st critical point	
H _p necessary	4000 ft
OAT at H _p	20 °C
ACM	4020 kg
Flight time	0,5 h, hh
Fuel necessary	143 kg
ATOM1**	4163 kg
*Please enter the green fields only!	
** Choose the ATOM or N/A as necessary!	

11. ábra Útvonali teljesítmény analízis [2]

Ha minden számítás kész az egész munkafüzetet el kell mentenie a pilótának az adott feladat azonosítójával (pl. az adott repülési lap sorainak száma) együtt a modil eszközön illetve fel kell töltenie a szervezet internetes tárhelyére és így az archiválási kötelezettség is könnyen megoldható.

VALIDÁCIÓ ÉS HASZNÁLATBA VÉTEL

Amennyiben egy ilyen alkalmazást „hivatalosan” is használni akarunk először validálni kell, majd a használatba vétel után gondoskodni kell az időszakonkénti ellenőrzésekről. A validáció a reprezentatív mennyiség hagyományos módszerrel történő meghatározása és az alkalmazás által szolgáltatott értékek összehasonlítása alapján lehetséges. Jelenleg a szakhatóság állásfoglalása alapján eredménymátrixonként minimálisan 10 érték összehasonlítására van szükség (3. táblázat). Amennyiben az eltérések nem haladják meg az 0,5%-ot, akkor a módszer használható. Ellenőrizni kell egy próbaidőszakban az alkalmazás előírt működését, funkcióinak helyességét is (minimumkeresés, figyelmeztető funkciók, védelem stb.).

EN-ROUTE Performance Vy=75Kt; R/C=150"/min			
Hp C°	Value	CHK valeu	Differance%
1500 0	4300	4300	0,00%
1500 35	4230	4230	0,00%
1500 40	3990	3995	0,13%
3500 10	4280	4275	-0,12%
3500 20	4110	4110	0,00%
3500 30	3920	3925	0,13%
3500 40	3690	3690	0,00%
4500 0	4290	4290	0,00%
4500 10	4120	4125	0,12%
4500 20	3960	3970	0,25%
4500 30	3770	3770	0,00%
4500 40	3550	3550	0,00%

2. táblázat Összehasonlító táblázat [4]

A módszer időszakonkénti ellenőrzését indokolja, hogy a kiindulási adatbázis változhat (pl. cserelapozzák a HFM-et), változhatnak az üzemanyag fogyasztás adatok, változhat a BEM és a hozzá tartozó súlyponthelyzet stb. Ezért a teljes ellenőrzést félévente – az FCMS frissítéshez igazítva – tervezzük végrehajtani egy előre kidolgozott 28 kérdést tartalmazó lista alapján. Az ellenőrzések szerves részét képezik az éves minőségügyi felülvizsgálati tervnek. Külön rendelkezés, hogy a rendszer használata során történő rendellenes működéséről a repülésbiztonsági vezetőt is értesíteni kell.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GM1 CAT.POL.H.205(b)(4) Take-off. Annex to ED Decision 2014/015/R (24.04.2014)
- [2] Dr. Szilágyi Dénes Class 1 Performance analysis HA-BGA AS365 N3 ppt dokumentum 2017.01.25
- [3] Airbus Helicopters AS 365 N3 HFM Supplement 1 2016.12.09
- [4] Pálóczy Béla Validation CHK of Performance analysis application for AS 365N3 S/N 6786. 2017.01.30

COMPUTER BASED PERFORMANCE ANALYSIS FOR HELICOPTER OPERATION IN PERFORMANCE CLASS 1

In our recent accelerated and information abundance world fast processing of information is a key opportunity. The situation is same in case of flight planning also. Applications managing the navigation and performance databases together have decade of history in case of large aeroplanes and are available on board too (FMCS²⁵). Manufacturers of small aircrafts having less production number generally do not supply such solutions. This is particularly the case at the helicopters. This paper describes a performance analysis application developed for multi-engine helicopter which is well usable in addition to the increasingly fine cloud-based navigation applications also.

Keywords: Performance analysis, helicopter, performance class 1, engine failure, obstacle clearance, climbing profile, performance limited mass

Dr. Szilágyi Dénes (PhD)
főiskolai docens
Nyíregyházi Egyetem
Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék
szilagyi.denes@nye.hu
<http://mmfk.nyf.hu/kit/index.htm>
orcid.org/0000-0001-6055-0010

Dénes Szilágyi (PhD)
college associate professor
University of Nyíregyháza
Department of Transportation and Infotechnology
szilagyi.denes@nye.hu
<http://mmfk.nyf.hu/kit/index.htm>
orcid.org/0000-0001-6055-0010



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-09-0367_Szilagyi_Denes.pdf

²⁵ FMCS: Flight Management Computer System

Dávid Molnár, Árpád Veress

IMPLEMENTATION AND UTILIZATION OF INVERSE DESIGN METHOD FOR STATIC PRESSURIZE IN CASCADE

Today, beside the continuously increasing scientific coverage of CAE¹, it is widely spread in the all fields of the industry. The basic reason of this is that significant cost, capacity and time can be saved by the simulation driven product development. The CFD² is a part of the CAE, and its effectiveness can be increased more by optimization algorithms. One of these technologies is the inverse design method, in which a predefined, in specific sense so called optimal flow condition has been imposed to recover the geometry belongs to that state. An inverse design method, developed at BME³ Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, has been used in the present work for investigating the way of how the static pressurise and mass flow rate can be maximised in a cascade on such a way that the flow on the suction side of the profile to be close, but certain safe distance far from the separation. The effect of the blade pitch is also included in the present investigation.

Keywords: CFD, inverse design method, separation, optimization, cascade

INTRODUCTION

Computer modelling is used worldwide in different areas; many researches are in progress based on this technique [1][2][3][4]. In the past years, thanks to the advancement of the technology the computers achieved large computing capacity which made possible quick completion of huge number of calculations in short period of time. This made possible the development of numerical methods further.

CFD is a contribution of the CAE which uses numerical methods and algorithms to solve problem related to fluid mechanics. As a result the properties such as density, velocity, temperature and pressure of the flow can be predicted at any discretized points of the flow field. Nowadays the processes of industry, agriculture, defence, meteorology, environmental protection, space sciences and academia benefit the most.

In turbo machines with the help of this software, the properties of the flow and the emerging phenomena around a body can be studied. The opportunity is given to test the parts in a virtual environment, find missing or faulty elements which was not possible before. With these means time and cost can be saved, since the production of the optimized prototype is enough to test in practice.

The recent studies are aimed on the possibility to combine the CFD with optimization methods. At the moment the most of these methods require time and huge computing capacity, because the direct optimization methods for instance require big amount of computing results to determine the direction of the optimization and the change of the geometry. Furthermore the required number of flow solutions increase with the number of with the number of design variables [5].

¹ CAE: Computer Aided Engineering. Computer software used for engineering analysis tasks

² CFD: Computational Fluid Dynamics. A branch of fluid dynamics which uses numerical analysis to solve problems in fluid flow

³ BME: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egy. (Budapest University of Technology and Economics)

Nomenclature

Latin letters and symbols:

→ c	[m, m/s]	chord, sound speed;
→ C_p	[-]	pressure coefficient;
→ $\overline{C_p}$	[-]	pressure coefficient;
→ p	[Pa]	pressure;
→ M	[-]	Mach-number;
→ R	[J/kg/K]	specific gas constant;
→ u, v	[m/s]	axial and tangential velocity component;
→ a, b	[-]	constant used in Stratford's formula;
→ x	[-]	distance from the leading edge;
→ T	[K]	temperature;
→ U	[-]	vector of conservative variables;
→ F, G	[-]	vector of inviscid fluxes;
→ E	[J/kg]	total energy;
→ H	[J/kg, -]	total enthalpy, numerical flux;
→ W	[m]	variables of the characteristic vector;
→ V_n	[m/s]	velocity, perpendicular to the cell face;
→ t	[s]	time;
→ V_s	[m/s]	velocity, parallel to the cell face;
→ H_n	[-]	normal directional flux;
→ x, y	[m]	Cartesian coordinates.

Greek letters:

→ α	[deg]	angle of attack;
→ α_k	[-]	Runge-Kutta constant;
→ γ	[-]	ratio of specific heats;
→ μ	[Ns/m ²]	dynamic viscosity;
→ ν	[m ² /s]	kinematic viscosity;
→ ρ	[kg/m ³]	density;
→ Γ	[m]	length of the cell's wall;
→ Ω	[m ²]	control area;
→ $\lambda_n^{(l)}$	[m/s]	normal eigenvalues;
→ Δ	[-]	difference;
→ π	[-]	static pressure ratio.

Indexes:

→ x, y	axes (in the Cartesian coordinate system);
→ 0	total parameters;
→ l	flow parameters;
→ $n+1$	wall adjacent characteristic in the next time step;
→ $n-1$	wall adjacent characteristic in the previous time step;
→ $*$	wall adjacent extrapolated parameters from the interior;
→ i, j	spatial variables;

→ <i>in, out</i>	inlet, outlet;
→ <i>l</i>	local variables;
→ <i>m</i>	values for the location of the pressure increase's start;
→ <i>n</i>	variables perpendicular to the wall;
→ <i>o</i>	initial parameters;
→ <i>to, stat</i>	total, static;
→ ∞	parameters at infinite far from the investigated point.

Abbreviations:

→ BC	Boundary Conditions;
→ PBC	Physical Boundary Conditions;
→ NBC	Numerical Boundary Conditions;
→ MBC	Mirror Boundary Conditions;
→ CAE	Computer Aided Engineering;
→ CFD	Computational Fluid Dynamics;
→ MUSCL	Monotone Upstream Schemes for Conservation Laws;
→ L	left side of cell's face;
→ R	right side of cell's face;
→ Re	Reynolds-number;
→ RK	Runge-Kutta;
→ ss, ps	suction side, pressure side.

Inverse Design for Aeronautical Applications

During the inverse design method, the modification of the starting geometry is based on a set of pre-defined variables. These methods are become more attractive amongst other optimization methods because of the used fast and robust algorithms. The wall modification requires less flow solutions for inverse design than other optimization techniques. Hence, the required computer resources are lower and the inverse design is very innovative to be used in practice. However, the drawback of this method is that a goal pressure or velocity distribution must be given, which the solution of the inverse design method will correspond with. It can be difficult to define these expected distributions which will satisfy all design goals. One cannot guarantee that the prescribed distribution will not result in a mechanically wrong, unachievable geometry where the geometry intersects itself. Also even if the geometry is acceptable the outlet edges thickness can be zero, or can stay open which is not achievable in practice.

The iterative procedure of the inverse design method, at first, requires an initial geometry and a required pressure/velocity distribution along the wall to be modified. The method will modify this geometry until it reaches the goal pressure/velocity distribution. The prescribed distribution can be the goal function of an optimization technique or a solution of an industrial experience or theory for example. The iterative cycle starts with a direct analysis of the inviscid Euler solver in the present case on the initial geometry. Upon completing the convergence criteria if the target conditions are not met, new boundary condition is defined at the solid boundary to be inverse designed. The wall become open locally as inlet or outlet depends on the pressure difference between the boundary and the computational domain. The outcome is a velocity distribution along the wall which does not necessarily parallel with it. The final step of the iterative

cycle is that the wall become parallel with the local velocity vector corresponds to the new streamline of the flow field. These steps are repeated until the target distribution reached and the new geometry is available [6].

The one of the key points in fluid dynamic related engineering phenomena is that the flow may/should close, but certain distance far from the separation to minimize the losses meanwhile it is distorted as much as possible to reach design specifications if it is the case. Hence, the methods for predicting separation are described in the following chapter to be considered afterwards in the inverse design method.

SEPARATION PREDICTION METHODS

There are several existing methods for predicting separation as Goldschmied, Stratford, Head, Cebeci-Smith for instance. The accuracies of these models were studied several times. Investigations show that the operation of Goldschmied method is unreliable in certain cases, while the other three leads to similar results. The method of Stratford, Head and Cebeci-Smith are acceptable and the Cebeci-Smith is the most accurate followed by Head's method. However, Stratford's predicts the separation slightly early. Due to the suitable accuracy, robustness, simplicity and representing "the worst case" condition, Stratford method was used to determine the pressure distribution during the inverse design in the present case. The base of the Stratford method is to determine a positive pressure gradient where the boundary layer to be close, but certain safe distance far from the separation [6].

Stratford's Separation Prediction Method

A suction side pressure distribution of an airfoil is shown in Fig. 1. The pressure decreases until the x_0 point where the pressure increase starts. The pressure needs to increase until it reaches the pressure value at the trailing edge of the pressure side.

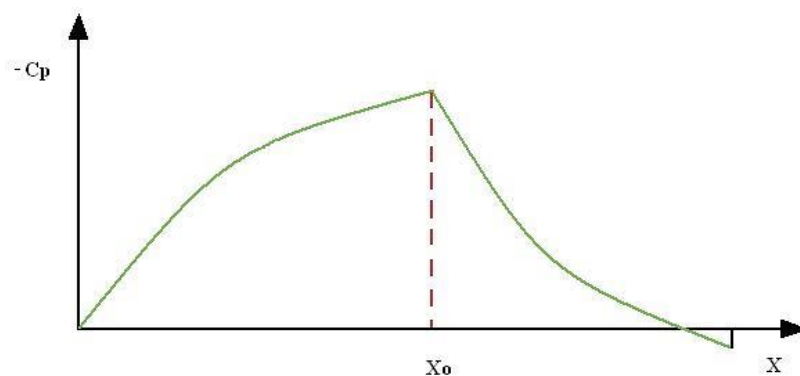


Figure 1. Pressure distribution over the equivalent Stratford plate [8]

In the Stratford's simplified model the static pressure section is followed by the pressure increase from the x_0 point as it is shown in Fig. 2.

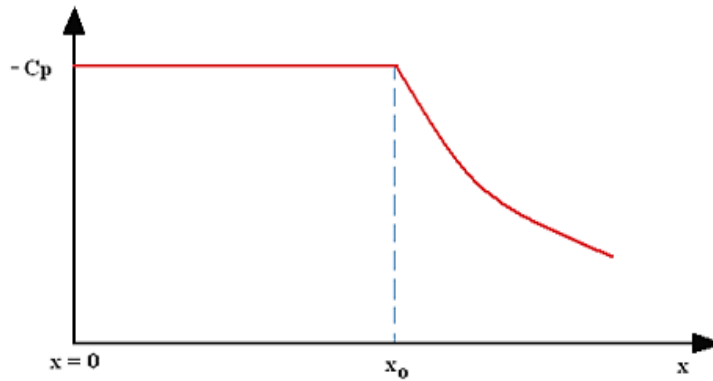


Figure 2. Stratford's simplified view of the front of the airfoil [8]

Stratford derived an empirical formula by measurement over a flat plate to predict the point of the separation in an arbitrary decelerating flow at around the Reynolds-number range $10E6$ [12]:

$$\frac{\bar{C}_p [x(d\bar{C}_p/dx)]^{1/2}}{(10^{-6} Re)^{1/10}} = S \quad (1)$$

Where the canonical pressure distribution is the following [13]:

$$\bar{C}_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho_0 u_0^2} \quad (2)$$

if $\frac{d^2 p}{dx^2} \geq 0$ then $S=0.39$ or if $\frac{d^2 p}{dx^2} < 0$ then $S=0.35$ and $\bar{C}_p < \frac{4}{7}$. x is the distance measured from the leading edge of the flat plate and:

$$Re = \frac{u_0 x}{\nu} \quad (3)$$

To calculate the dynamic viscosity Sutherland's method was used [14]:

$$\mu = \frac{C_1 T^{3/2}}{T + S} \quad (4)$$

where $C_1 = 1.458 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{ms\sqrt{K}}$ and $S = 110.4 K$.

If in the flow the pressure rise begins at the point x_0 (where the pressure is minimal and the velocity is maximal and the 0 is the subscript of the parameters belongs to that condition) the equations (1) left-hand side starts from a zero value and grows continuously. When S limiting values is reached the separation occurs.

If S is held at the limiting value of 0.39, then equation (1) forms an ordinary differential equation for $\bar{C}_p(x)$. Equation (1) shows that the flow described by it is ready to separate on every point.

The solution for equation (1) presented by Stratford follows [12]:

$$\bar{C}_p = 0.645 \left\{ 0.435 Re_0^{1/5} \left[(x/x_0)^{1/5} - 1 \right] \right\}^{2/n} \quad \text{if} \quad \bar{C}_p \leq (n-2)/(n+1) \quad (5)$$

and

$$\bar{C}_p = 1 - \frac{a}{[(x/x_0) + b]^{1/2}} \quad \text{if } \bar{C}_p \geq (n-2)/(n+1). \quad (6)$$

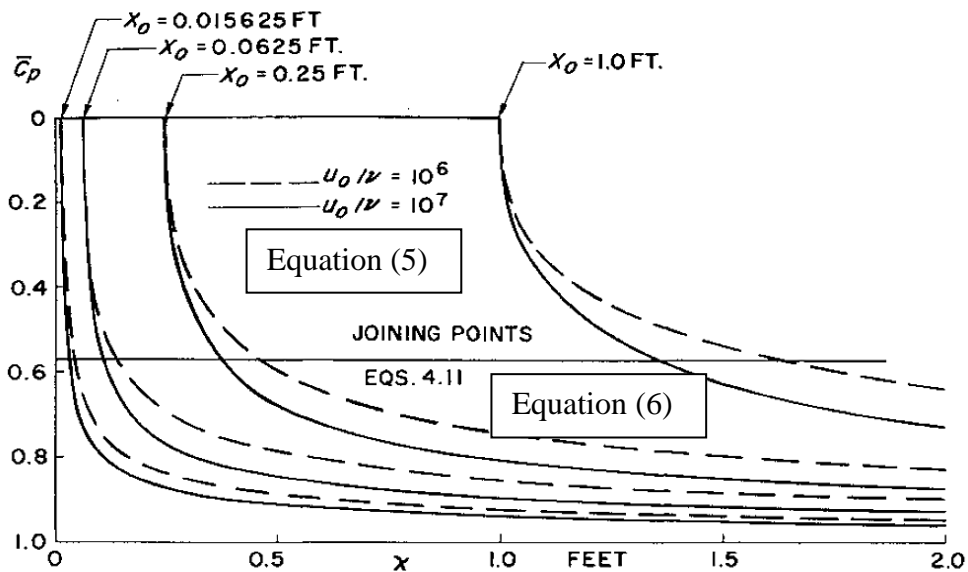


Figure 3. Stratford limiting flows at two values of unit Reynolds number [12]

In this two-part solution, x_0 is the location of the start of the pressure increase, $Re_0 = \frac{u_0 x_0}{\nu}$, x is the distance from the start of the flow, which starts as a turbulent flow over the wall. The value of “ n ” is defined as 6 by Stratford.

In the equation a and b are constants values and required so the steepness of the two curves match in the connection point.

Equation (5) describes the first section of the flow while equation (6) describes the second. The above said two equations were computed and shown.

The actually presented method is used for the determination of pressure distribution at maximum lift force for given far field conditions. The following equation is applied to determine the integral of the pressure distribution around the profile [13]:

$$\aleph(\bar{C}_p(x)) = \aleph(C_p(x)) = \int C_p(x) dx = \int \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty u_\infty^2} dx = \int \frac{p - p_\infty}{0.5 \gamma p_\infty M_\infty^2} dx \quad (7)$$

where p is the static pressure at the given location of the wall and the other variables are correspond to the free stream conditions (far upstream (total temperature and pressure) and far downstream (static pressure) of the cascade). The connection between $\bar{C}_p(x)$ and $C_p(x)$ is given by equation (8) [13].

$$\bar{C}_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho_0 u_0^2} = \frac{C_p - C_{p,0}}{1 - C_{p,0}} = \frac{\frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty u_\infty^2} - \frac{p_0 - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty u_\infty^2}}{1 - \frac{p_0 - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty u_\infty^2}} = \frac{p - p_0}{p^{total} - p_0} = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho_0 u_0^2} \quad (8)$$

The pressure coefficient at the minimum pressure (p_0) is given by:

$$C_p = C_{p,0} = \frac{p_0 - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho_\infty u_\infty^2} = \frac{p_0 - p_\infty}{0.5 \gamma p_\infty M_\infty^2} = \frac{p_0 - p_\infty}{0.7 p_\infty M_\infty^2} \quad (9)$$

where p_0 and maximum velocity u_0 are constants from the leading edge of the suction side until the start of the positive pressure gradient. The M_0 Mach number is calculated by:

$$C_p = C_{p,0} = \frac{p_0 - p_\infty}{0.7 p_\infty M_\infty^2} = \frac{1}{0.7 M_\infty^2} \left[\left(\frac{1 + 0.2 M_\infty^2}{1 + 0.2 M_0^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right] \quad (10)$$

T_0 , ρ_0 and u_0 are obtained by the energy equation of the isentropic flow and ideal gas law:

$$T_0 = T^{total} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_0^2 \right)^{-1} \quad (11)$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma-1} R (T^{total} - T_0)} \quad (12)$$

$$\rho_0 = \frac{p_0}{RT_0} \quad (13)$$

The total quantities correspond to the given operational and inlet (far field) boundary conditions. The way to determine pressure distribution starts with specifying a p_0 . The parameters belongs to that p_0 can be calculated from the equations (10)–(13) with using static downstream pressure for determining M_∞ . Next step is to find x_0 which gives back the required pressure at the trailing edge with the use of Stratford's equations (5) and (6). Stratford's limiting pressure distribution till the required pressure on the trailing edge of the blade is the output of the procedure [8].

THE DASFLOW

The DASFLOW is an in-house Euler solver developed at BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles. This software is used in the present investigation for numerical flow modelling.

Governing Equations

The unsteady 2D compressible Euler equations in Cartesian coordinate system have been considered for the mathematical model for the fluid dynamics:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F(U)}{\partial x} + \frac{\partial G(U)}{\partial y} = 0 \quad (14)$$

where $x, y \in \mathfrak{R}$ and $t \in \mathfrak{R}^+$. The conservative variables and convective fluxes are given by:

$$U = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho E \end{pmatrix}, F(U) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ \rho uH \end{pmatrix}, G(U) = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho vu \\ \rho v^2 + p \\ \rho vH \end{pmatrix} \quad (15)$$

The ρ is the density, u and v are velocity in Cartesian coordinate system and p is the static pressure. The total enthalpy and energy are given by (16).

$$H = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + \frac{u^2 + v^2}{2}, E = \frac{1}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + \frac{u^2 + v^2}{2} \quad (16)$$

The γ is the ratio of specific heats [7].

Boundary Conditions

The numerical treatment of the boundary conditions influences the convergence properties and the accuracy of the results in solving partial differential system of equations. In case of a hyperbolic equations, if N_e is the number of partial differential equations and $N_p < N_e$ is number of Physical Boundary Conditions (PBC), then $N_n = N_e - N_p$ Numerical Boundary Condition (NBC) needs to be defined for the system to be well posed. The PBC grants the existence and the unicity of the solution while the NBC grants the exit of the perturbations from the system without reflection. For these reasons the correct combinations of the NBC and PBC should be used [13].

The simplified characteristic form of the governing equations can be expressed by the outward pointing normal components of the computational cell as follows [7]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_n^{(1)}}{\partial t} + V_n \frac{\partial W_n^{(1)}}{\partial n} &= 0; \\ \frac{\partial W_n^{(2)}}{\partial t} + V_n \frac{\partial W_n^{(2)}}{\partial n} &= 0; \\ \frac{\partial W_n^{(3)}}{\partial t} + (V_n + c) \frac{\partial W_n^{(3)}}{\partial n} &= 0 \\ \frac{\partial W_n^{(4)}}{\partial t} + (V_n - c) \frac{\partial W_n^{(4)}}{\partial n} &= 0; \end{aligned} \quad (17)$$

Where n is the unit vector perpendicular to the computational cell's wall, V_n is the component of the velocity vector perpendicular to the cell wall, W_n is the characteristic variable into the direction n (the invariants of the Riemann equation) and (c) is the speed of sound. The W_n

invariants are constants on their characteristic curves. The direction of the characteristic curves, the direction of wave propagation (V_n , V_n , V_n+c , V_n-c) dependent of the V_n and the local speed of sound. On the boundaries, the number of the PBC is equal to the number of the negative eigenvalues. These conditions correspond to the input characteristics from the outside of the computational domain. The NBC becomes necessary because for the actual problem solving, conservative variables are used instead of Riemann variables. The general practice is to compute the incoming Riemann invariants by the PBCs meanwhile the outgoing ones are extrapolated from the interior of the computational domain.

The detailed description of the inlet outlet solid wall boundary conditions in theoretical manner are found in [13].

Discretization

Integrating system equation (14) over a control volume Ω which is bounded by interface Γ and applying the Gauss' divergence theorem gives [7]:

$$\frac{d}{dt} \iint_{\Omega} U d\Omega + \int_{\Gamma} \vec{H} \vec{n} d\Gamma = 0 \quad (18)$$

where n is the local outward pointing unit normal vector. $\vec{H} = F\vec{e}_x + G\vec{e}_y$ and $\vec{H}\vec{n}$ can be described as:

$$H_n = \vec{H}\vec{n} = \begin{pmatrix} \rho V_n \\ \rho u V_n + p n_x \\ \rho v V_n + p n_y \\ \rho V_n H \end{pmatrix} \quad (19)$$

where

$$V_n = \vec{V}\vec{n} = (u\vec{e}_x + v\vec{e}_y)(n_x\vec{e}_x + n_y\vec{e}_y) \quad (20)$$

Finite volume method was used to achieve a discrete form. The second integral in (18) can be replaced with the summation over the number of faces N_f of the control volume $\Omega_{i,j}$. The semi-discret form of eq. (18) can be written for the cell j :

$$\frac{d}{dt} U_j = -\frac{1}{\Omega'_j} \sum_{k=1}^{N_b} [H_n]_{j,k} \Gamma'_{j,k} = \mathfrak{R}_j \quad (21)$$

where, $[H_n]_{j,k}$ is the total inviscid flux normal to the cell interface. U_j is the vector of the conservative variables. $\Gamma'_{j,k}$ is the length of the wall k belongs to cell j . During discretization the value of $[H_n]_{j,k}$ can be characterized with a flux function: \hat{H}_n which takes into consideration the sign of the Jacobi matrices, in other words the relevant propagation directions:

$$\hat{H}_n(U^L, U^R) \quad (22)$$

The functions $\hat{H}_n(U^L, U^R)$ can be calculated by a special averaging of the left and right states of the cell face [13]:

$$\hat{H}_n(U^L, U^R) = \frac{1}{2} \{H_n(U^L) + H_n(U^R) - |\hat{D}_n(U^L, U^R)|(U^R - U^L)\} \quad (23)$$

In ideal gas – based on Roe’s work – \hat{D}_n matrix equals with the Jacobi matrix, when it is expressed as a function of ρ , \hat{u} , \hat{v} , and \hat{h}_0 variables. These variables are weighted values with the square root of the density.

Roe’s approximation method is less dissipative and closely linked with the characteristic transport, therefore this is one of the most effective Riemann-solver. It has an excellent discontinuity-capturing property including shear waves. However, this flux can produce non-physical expansion shocks, which violates the entropy conditions. This can be avoided by modifying the eigenvalues of the nonlinear fields based on Yee, as it is applied in the present case [13].

MUSCL (Monotone Upstream Schemes for Conservation Laws) approach is used for higher order spatial discretisation. It means a linear or higher order approximation of the conserved variables over the cell instead of constant ones. The mathematical representation starts with the Taylor-series expansion around the point i [13]:

$$U(x) = U_i + \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x_i} (x - x_i) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \Big|_{x_i} (x - x_i)^2 + O(\Delta x^3) \quad (24)$$

x is the spatial direction equals with the local coordinate in every direction. After discretization and integration the following equations can be written:

$$\bar{U}_{i+\frac{1}{2}}^R = U_{i+1} - \frac{1}{4} \left[(1 - \kappa) \Delta_{i+\frac{3}{2}} + (1 + \kappa) \Delta_{i+\frac{1}{2}} \right] \quad (25)$$

$$\bar{U}_{i+\frac{1}{2}}^L = U_i + \frac{1}{4} \left[(1 - \kappa) \Delta_{i-\frac{1}{2}} + (1 + \kappa) \Delta_{i+\frac{1}{2}} \right]$$

where

$\Delta_{i-\frac{1}{2}} = U_i - U_{i-1}$, $\Delta_{i+\frac{1}{2}} = U_{i+1} - U_i$ and $\Delta_{i+\frac{3}{2}} = U_{i+2} - U_{i+1}$ where, in the cell between the i -th and $(i+1)$ -th points, the left and right side conditions exactly at the cell boundary are marked with L : Left and R : Right.

The $\kappa=1/3$, which corresponds to the third order spatial accuracy of the 1 dimensional problem. In case of higher order discretization schemes, non-physical oscillation can appear in the solution because of the shock wave, discontinuity and sudden changes. Mulder limiter has been used in the present case to preserve the monotonicity of the scheme [13]:

$$U_{i+\frac{1}{2}}^R = U_{i+1} - \frac{1}{4} \psi^R \left[(1 - \kappa \psi^R) \Delta_{i+\frac{3}{2}} + (1 + \kappa \psi^R) \Delta_{i+\frac{1}{2}} \right] \quad (26)$$

$$\bar{U}_{i+\frac{1}{2}}^L = U_i + \frac{1}{4} \psi^L \left[(1 - \kappa \psi^L) \Delta_{i-\frac{1}{2}} + (1 + \kappa \psi^L) \Delta_{i+\frac{1}{2}} \right] \quad (27)$$

To solve the equation above the non-linear, multi-step time integration method is used based on Runge-Kutta (RK). The advantage of the method is that the solution is achieved with the least computational cost with high stability. The 4th ordered Runge-Kutta method is applied here to determine the time derivatives of the conservative variables.

The detailed description of the finite volume method is found in [9] and the analysis of the numerical method is described in [10].

The Wall Modification Method

The last step of the inverse iteration cycle is the modification of the geometry. The velocity distribution is given as an output of the permeable or opening wall based direct analyses. In the new position, the wall is set to be parallel with the local velocity vector by moving the coordinates only in y direction [6]:

$$\Delta y_i(x_i) = \sum_{k=Le}^i \left(\frac{v_k}{u_k} \Delta x_k \right) \quad (28)$$

u and v are the components of the velocity vector in the Cartesian coordinate system (see Figure 4). The wall modification starts from the leading edge till the trailing edge. [6]

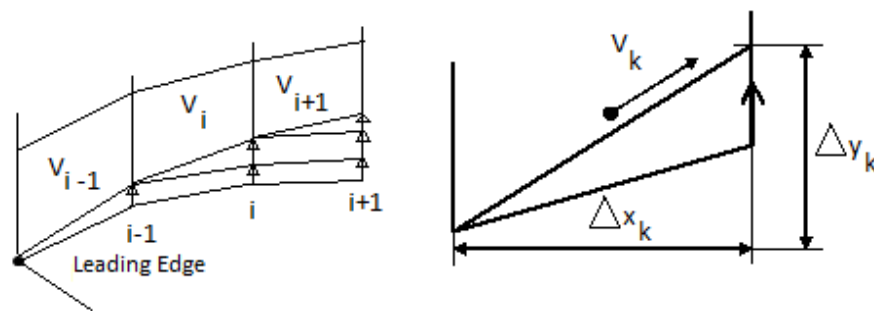


Figure 4. Schematic of the wall modification process based on the local velocity vector [13]

For the inverse design's wall-modification, pressure or velocity distributions are required. Hereinafter the goal is to determine a pressure distribution from Stratford's method, which can be used in inverse design to optimize a blade profile in a cascade.

IMPLEMENTATION OF STRATFORD'S METHOD

The goal of this investigation is to define the optimal pressure distribution where the static pressure and the mass flow rate over the cascade is maximal. For this purpose Stratford's method was used, which was described previously.

The Stratford's method was implemented in an Excel table. It was selected as an initial computational environment, because every step can be observed and any possible error become visible immediately. Concerning the conditions for the application of Stratford's method, the flow is supposed to be incompressible, boundary layer is turbulent and the Re is 10^6-10^7 . At the start of the process the input table needs initial parameters such as the total pressure (p_{to}) and temperature (T_{to}) at the upstream of the blade row, static pressure at the downstream of the cascade

and the pressure coefficient (C_p). Then the static parameters ($Re_0, p_0, M_0, T_0, \rho_0$ and u_0) are calculated by the Excel.

Afterwards the points of the geometry (x) over the suction side are defined from the leading edge towards the trailing edge. In the following step the location of the pressure increase have to be defined (x_0). Hence, first, the value of (x_0) must be shifted - with sufficient accuracy - so that the pressure on the trailing edge will equal with the expected outlet static pressure downstream of the cascade. The Excel then calculates the canonical pressure coefficient from Stratford's equations. Finally the pressure and pressure coefficient are determined in every point.

The following equations describe the steps to determine the "a" and "b" constants for the canonical pressure distribution:

Eq. (5) when $n = 6$:

$$\frac{4}{7} = 0.645 \cdot \left\{ 0.435 \cdot Re_0^{1/5} \left[(x/x_0)^{1/5} - 1 \right] \right\}^{2/6} \quad (29)$$

in term of (x)

$$x = \left(\left(\frac{4}{7 \cdot 0.645} \right)^3 \cdot \frac{1}{0.435 Re_0^{1/5}} + 1 \right)^5 x_0 \quad (30)$$

Differentiating eq. (5) and (6) with respect to (x):

$$\frac{d\bar{C}_p}{dx} = \frac{2 \cdot 0.645 \cdot (0.435 Re_0^{1/5})^{1/3} \left[(x/x_0)^{1/5} - 1 \right]^{2/6-1}}{6 \cdot 5 x_0 (x/x_0)^{4/5}} \quad \text{and} \quad (31)$$

$$\frac{d\bar{C}_p}{dx} = \frac{a}{2 x_0 (x/x_0 + b)^{3/2}} \quad (32)$$

In the Excel table:

$$x = A$$

$$K = 0.645 \cdot (0.435 Re_0^{1/5})^{1/3}$$

$$B = \frac{\left[(x/x_0)^{1/5} - 1 \right]^{-2/3}}{15 \cdot x_0 (x/x_0)^{4/5}} \quad (33)$$

$$a = 0.645 \cdot 0.435^{1/3} \cdot \left(\frac{A}{x_0 + b} \right)^{1/2}$$

$$b = \frac{0.645 \cdot 0.435^{1/3}}{2 \cdot B \cdot x_0} - \frac{A}{x_0}$$

With more pressure coefficient an array of curves are given to the same trailing edge pressure.

The final step is to determine which curve has the largest closed area. It is the optimal suction side pressure distribution due to the largest work on the flow.

The block diagram of the calculation process for one C_p is found in Figure 5. With the settings of initial input parameters different conditions can be considered and the length of the profile's chord can be set to a preferred value.

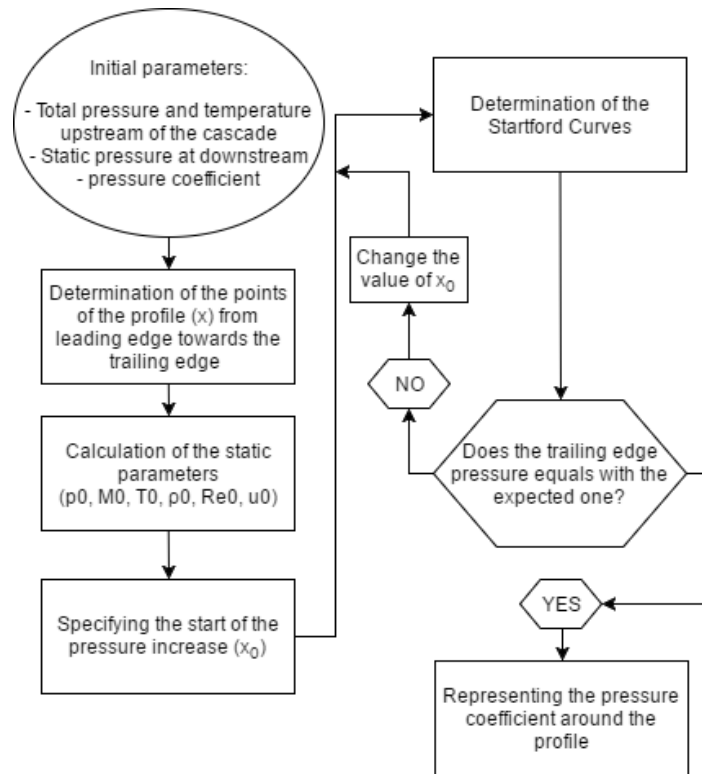


Figure 5. The process of determining the pressure distribution for one C_p

In the future a program can be written to speed up the iteration process and find the location of the pressure increase with better accuracy.

The array of pressure distribution curves with the inlet total pressure 107,853 Pa, inlet total temperature 298.42 K and static outlet (trailing edge) pressure 101,325 Pa is shown in Figure 6. The pressure coefficients are in the range of $[-2.5, -0.5]$. The curve with the largest area under it is coloured red.

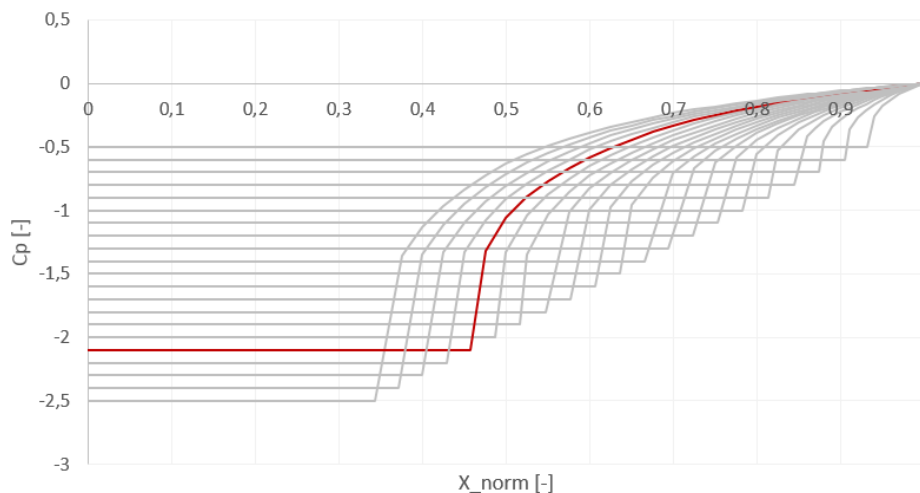


Figure 6. The pressure distribution for different pressure coefficients

EVALUATION OF THE RESULTS

Comparison of profiles with different pressure distribution

For comparison three different pressure distributions was selected. The curve with the largest area which in theory is the optimal pressure distribution for the inverse design and as a result will redirect the flow towards axial direction with the best efficiency is $C_p = -2.1$. The other two pressure distributions belongs to one of the lowest $C_p = -2.5$ and highest feasible pressure coefficient $C_p = -0.6$.

For initial parameters as mentioned in the previous chapter are: $p_{to} = 107,853 Pa$ total pressure, $T_{to} = 298.42 K$ total temperature, $p = 101,325 Pa$ trailing edge static pressure. The flow angle (with respect to the horizontal direction) is $\alpha = 45^\circ = 0.785398163 rad$ in the present investigation.

The results of the inverse design method are discussed in the following subchapters.

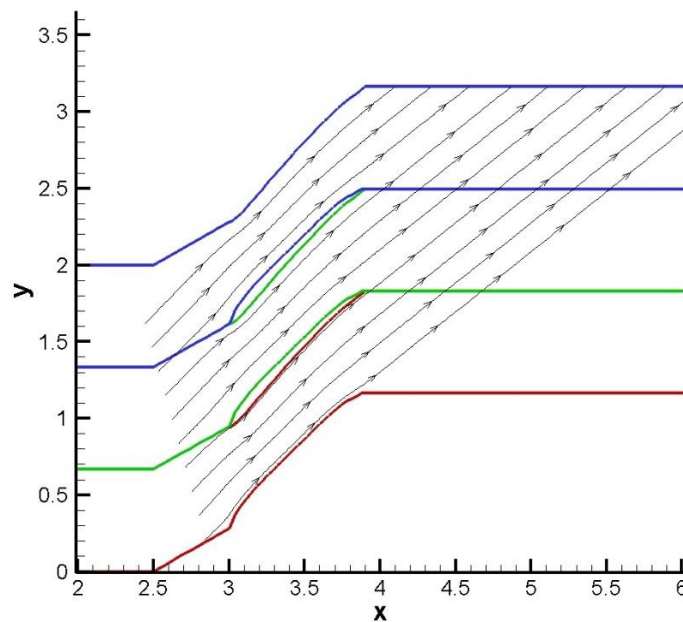
Test Scenario $C_p = -0.6$ 

Figure 7. Streamlines over cascade at $C_p = -0.6$

Regarding the results at $C_p = -0.6$, the flow was redirected minimally the angle from the axial direction is 38.66° (see Figure 7). The mass flow rate is: $90.44 kg / s^2 / m$.

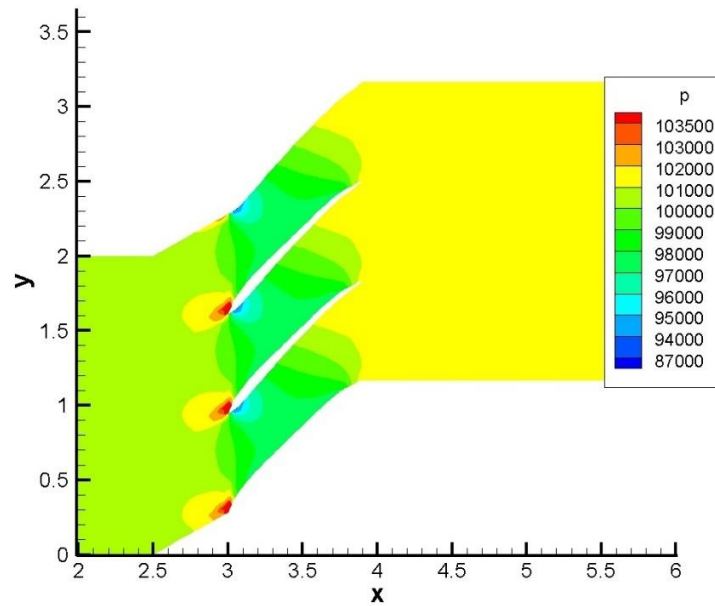


Figure 8. Pressure distribution over cascade at $C_p = -0.6$

The pressure increase is smallest among the investigated cases. The inlet static pressure is $p_{in} = 100,869 Pa$ (see Figure 8). The static pressure rise in this case is $\pi = 1.00454$. The low-range pressure zone on the suction side is large. With this kind of properties the pressure increases rather at the last section of profile which is due to the slightly negative angle of attack also. The Mach number distribution is shown in Figure 9, which confirms also the low level diffusivity.

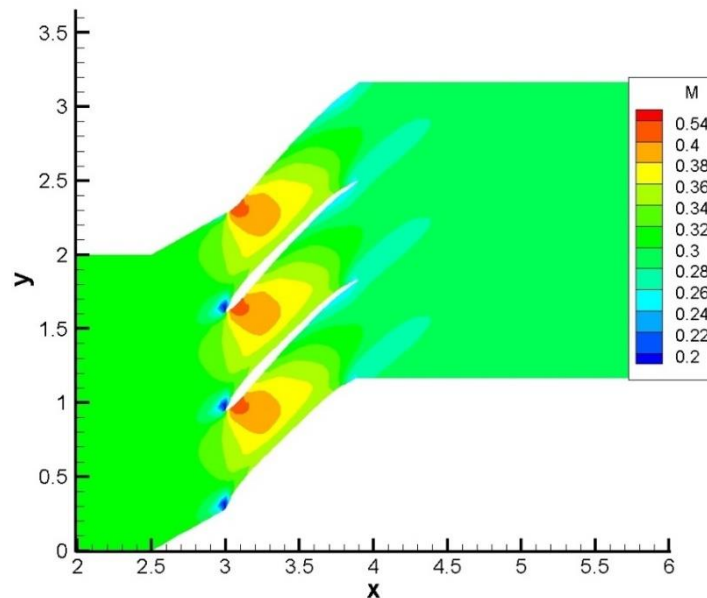


Figure 9. Mach-number distribution over cascade at $C_p = -0.6$

Test Scenario $C_p = -2.5$

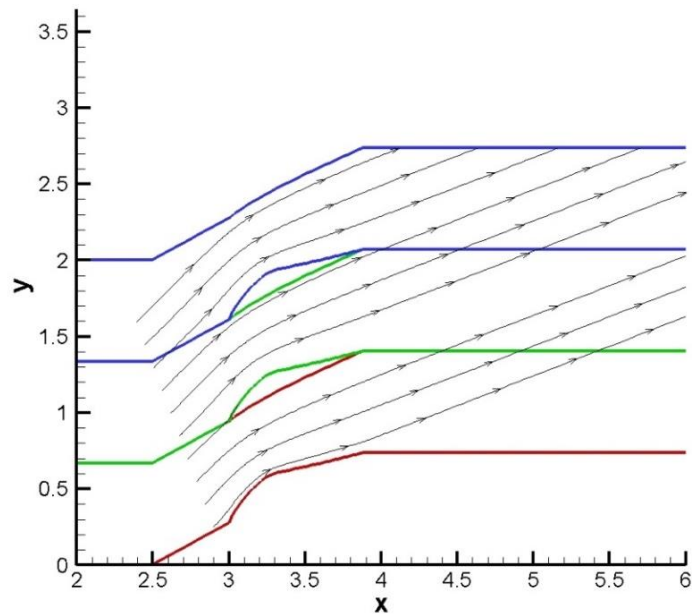


Figure 10. Streamlines over the cascade at $C_p = -2.5$

Closing towards the optimal pressure distribution the flow was more redirected, this is the result of the thickened profile and larger curvature (see Figure 10). The direction of the flow at the exit of the cascade measured from axial direction is 21.37° .

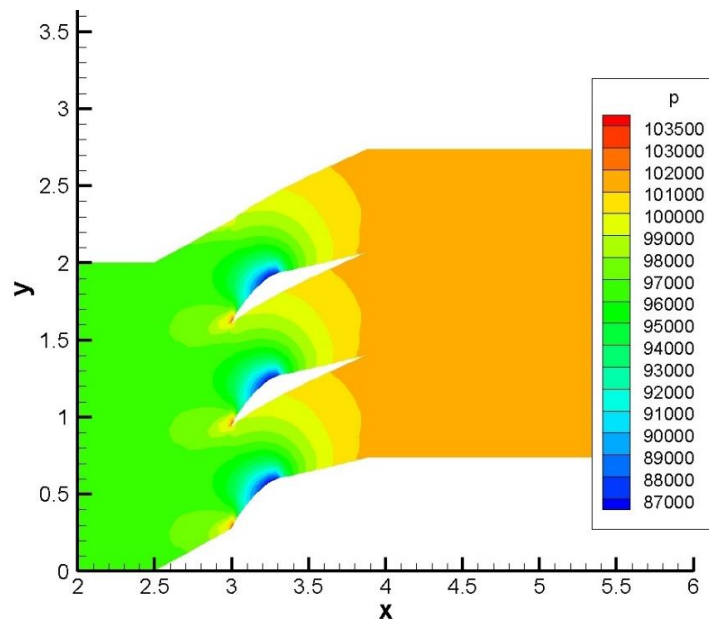


Figure 11. Pressure distribution over cascade at $C_p = -2.5$

The mass flow increased to: $110.72 \text{ kg/s}^2/\text{m}$. The static pressure increases more, it is $p_{in} = 96,925 \text{ Pa}$. The static pressure rise in this case is $\pi = 1.0454$ (see Figure 11). The low-range pressure zone is the smallest between the investigated cases. This design uses the largest part of the profile, because the start of the pressure increment here starts the earliest. The Mach number distribution is shown in Figure 12.

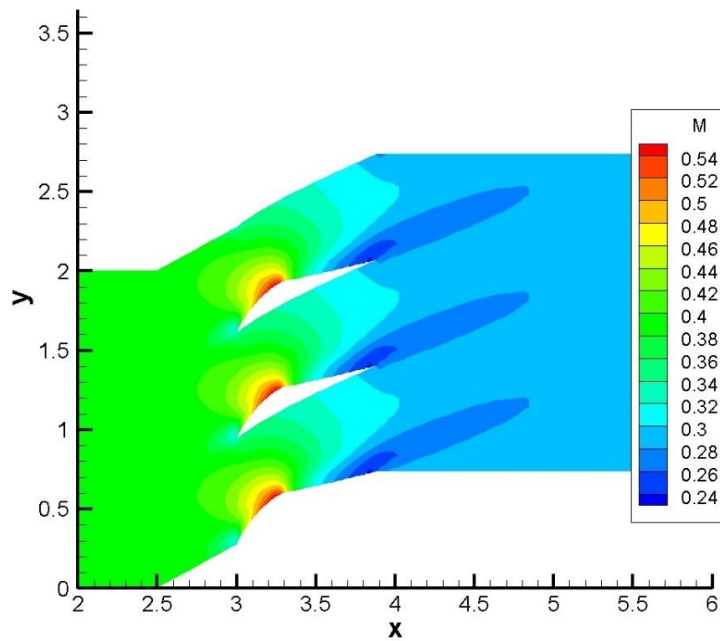


Figure 12. Mach-number distribution over cascade at $C_p = -2.5$

Test Scenario $C_p = -2.1$

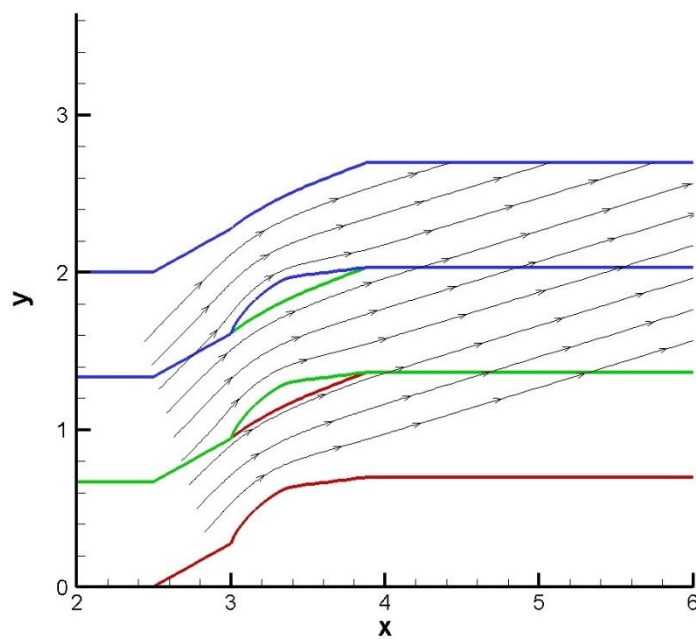
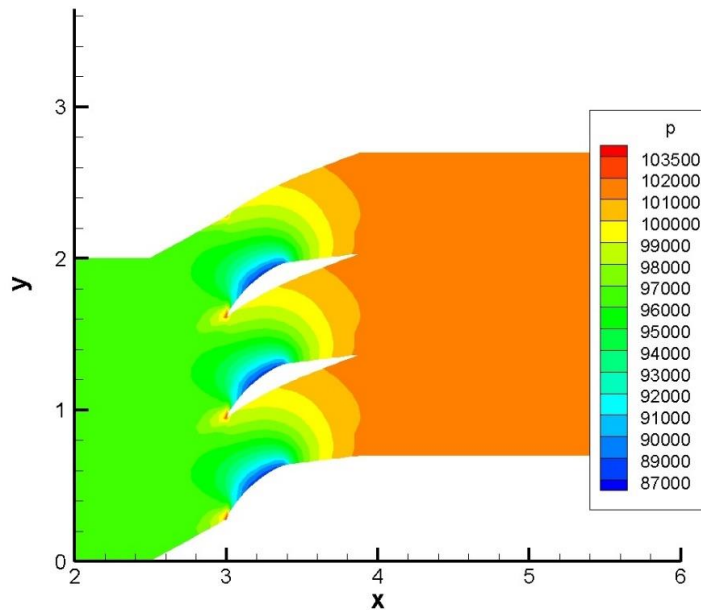
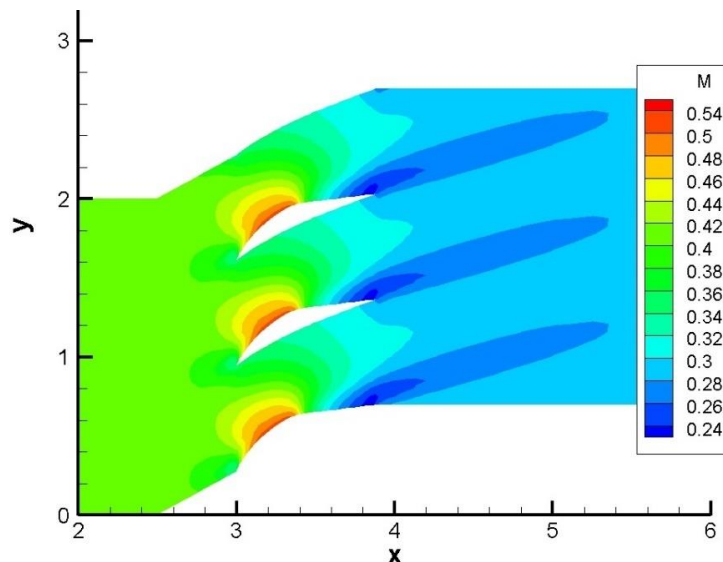


Figure 13. Streamline distribution over cascade at $C_p = -2.1$

Concerning the simulation results at $C_p = -2.1$, the flow suffers from a larger diversion than in the previous case. The flow angle from the axial direction is 16.59° (see Figure 13).


 Figure 14. Pressure distribution over cascade at $C_p = -2.1$

With the optimal pressure distribution (the largest area below the pressure distribution curve) the flow has the maximum deflection. The mass flow rate is $113.45 \text{ kg/s}^2 / \text{m}$. The pressure increment is the largest from the investigated scenarios (see Figure 14). The inlet static pressure is $p_{in} = 96,366 \text{ Pa}$. The pressure rise in this case is $\pi = 1.0508$. The low pressure zone on the suction side is slightly larger than in the previous case because the pressure increment starts later. The Mach number distribution is found in Figure 15.


 Figure 15. Mach-number distribution over cascade at $C_p = -2.1$

The Effect of Blade Pitch

In this subchapter the effect of the distance between the profiles will be investigated. Because of the large area between the blades in Fig. 7, the flow can pass the blades without major diversion and to achieve higher static pressure rise, the blade profiles has to thicken. The distance

between the profiles will be reduced to determine the consequence and find the most effective distance. The distance is normalized value in connection with the chord.

The Initial Blade Distance: $\Delta y = 0.667$, $C_p = -2.1$

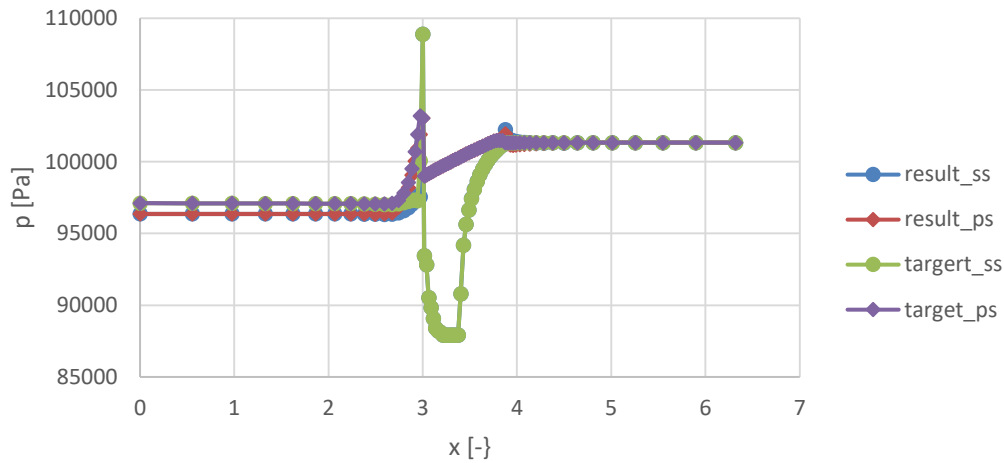


Figure 16. Pressure distribution at the initial blade distance

The properties of this design have been discussed in the previous chapter. The pressure distribution belongs to the $C_p = -2.1$ is shown in Figure 16. The pressure distribution determined by Stratford's method shows great similarity with the results gained after the inverse design. The inverse design method works as expected. As said in a previous chapter the Reynolds number must be in the range of $10E6$. In this case the $Re = 5.226E6$ which is in the limits.

Blade distance is $\Delta y = 0.517$, $C_p = -2.1$

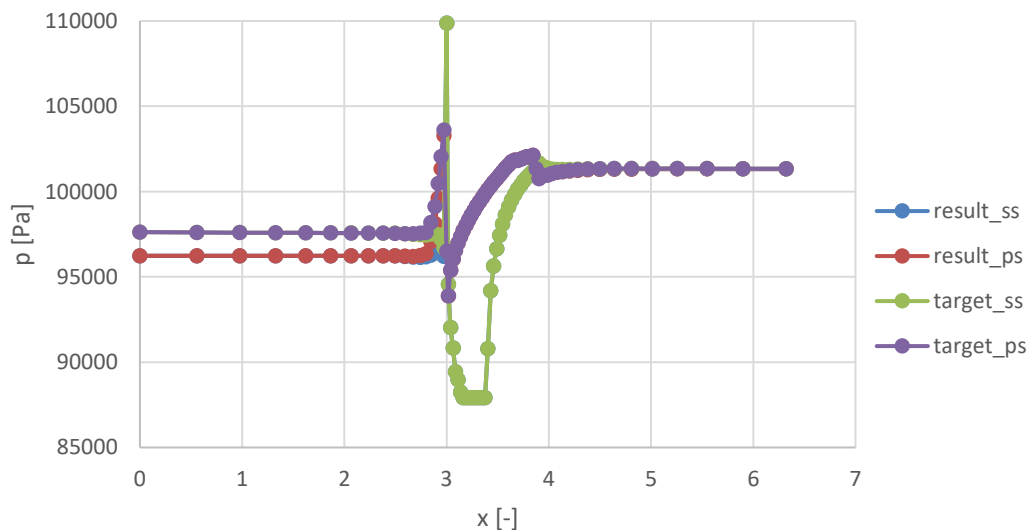


Figure 17. Pressure distribution at 22.5% narrowed cascade

The distance is reduced by 22.5% to investigate the effect of narrowed flow section.

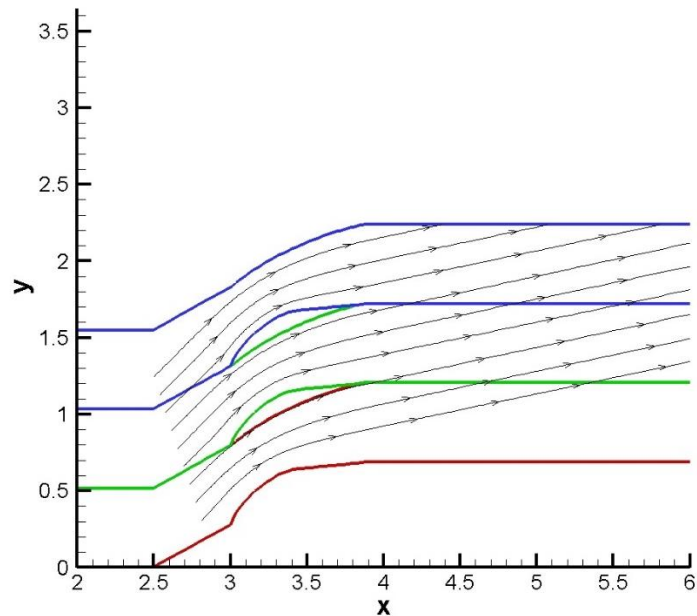


Figure 18. Streamlines at 22.5% narrowed cascade

With narrowed flow section the mass flow also slightly increased $113.74 \text{ kg} / \text{s}^2 / \text{m}$. The blade geometry is slightly changed to adapt better to the target pressure distribution. The rear part becomes more axial. The angle of the flow from the axial direction is 11.88° (see Figure 18).

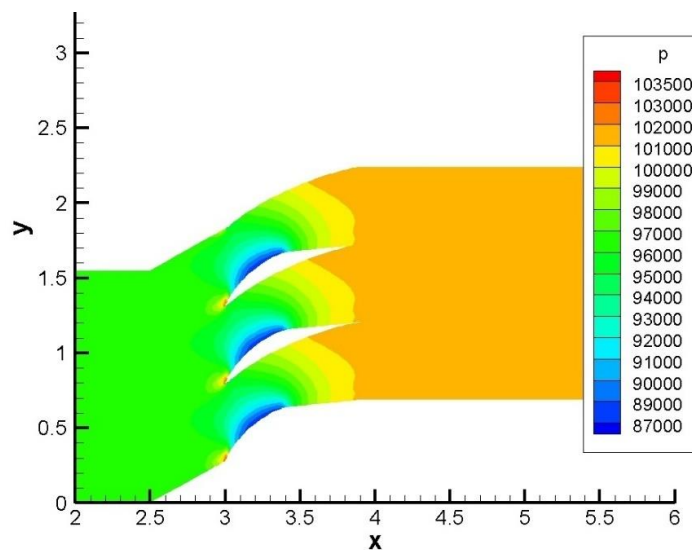


Figure 19. Pressure distribution at 22.5% narrowed cascade

The pressure increase is also improved (see Figure 19). The inlet pressure $p_{in} = 96,233 \text{ Pa}$. The static pressure rise is $\pi = 1.053$, which is a minimal difference in comparison.

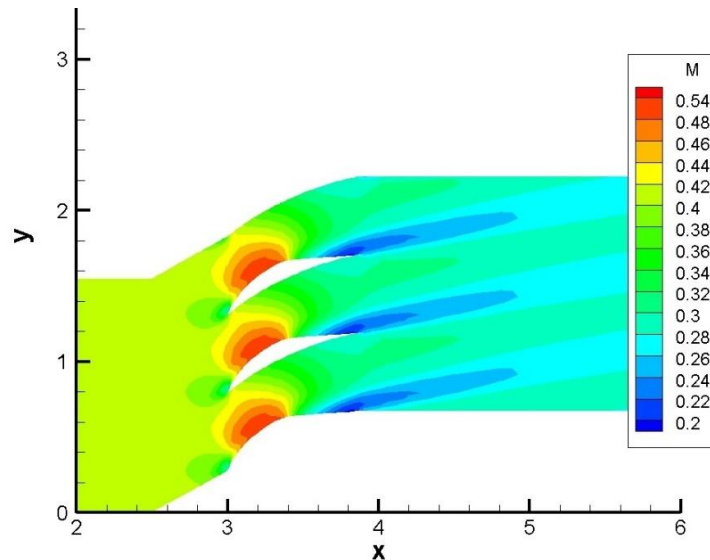


Figure 20. Mach-number distribution at 22.5% narrowed cascades

The Mach-number reduced slightly over the profiles (see Figure 20).

The further pitch reduction with $\Delta y = 0.367$ showed unexpected blade shape, so it is not presented here.

However, it can be concluded that there is a certain blade pitch which, together with the inverse design method, provides the maximal flow turning, mass flow rate and static pressure rise at the given boundary conditions.

CONCLUSION

An inverse design based optimization method has been used and tested in the present case for determining the suction side profile of a blade in a cascade corresponds to the maximal flow turning in axial direction, the maximal mass flow rates and the maximal static pressure rise. The applied DASFLOW software has been developed at BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles.

At the start of the investigation an initial profile had to be considered, which will make up the cascade. For this purpose the NACA 65-(18)10 profile [11] has been used.

The second step was to determine a suction side pressure distribution, which is close, but certain safe distance far from the separation in case of positive pressure gradient. Stratford's separation prediction method was used to determine the pressure distribution. This method was implemented in an Excel table. The required pressure distributions belong to different flow conditions are determined by the table.

The next step was to run the inverse design solver with expected pressure distributions for the profile at different pressure coefficients.

The program with initial blade pitch was executed with three pressure coefficients. The one of them is with the largest area under the curve ($C_p = -2.1$). The other two were the curves with minimum area below the pressure distribution ($C_p = -1.6$ and -2.5). The results show that with

increasing of the pressure coefficient starting from its the minimal value, the largest static pressure rise and mass flow rate can be achieved at the optimal value. The flow turning into the axial direction is also the highest one in this case. The pressure coefficient ($C_p = -2.1$) belongs to that conditions.

The effect of the blade pitch (narrowed flow section) was also investigated with the same method as mentioned above. The results showed that with the decreasing of the distance between the profiles there should be an optimum, where the flow turning into the axial direction, the mass flow rate and static pressure rise are the highest ones.

It is important to mention that the profiles were only investigated from fluid mechanics point of view, the mechanical stress analysis requires further work.

The inverse design method can be used to find an optimum design - belongs to the application range of the method - which satisfies the most expected conditions (mass flow rate, static pressure rise and flow turning) in the present case. However, in that case other properties of the profile can deteriorate.

For this work the goal was to combine a separation prediction method with an inverse design method. This is achieved and the flow behaviour is understood. To utilize the results of the present investigation in the development of improved cascades the behaviour of the flow and the interaction between the flow and surface must be understood deeper. The presently used method can be improved further with the extension to compressible and viscous flow. In the future the method can be combined with 3D modelling software to automatically make a blade, which can be investigated by CAE software.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present research is supported by the Hungarian national EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project. The introduced method is carried out to be applied in small aircraft hybrid propulsion system development supported by Hungarian national EFOP-3.6.1-16-2016-00014 project entitled by "Investigation and development of the disruptive technologies for e-mobility and their integration into the engineering education".

REFERENCES

- [1] K. Beneda: Numerical Simulation of MEMS-based Blade Load Distribution Control in Centrifugal Compressor Surge Suppression, Seenith Sivasundaram (ed.) ICNPAA 2012 Congress: Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, American Institute of Physics, pp. 116-123.
- [2] J. Schweighofer, K. van der Meij, A. Gronarz, Cs. Hargitai, Gy. Simongáti: Demonstration by simulation: The four simulator demonstrators of the FP7 EU project MoVeIT!, Proceedings of Hydrodynamics and simulation applied to Inland Waterways and Port Approaches Conference, Paris: Societe Hydrotechnique de France, Paper Schweighofer et al. ISBN:979-10-93567-08-2, p. 10.
- [3] J. Bera, L. Pokorádi: Monte-Carlo Simulation of Helicopter Noise, Acta Polytechnica Hungarica, 12:(2) pp. 21-32, 2015.
- [4] D. Rohács, J. Rohács: Magnetic levitation assisted aircraft take-off and landing Progress in Aerospace Sciences, 85: pp. 33-50, 2016.
- [5] Á. Veress: Bevezetés az áramlástan numerikus módszereibe, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, tanszéki oktatási segédlet, Budapest, (online) url: http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Dr.Veress_Arpád_anyagai/Oktatott_targyak/Bevezetes_a_numerikus_aramlastanba_CFD/CFD-jegyzet.pdf, (15.03.2017)
- [6] Á. Veress and J. Rohács: Application of Finite Volume Method in Fluid Dynamics and Inverse Design Based Optimization, Computer and Information Science - Numerical Analysis and Scientific Computing - "Finite Volume Method - Powerful Means of Engineering Design", ISBN 978-953-51-0445-2, pp. 3-34, (online) url: <http://www.intechopen.com/books/finite-volume-method-powerful-means-of-engineering-design/application-of-finite-volume-method-in-fluid-dynamics-and-inverse-design-based-optimization>, (15.03.2017)
- [7] Á. Veress, T. Gallina, J. Rohács: Fast and Robust Inverse Design Method for Internal and Cascade Flows, International Review of Aerospace Engineering, Vol. 3 Issue 1, p41, 2010.
- [8] S. Eivind: Design of Airfoil for downwind wind turbine Rotor, Norwegian University of Science and Technology, (online) url: <https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/004/4591/masteroppgave.pdf>, (15.01.2017)
- [9] C. B. Laney: Computational Gasdynamics, Cambridge University Press, 1998. (online) url: https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=r-bYw-JjKGAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=C.+B.+Laney,+Computational+Gas+Dynamics,+Cambridge+University+Press,+1998.&ots=jVnDKtw28l&sig=czS9gixrGu5sRqtZ-WWuSnUmhc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false, (15.03.2017)
- [10] Barth and M. Ohlberger: Finite volume methods: foundation and analysis, (online) url: <http://cite-seerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.6.403&rep=rep1&type=pdf>, (15.03.2017)
- [11] Seymour M. Bogdonoff, Harriet E. Bogdonoff: Blade design data for axial-flow fans and compressors, p. 23, (online) url: <http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc62634/m1/23/> (15.03.2017).
- [12] A. M. O. Smith: High-Lift Aerodynamics, Journal of Aircraft, Vol. 12 No. 6, pp. 501-530, 1975.
- [13] P. Parragi: Inverz tervezési módszer alkalmazási lehetőségének vizsgálata lapátrácsban statikus nyomásnövelés érdekében, MSc diplomaterv, BME, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2013.
- [14] W. Sutherland: The viscosity of gases and molecular force, Philosophical Magazine, S. 5, 36, pp. 507-531, 1893.

INVERZ TERVEZŐELJÁRÁS ALKALMAZÁSA LAPÁTRÁCSOK STATIKUS NYOMÁS NÖVELÉSE CÉLJÁBÓL

Napjainkban a számítógéppel támogatott mérnöki tevékenységbe tartozó módszerek növekvő tudományos lefedettsége és elterjedése figyelhető meg az ipar minden területén. Ennek oka, hogy a szimulációk által segített folyamat- és terméktervezés alkalmazásával jelentős idő-, költség- és kapacitás-csökkenés érhető el. A CAE egyik összetevője a CFD, amelynek hatékonyságát optimalizációs algoritmusokkal lehet tovább javítani. Egy ilyen technológia az inverz tervező eljárás, amelyben egy előre definiált, feltételek figyelembevételével alakítja ki az elvárt geometriát. A BME, Vasúti járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék által fejlesztett inverz tervező program segítségével azt vizsgáltam, hogy egy lapátrácsban, adott belépő torlóponti nyomás, hőmérséklet és áramlás-irány, valamint kilépő statikus nyomás esetén a lapát szívott oldalán milyen leválás-közeli nyomáseloszlás esetén érhető el maximális nyomásnövekedés, axiális irányeltérítés és tömegáram. Munkám során kitértem annak vizsgálatára is, hogy az áramlási keresztmetszet szűkítése miként befolyásolja a vizsgált paramétereket.

Kulcsszavak: numerikus áramlástan, inverz tervező módszer, leválás, optimalizáció, lapátrács

Molnár Dávid (BSc)
Hallgató
Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

molnarpdavid@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2384-1836

Molnár Dávid (BSc)
Student
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transporting Engineering and Vehicle
Engineering

Department of Aeronautical, Naval Architecture and
Railway Vehicles

molnarpdavid@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2384-1836

Dr. Veress Árpád
Egyetemi Docens
Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

averess@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-1983-2494

Dr. Veress Árpád
Associate Professor
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transporting Engineering and Vehicle
Engineering

Department of Aeronautical, Naval Architecture and
Railway Vehicles

averess@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-1983-2494



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-10-0380_Molnar_David-Veress_Arpad.pdf

Beneda Károly, Kisszölgvényi István, Faltin Zsolt

FORDULATSZÁM ÉRZÉKELŐ RENDSZER FEJLESZTÉSE KÍSÉRLETI SUGÁRHAJTÓMŰHÖZ

Korunk repülőgépeinek nagy része gázturbinás sugárhajtóművel rendelkezik, melyeket már szinte kivétel nélkül elektronikus módon szabályoznak, s az ipar más területeitől eltérően egy-két nagyságrenddel nagyobb üzemi fordulatszámok jellemzőek rájuk. A Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszéken található TKT-1-es kísérleti sugárhajtómű rendelkezik digitális szabályozással (hajtómű nyomásviszony, EPR; hajtómű teljesítményviszony, TPR szerint), azonban még a fordulatszámérés, valamint az arra épülő szabályozás ez idáig nem valósult meg, részint a fentebb említett sajátosság miatt. Jelen cikk célja bemutatni egy fordulatszám mérését megvalósító mérőrendszer kivitelezését, a szenzor mechanikai elhelyezését biztosító konzol megtervezésétől kezdve a tesztáramkörök megépítésén át az üzem közben történő ellenőrzésig. Cél volt egy olyan rendszer megalkotása, mely a jelenlegi moduláris teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozórendszerbe (FADEC) egyszerűen beilleszthető.

Kulcsszavak: gázturbina, FADEC, szabályozás, mikrokontroller, TKT-1, sugárhajtómű, fordulatszám

BEVEZETÉS

Gázturbinás sugárhajtóművek

Napjaink légitársaságai elképzelhetetlen lenne sugárhajtóművek nélkül. Az 1930-as években szabadalmaztatott és létrehozott erőforrás a második világháború alatt már bevetésre került, és a 60-as évek végétől, illetve a 70-es évek elejétől teljesen átvette a főszerepet a dugattyús motortól. Alkalmazásának elterjedésének legfőbb oka a nagy teljesítménysűrűség (akár 15 kW/kg), az ebből fakadó kisebb geometriai méretek, illetve az előnyök közé tartozik még többek között az kisebb káros anyag kibocsátás [1]. A két gép hőtani folyamatában különbség csak a hőbevitelnél és -elvonásnál jelentkezik, a gázturbinánál izobár, a dugattyús motornál izochor hőcsere részfolyamatokkal valósul meg a körciklus. Fontos továbbá, hogy utóbbi esetében ciklikus-, míg a gázturbinánál folyamatos üzembről beszélünk [2].

A modern polgári és katonai repülőgépeket kivétel nélkül gázturbinás sugárhajtóművel [3], illetve tengelyteljesítményt leadó gázturbinával hajtjuk meg [4]. Az elmúlt évtizedeket megfigyelve észrevehetjük, hogy a katonai gépeknél alkalmazott hajtóművek kivételével a nagy kétáramúsági fokkal rendelkező hajtóművek terjedtek el, ami az egyáramú, és a légsaváros gépek között teremt átmenetet. Ennek elsődleges oka a propulziós hatásfok, és a megfelelő tolóerő optimalizálásából adódik, hiszen a kettő között ellentmondás van. A feloldás az, hogy minél nagyobb tömegáramú levegőt mozgassuk meg relatív kicsi kiáramlási sebességgel, vagyis a kétáramúsági fok a fejlesztések során növekvő tendenciát mutat [2].

Ettől függetlenül, egyáramú sugárhajtóműveket még napjainkban is alkalmaznak, [5]. Emiatt a kutatási célokra alkalmazott eszközök is igen elterjedtek [6], akár különleges repülési feltételek szimulációit is meg tudják valósítani (mint pl. [7] vagy [8]) vagy rendkívül kis méretű mikrogázturbinák vizsgálatára is alkalmasak [9]. A cikk célja a TKT-1-es kísérleti hajtóművön megvalósítandó fordulatszámérés és szabályozás megalkotásának ismertetése.

Szabályozási törvényszerűségek

A gázturbinára felírható anyagmérlegek és mechanikai energiamérleg alapján kapott 3 egyenletből álló egyenletrendszerhez 4 darab ismeretlen tartozik [10]. A hiányzó egyenletet a szabályozási törvényszerűség alapján kapjuk meg.

Az egyszerűség kedvéért a cikkben csak az egyparaméteres szabályozás elve kerül ismertetésre. Ekkor a szabályozás történhet [11]:

- $n = \text{állandó}$;
- $T_3^* = \text{állandó}$;
- $n_{\text{átszámított}} = \text{állandó}$;
- hajtómű nyomásviszony alapján (Engine Pressure Ratio, EPR);
- hajtómű teljesítményviszonya alapján (Turbofan Power Ratio, TPR).

A felsoroltak közül csak a napjainkban elterjedtebbeket ismertetem.

Az átszámított fordulatszám definíció szerint [11]:

$$n_{\text{á}} = n \cdot \sqrt{\frac{288}{T_0^*}} \quad (1)$$

A képletből látszik, hogy a fizikai fordulatszám mellett a torlóponti környezeti hőmérséklet befolyásolja az átszámított értéket, emiatt a hajtómű üzemállapotáról pontosabb képet kapunk. Ha nő a Mach-szám, akkor a T_0^* is. Ennek eredményeképpen a fizikai fordulatszám és a T_3^* értékei is fokozódni fognak, ami miatt ezzel a szabályozással biztosítható a legkevésbé a tolóerő állandó értéken tartása. Éppen ezért másfajta szabályozórendszerrel kiegészítve alkalmazzák. Ha elektronikus szabályozóval (lásd később) párosítjuk, akkor az számít egy $n_{1\text{á}}$ (az angol szakirodalomban N1C, azaz N1 Corrected, az egyszerűbb, indexmentes jelölés miatt) értéket, ami az adott Mach-szám, p_0 , T_0 viszonyok mellett a szükséges tolóerőt adja ki. A paraméterek a repülés üzemmódjától függően természetesen változnak, azonban ez nem jelent külön problémát, mivel a gázkar állítása helyett a szabályozó változtatja N1C értékét, biztosítva a megfelelő tolóerőt [11].

A széles körben elterjedt szabályozási módok az átszámított fordulatszám és EPR szerintiék. Az EPR definíció szerint [11] a p_4^* a turbina utáni torlóponti valamint a p_1^* a kompresszor belépő torlóponti nyomásának hányadosa:

$$EPR = \frac{p_4^*}{p_1^*} \quad (2)$$

A modern, nagy kétáramúsági fokkal rendelkező hajtóművek ventillátor sérülése esetén annak teljesítőképessége csökken. Ebben az esetben az N1 értéket kell szükségszerűen trimmelni a tolóerő megfelelő tartásához. Az utánállítás mértékéhez ad segítséget a Rolls-Royce Trent 900 és 1000-es hajtóműveken alkalmazott TPR. A TPR értékét a kompresszor nyomásviszony és a hajtómű gyök alatt vett hőmérsékletviszonyának szorzata adja. Tehát [12]:

$$TPR = \frac{p_2^*}{p_1^*} \cdot \sqrt{\frac{T_3^*}{T_1^*}} \quad (3)$$

A p_2^* a kompresszor utáni torlóponti nyomást, míg a T_1^* a kompresszor előtti torlóponti hőmérsékletet jelöli. Ez a módszer bizonyítottan működőképes egyáramú gázturbinás sugárhajtómű

szabályozására nem csak tartalék, hanem fő üzemmódban is. Ez jobban belegondolva elképzelhető, hiszen a képletben semmi kifejezetten kétáramú sugárhajtóműre utaló érték nincsen [10].

Teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozórendszerek (Full Authority Digital Electronic Control, FADEC)

A szabályozás alapvető célja adott gázkar álláshoz adott tolóerő biztosítása különböző repülési feltételek mellett, ami a régi hidromechanikus rendszerekkel nem volt elég kielégítő, hiszen azok a gázkar időnkénti állítását igényelték. Ez a kétpilótás eljárások elterjedésével, valamint a hajtóművek gazdaságosságának előtérbe kerülésével már nem bizonyult kielégítőnek. A megoldást a hidromechanikus egység teljes elhagyása, és a helyükbe lépő elektronikus vezérlőegységek adták, ahol a cél a biztonság és pontosság növelése a hajtómű valamennyi üzemmódján, valamint a pilóták terhelésének csökkentése. Ez esetben a hajtómű irányítását csakúgy, mint a röpsúlynál zárt hurkú szabályozással oldják meg. A fűvócsó fix geometriája miatt egyparaméteres szabályozásról beszélhetünk, ahol az egyetlen beavatkozási lehetőség a betáplált tüzelőanyag mennyisége. Az első polgári teljes hatáskörű digitális elektromos szabályozórendszerrel a Pratt and Whitney PW2000-es (1984) hajtóműveit szerelték fel, igaz, itt még csak egycsatornás (Single FADEC) formában. Ha az egyetlen csatorna kiesik, elveszítjük az adott erőforrás feletti kontrollt, mivel nincsen tartalék szabályozórendszer. Emiatt hamar nyilvánvalóvá vált, hogy két csatornára (Dual FADEC) van szükség, így ha az egyikkel probléma támad, a másik annak helyébe tud lépni. Csakúgy, mint az előző esetben, ezt a megoldást is a Pratt and Whitney alkalmazta először a hajtóműgyártók közül, a PW4000-es hajtóművén. Kezdetben a két csatorna közül az egyik elsőbbséget élvezett, ez finomabb (több paraméter szerinti) szabályozást tett lehetővé, a másik csatorna csak az elsődleges csatorna kiesése után lépett működésbe [11].

Ezt az alá-, fölérendeltséget később teljesen megszüntették. A bevett gyakorlat két teljesen egyenértékű (A és B) csatorna működtetése. Ez a gyakorlatban annyit tesz, hogy amíg az egyik csatorna vezérel, addig a másik ugyan úgy beolvassa a szükséges bemenő analóg és digitális adatokat és elvégzi azok feldolgozását, azonban a kimeneteit nem vezérli, ezért egy úgynevezett melegtartalék, „hot standby” szerepet tölt be. A két csatorna között folyamatos a kommunikáció (Cross Channel Data Link, CCDL), aminek köszönhetően a hibás adatok kiszűrhetőek. Mind-egyik csatorna magában foglal hibafeltáró logikát, amely képes felismerni és behatárolni a problémát, majd biztosítja annak kiküszöbölését. Ennek a tulajdonságának köszönhetően több rendellenesség esetében is képes marad a rendszer bizonyos fokú működésre, így a szabályozásra való képessége nem veszik el. Ez az úgynevezett hibatűrő képesség (fault tolerant). Ezzel a sajátosságával a rendszer ki tudja választani az aktuálisan vezérlést végző csatornát, mely több hiba esetén az egyes csatornákban lévő rendellenességek súlyozásával kerül meghatározásra. Általánosságban elmondható, hogy ha a számítási algoritmussal fordul elő probléma, akkor a további vezérlés a másik csatorna feladata. Abban az esetben, ha bemenő paraméter esik ki, akkor a csatornák közötti kapcsolatot megvalósító adatkommunikáción keresztül történik az adott információ pótlása, a másik csatornáról. Ha mindkét rendszerről elvész egy adott információ, akkor a hajtómű matematikai modelljét vagy egy alapértéket használva helyettesíthető a hiányzó adat. Amennyiben olyan jellemző veszik el, amelyet más értékekből nem lehet kiszámítani, üzemmód-váltás következik be. A FADEC rendszerek rendelkeznek beépített öntesztelő funkcióval (Built-In Test Equipment, BITE). Ez nem csak karbantartáskor nyújt könnyebbséget a

hibák kijelzésével, hanem folyamatos diagnosztikát biztosít a hajtómű üzeme során. Működés közben a repülőgép kommunikációs rendszerével (Aircraft Communications Addressing and Reporting System, ACARS) karöltve tudja a földi karbantartást informálni az esetleges hibákról, mely a javítás előkészítését segíti [11], [13].

A csatornák szerepei általában indításnál cserélődnek, így például az odaúton melegtartalékként üzemelő „A” csatorna a visszaúton szabályoz. Ha mindkét csatorna kiesik, a következmények a gyártó cég filozófiájától függenek. A General Electric esetében hajtóműleállásról, ha pedig Pratt and Whitney erőforrásról van szó, akkor alapfordulatra való állásról, és így a gázkar hatástalanra válásáról beszélhetünk. Az ECU funkciói az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra Teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozórendszer

A fent említett tulajdonságok részletezése után látható, hogy a FADEC több mint egy szabályozórendszer. A hagyományos hidromechanikus és hibrid megoldásokkal szemben támasztott előnyei a következők [11], [13]:

- ➔ nincs szükség a szabályozórendszer trimmelésére. Ez a korábbi rendszerek jellemzője volt, ami jelentős mennyiségű hajtóműjáratással, és ebből adódóan kerozin felhasználással járt;
- ➔ a pompázsgátló eszközök kifinomult vezérlésének köszönhetően csökken a tüzelőanyag-fogyasztást, mivel a hajtómű szélesebb üzem mód-tartományban működhet levegőelvitel nélkül (1. ábra: VBV);
- ➔ fokozatmentesen állítható aktív részvezérlést tesz lehetővé, ami által az optimális rész méret folyamatosan biztosítható (1. ábra: Clearance Control);
- ➔ a hidromechanikus rendszerek érzékenyek voltak a gyártás pontosságára és a használatból adódó kopásokra. Emiatt ezek ismétlési pontossága sokkal kedvezőtlenebb, mint a digitális számítógépeké;

- képes az indítási ciklus teljes körű (Airbus filozófia), illetve részleges (Boeing filozófia) levezénylésére;
- biztosítja a hajtómű nyomás-, hőmérséklet-, fordulatszám-korlátozásainak betartását;
- az állandó fordulatszám megtartásának köszönhetően nem következik be a hajtómű levegőelvételtől, és környezeti paraméterektől függő felpörgése, illetve lassulása. A régi hidromechanikus rendszerrel ellátott gépek egy részének alapjárata a legnagyobb terhelésre volt méretezve, melyhez egy adott tüzelőanyag-betáplálás tartozott. Ha a terhelés egy része megszűnt, akkor fordulatszám-növekedés, és ennek következtében felesleges tolóerő-, valamint tüzelőanyag-fogyasztástöbblet keletkezett.

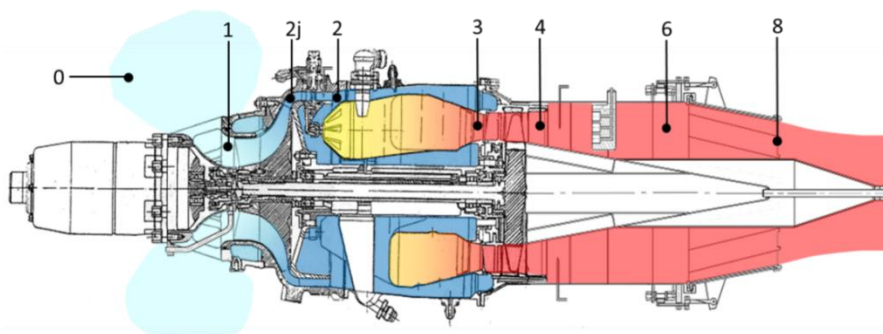
A TKT-1 KISMÉRETŰ OKTATÁSI ÉS KUTATÁSI CÉLÚ GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰ ÉS RENDSZEREI

A TKT-1 rövid ismertetése

A sugárhajtómű egy TSz-21-es indító hajtóműből került átalakításra, mely eredetileg a MiG-23 és Szu-22 harci gépeken teljesített szolgálatot a Magyar Honvédség kötelékében. A kapott egység eredetileg a 01-es oldalszámú MiG-23MF vadászgépen működött, azonban azt „bizonytalan indítás” miatt kiszerezték, majd konzerválták.

A TSz-21 eredetileg egy egytengelyes gázgenerátorral rendelkező, egyáramú munkaturbinás (szabadtengelyes) repülőgép-fedélzeti indító gázturbina. Fontos, hogy nem egy klasszikus értelemben vett fedélzeti gázturbináról van szó, ennél a típusnál csak a hajtómű indítása volt a cél, nem pedig egyéb segédenergia szolgáltatása, ez az üzemi viszonyokat is nagyban befolyásolja. A munkaturbina által hajtott bolygómű vitte át a repülőgép hajtóművének indításához szükséges nyomatókat az áttételházon keresztül a nagynyomású forgórészre. Az indító gázturbina gázgenerátora egy radiális centrifugál kompresszorból, és egy egyfokozatú axiális turbinából áll. A beömlőnyílás körgyűrű alakú, ami előtt kapott helyet a SzT-3PT villamos indítómotor. A gyűrűs égéstérbe négy tüzelőanyag-fúvóka juttatja el a kerozint [14].

A gázturbina a mai formáját sok éves munka és átalakítások árán érte el. A gépegység hosszmetsetét a 2. ábra mutatja be, a jellegzetes keresztmetszetek jelölésével.

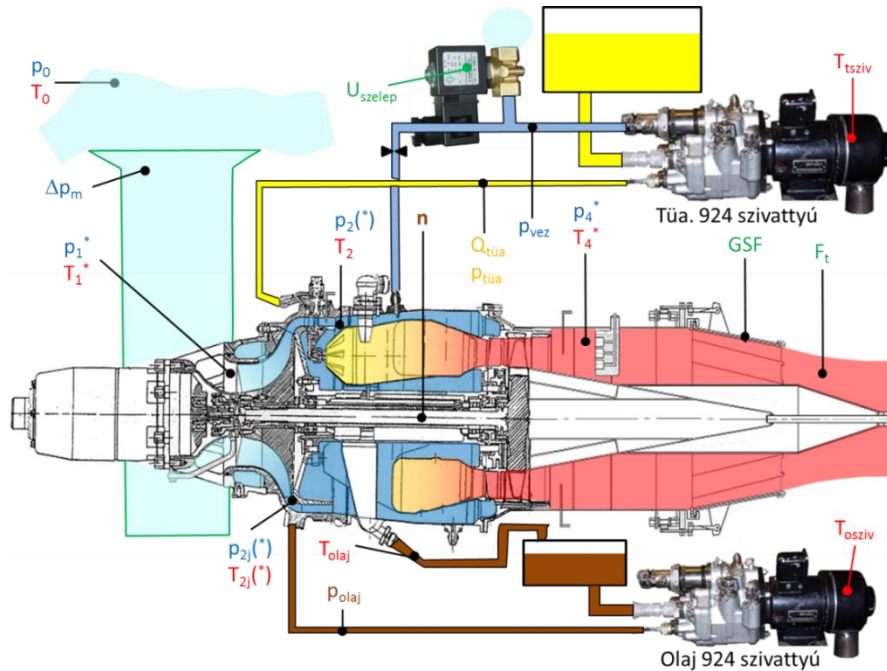


2. ábra A TKT 1-es hosszmetsete a jellegzetes keresztmetszetekkel kiegészítve [15]

A munkaturbina eltávolításra került, helyébe a központi kúp, és az azt körülölelő turbina utáni diffúzor került, változtatható keresztmetsetetű gázsebesség-fokozó (GSF) redőnyzettel felsze-

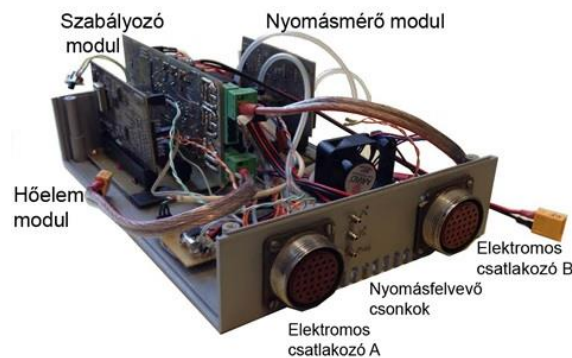
relve. A központi kúp átmérője, és hossza később meg lett növelve, hogy a jelenleg biztonságos, névleges fordulatszám 90%-nál a tolóerő elérje a 300 N-t.

A legjelentősebb fejlesztések azonban a szabályozórendszert érintették. Az eredeti vezérlő rendszer még a kompresszor utáni nyomást vezérlőnyomásként felhasználva végezte a szabályozást. A korszerűsítés célja egy Dual FADEC rendszer kialakítása volt. Az első elektronikus szabályozó, mely a PELE fantázianevet viselte, először még csak a kezelő által beállított munkapont beállítását, és megtartását volt képes biztosítani, az indítási és leállítási ciklusok lebonyolítására még nem volt alkalmas. A FADEC teljes kiépítése előtt az EPR, TPR szabályozási törvények alkalmazására került sor.



3. ábra TKT-1 és mérési helyei

A jelenlegi szabályozórendszer (TEDDI: Teljes Hatáskörű, Duplikált Digitális Szabályozórendszer) moduláris felépítésű, az egyes feladatok végrehajtásáért egy-egy áramkör felelős. A hardver rész felépítését tekintve rendelkezik [16] egy nyomásmérő, egy hőmérséklet-mérő és a szabályozás megvalósításáért felelős egységgel.

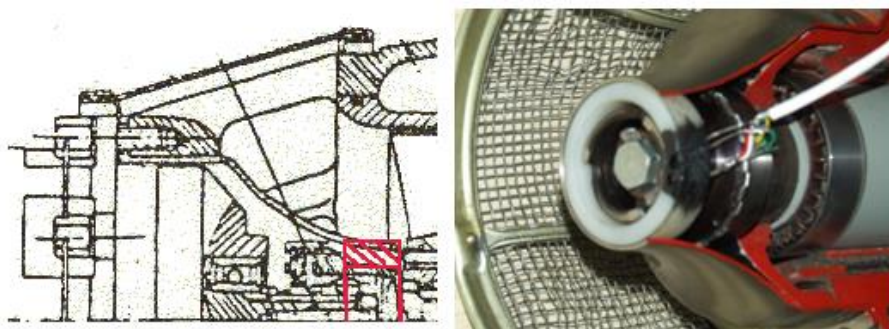


4. ábra A TEDDI felépítése ([16] nyomán)

FORDULATSZÁMMÉRÉS MEGVALÓSÍTÁSA A TKT-1-ES GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVÖN

Korábbi kísérletek a fordulatszám-mérés kivitelezésére a TKT-1 hajtóművön

Az alárendelt feladatköre miatt a TSz-21 indító gázturbinának nem volt lényegi mérőrendszerre [14], így a fordulatszám-érzékelés is hiányzott természetesen. Az első lehetőség az indítómotor áramvonalazó burkolata alatt kínálkozó gyűrű alakú térben, optikai, visszatükröződés elvén működő fordulatszám-érzékelés megvalósítása lett volna. Ennek első változata egy műanyag gyűrűben tartalmazta a fénykibocsátó diódát (LED-et), valamint mellette a fény érzékelését végző fototranzisztort. A vezetékek elhelyezése nem volt tökéletes, az indítómotor tengelykapcsolója igen hamar tönkretette azokat. Ennek érdekében elkészült egy új, továbbfejlesztett verzió, ami tesztkörnyezetben a gázgenerátor forgatásánál tökéletesen működött, azonban beszerelt állapotban – valószínűleg a próbapad fémszerkezete által létrehozott elektromágneses zavaroknak köszönhetően – teljes működésképtelenséget produkált. A szenzor elhelyezése és az első megvalósított egység az 5. ábrán látható.



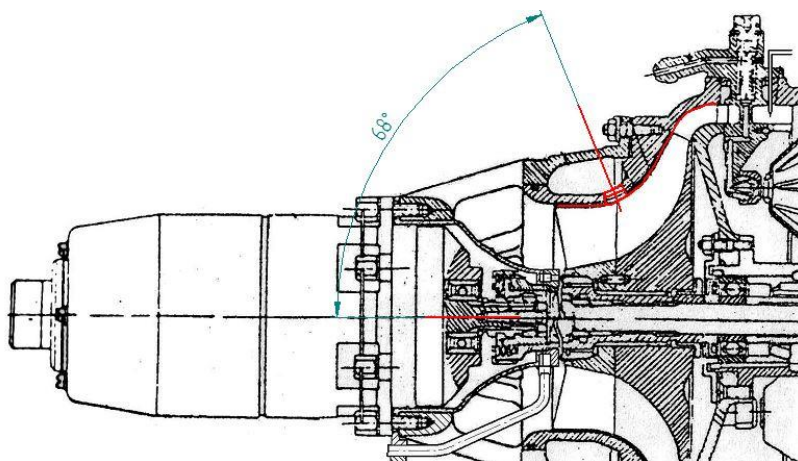
5. ábra A fordulatszám-érzékelő elemek tartógyűrűjének telepítési helyszíne az indítómotor burkolat alatt [17]

A fordulatszám-mérő tartókonzol tervezése

A mérés létrehozásához először a kapott fordulatszám-mérő elhelyezésének megoldása volt a feladat. A legkézenfekvőbbnek a kompresszorház megfúrása tűnt, ugyanis annak külső köpenye alatt egy pompázsgátló kamra került kialakításra, aminek furatokkal ellátott palástján keresztül már eljuttatható a jeladó a lapátokig. A konzol felfogatására a kompresszorházat rögzítő töcsavarok közül kettőt jelöltünk ki.

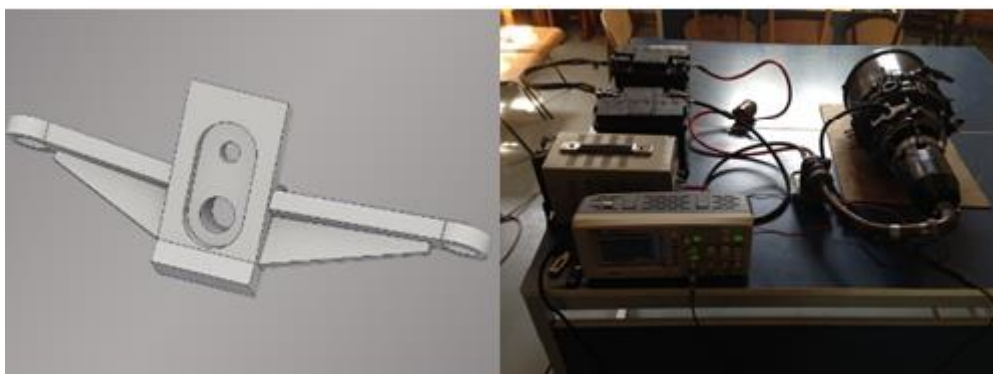
A tartó kialakításához két lehetőség kínálkozott, az egyik 3D nyomtatással, a másik lemez-munkával való megvalósítás volt. A szenzor pontos pozicionálása rendkívül fontos volt, hiszen a túlzott belógás következtében a kompresszor darálta volna be, túl nagy távolságról pedig az érzékelő nem működött volna. Ezek milliméteres nagyságrendek, ugyanis a fordulatszám-mérő leírása alapján a megfelelő (kompresszor lapáttól mért) távolságnak 0,3 mm és 1,4mm között kell lennie. Ennek köszönhetően a 3D nyomtatás mellett döntöttünk. Az ideális felfogtatás érdekében a két töcsavart hosszabbakra kellett cserélni. A konzol elhelyezésének megértéséhez nyújt segítséget a 6. ábra.

A legelső, amit meg kellett állapítanunk, a szenzor vízszintessel bezárt szöge volt. A TKT-1 hosszmetzeti ábrájának segítségével sikerült meghatározni a furat középvonalának a hajtómű tengelyével bezárt szögét, ami 68 fokra adódott.



6. ábra A szenzor elhelyezésének szemléltetése

A konzol a lyukkör meghatározását követő tervezés és további szilárdsági megfontolások után nyerte el végső formáját.



7. ábra A konzol 3D modellje, valamint a szerelés utáni ellenőrzése

A süllyesztés a szenzor megfogását szolgálja. A felső furat a szenzor csavaros rögzítését biztosítja, míg az alsó a fordulatszámérő tájolását. Az első éles tesztet egy másik szétszedett TSz-21-es gázgenerátoron hajtottuk végre, ahol a forgórészt az indítómotorral hoztuk mozgásba 11000 ford/perc-ig (hideg átforgatás). A fordulatszám érzékelőt az oszcilloszkópra csatlakoztatva már láthattuk is kijelzett négyzetjelet, valamint annak frekvenciáját. A próba összeszerelését a 7. ábra mutatja be.

Előnyei miatt a konzol anyagának az úgy nevezett PET-G lett választva. A PET (Polietiléntereftalát) homopolimerből kopolimerizációval létrehozott anyag (a G a glikol módosításra utal) magas olvadásponttal rendelkezik, ami egy gázturbinára építve indokolt. Ezen kívül nagyon erős tárgyakat lehet vele készíteni, rugalmas és nem vetemedik. Ellenálló a szénhidrogénekkel és az különböző olajokkal szemben, ami beépítését tekintve szintén szükséges [18]. Az anyag néhány számunkra fontosabb tulajdonságát az 1. táblázat mutatja.

Sűrűség	1,27 g/cm ³	Nyíró szilárdság	62 MPa	Rugalmassági modulus	2206 MPa
Szakítószilárdság	53 MPa	Olvadáspont	220 °C	Rockwell keménység	115 (-)
				Üvegeseési hőmérséklet	137–160°C

1. táblázat A PETG fizikai tulajdonságai [18][19]

A beépítés még egy apró módosítást vont maga után, ugyanis a tüzelőanyag elosztó csőhálózata útban volt, így a konzol jobb felső sarka eltávolításra került.

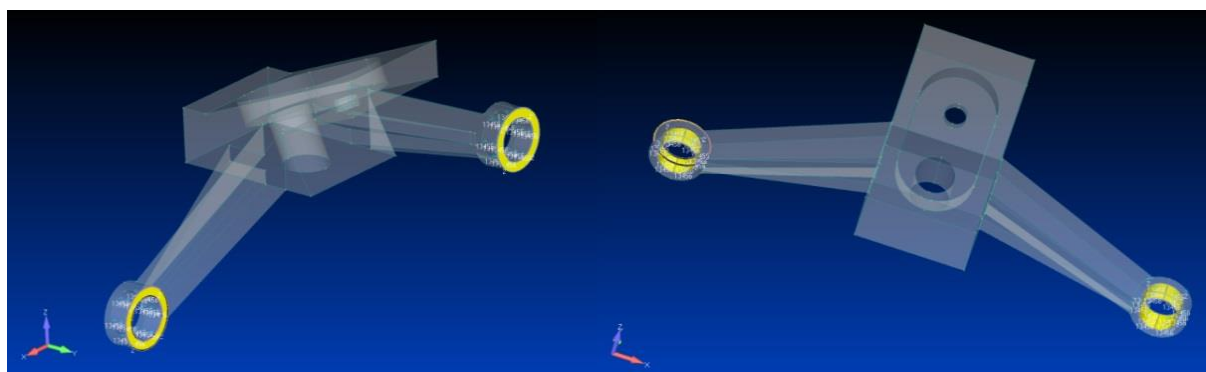


8. ábra A konzol beépítése

A konzol szilárdsági ellenőrzése

Az ellenőrzési folyamat a *Siemens FEMAP*[®] nevű véges elemes szoftverével lett végrehajtva. A konzol a legnagyobb terhelést a beszereléskor kapja, amikor a szenzor a süllyesztett részbe kerül benyomásra. Ezt az értéket egy szélső esetre, azaz 40 N -os erőnek feltételeztük.

Az első lépés az úgynevezett geometriai ellenőrzés volt, kerülvén a modellben lévő esetleges redundanciákat. Az anyag megadása a fent említett adatbázisból nyert értékek alapján történt, figyelembe véve annak nemlineáris jellegét. A következő feladatomban a kényszerek meghatározása és a terhelés felvétele volt. A konzol két csavarral van felerősítve, ami a csavar irányú (képen y : zöld nyíl irány) mozgáson kívül blokkolja az összes elmozdulást, valamint elfordulást. A házon felfekvő gyűrű felület köti le a fennmaradt szabadságfokot.

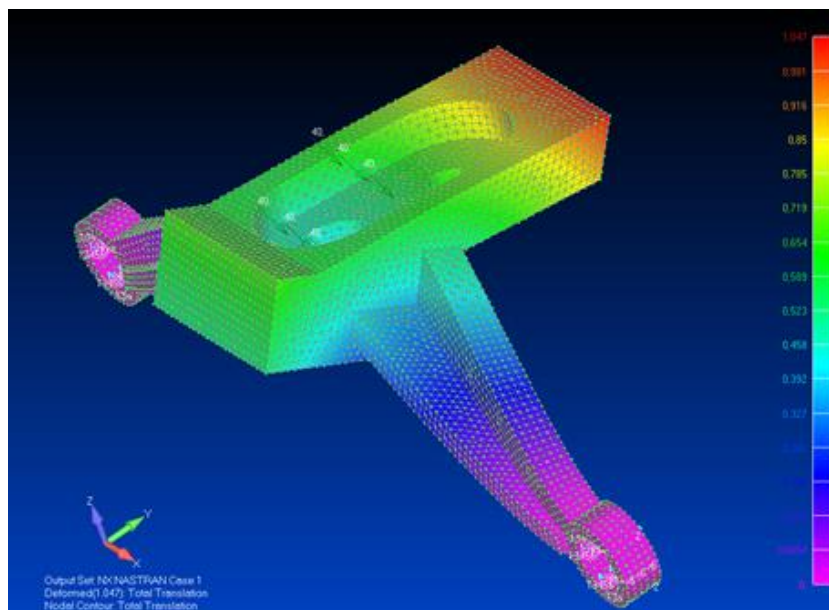


9. ábra A kényszerezett felületek

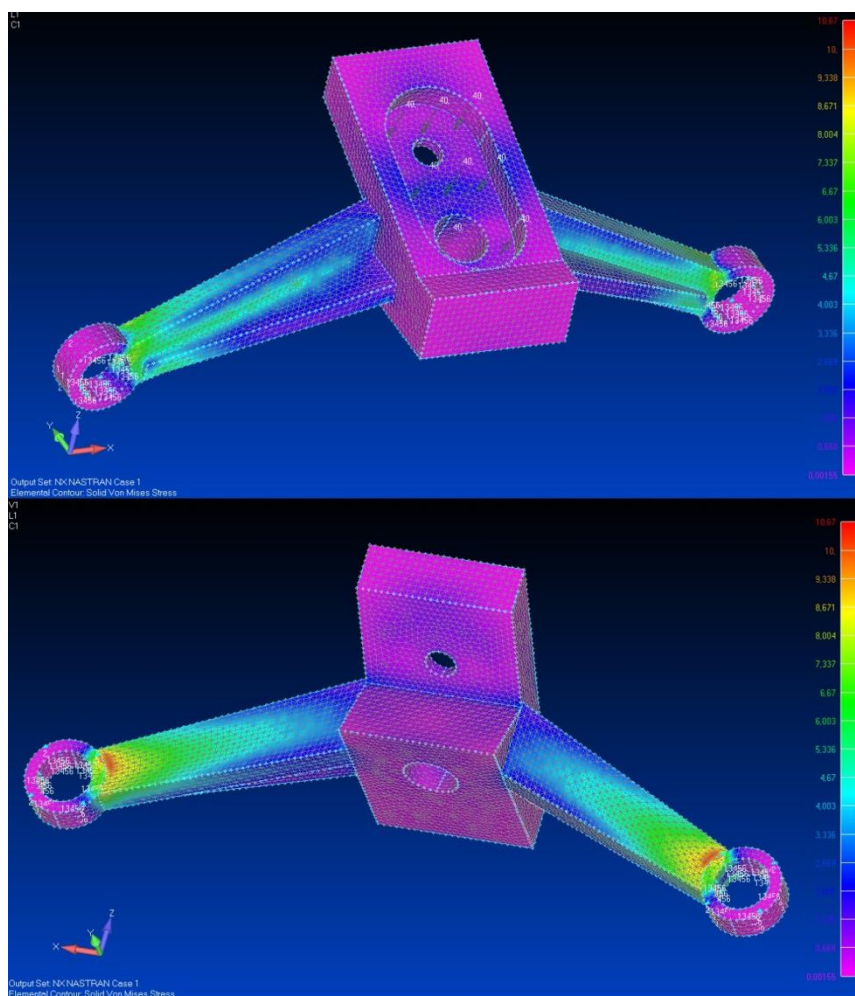
A háló automatikus generálással lett létrehozva, $0,8\text{ mm}$ -es hálómérettel, ami után történt egy háló minőségellenőrzés, ami a lekerekítések és bonyolult felületátvezetések hiányában nem mutatott hibát.

A program lefutása után a várakozásoknak megfelelő mértékű elmozdulást, valamint feszültség szintet és eloszlást kaptam, amit a 10–11. ábrák szemléltetnek. A legnagyobb feszültség a befogásnál ébredt és $10,67\text{ MPa}$ -ra adódott. A maximális elmozdulás kicsivel több, mint 1 mm -

re adódott, a rögzítő csavarokat összekötő szakasztól legtávolabban lévő részen, ami a valóságot tükrözi. Összefoglalásként kijelenthető, hogy a konzol megfelel a szilárdsági elvárásoknak.



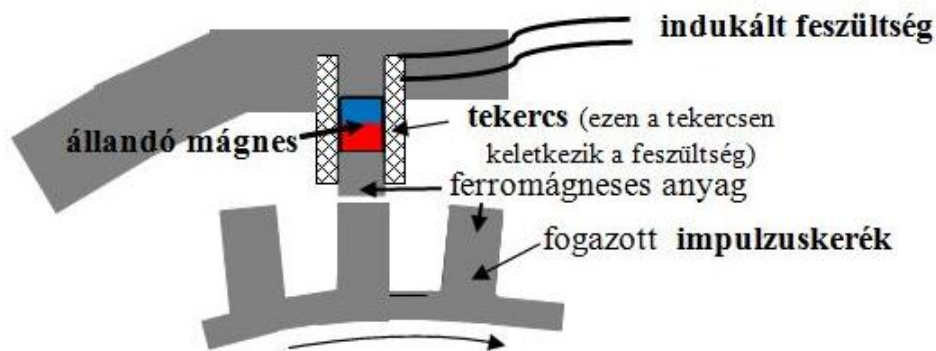
10. ábra Az erőhatás következtében fellépő deformáció



11. ábra A terhelés hatására fellépő feszültségeloszlás

A fordulatszámérő szenzor

Az rendelkezésünkre álló induktív jeladó egy állandó mágnesből, és egy azt körülölelő tekercsből áll. A mérés a nyugalmi indukció, azaz a változó mágneses mező által indukált feszültség hatására válik lehetővé. A változó mágneses mező létrehozását a 20 lapáttal rendelkező, alumíniumból (diamágneses anyagból) készült centrifugálkompresszor forgása során periodikusan változó légrés biztosítja. A szenzor működésének szemléltetése a 12. ábrán látható:

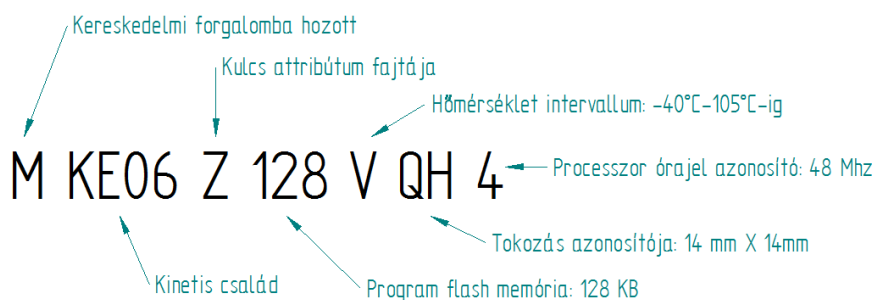


12. ábra Az érzékelő felépítése [20]

A fordulatszámérő 100 μ s hosszúságú jeleket bocsát ki a jeladó előtt elhaladó lapátok hatására. A szenzorról továbbá még fontos megemlíteni, hogy egy nyolcas előosztóval rendelkezik, ami a későbbi fordulatszám levezetésben kap fontos szerepet.

A fordulatszámérő jel feldolgozása

A fordulatszám feldolgozását és tengelyfordulatszámra történő átszámítását a Kinetis MKE06Z128VQH4-es típusú, 64 lábbal rendelkező mikrokontrollere (MCU: Microcontroller Unit) végzi [21], mely kód értelmezését a 13. ábra segíti.



13. ábra Az MCU jelölésének részletezése ([21] alapján)

A mikroprocesszor felprogramozásához és konfigurálásához a Kinetis Design Studio szoftver állt rendelkezésemre. A mérést a centrifugális kompresszoron végezzük. A lapátszámnak köszönhetően az egy fordulat alatt generált impulzusok száma 20. Az érzékelt fordulatszámot tehát első körben 20-al osztanunk kell, hogy a tengely vonatkoztatásában számoljunk tovább:

$$f_1 = \frac{f_{\text{érezkelt}}}{20} \quad (1/s) \quad (4)$$

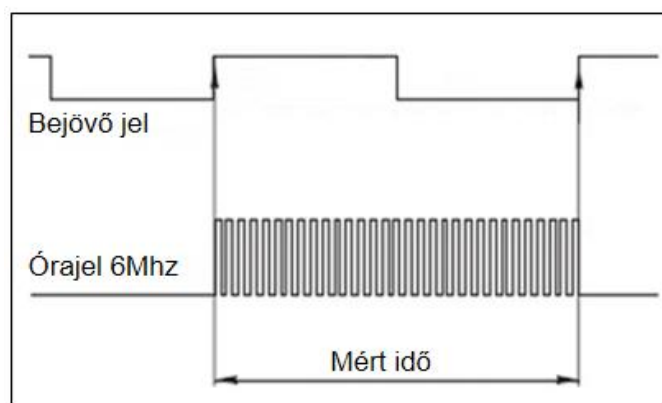
Ahogy a szenzornál már említésre került, az egy 8-as előosztóval van ellátva (frekvencia tekintetében 8-as szorzó). Ez alapján a tényleges másodpercenkénti tengelyfordulatszám:

$$f_2 = f_1 \cdot 8 \text{ (1/s)} \quad (5)$$

Ahhoz, hogy a fordulatszámot a megszokott $1/\text{min}$ alakban kapjuk meg, még 60-nal szoroznunk kell, azaz:

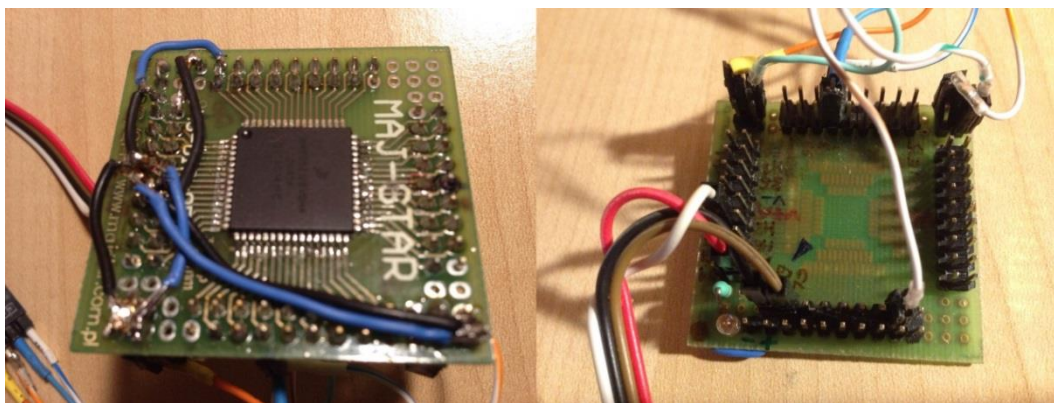
$$f_{\text{valós}} = f_2 \cdot 60 = \frac{f_{\text{érzékelő}} \cdot 8}{20} \cdot 60 \text{ (1/min)} \quad (6)$$

A 8-as előosztáson kívül a többi művelet végrehajtása szoftveres módon történik. A processzor órajeléből (ami esetünkben 48 Mhz) megtáplálunk egy 16 bites számlálót, ami 2^{16} -ig, azaz 0-ról indulva 65 535-ig tud elszámolni. Ennek frekvenciája nem lehet teljesen tetszőleges, mivel minden leosztó csak adott számokkal képes a műveletet megvalósítani. Maga a leosztási folyamat több lépésből áll. Az első műveletet egy Adatbusz Frekvenciaosztó (Bus Frequency divide, BDIV) hajtja végre, majd a DIV1, DIV2 következik. A 48 Mhz-es frekvenciát a DIV2 felezi meg, majd a 6MHz-re történő leosztást a számláló előosztója teszi lehetővé. Ez a frekvencia a méréshez megfelelő felbontást valósít meg. A számítás menetének megértését a 14. ábra segíti.



14. ábra A fordulatszám mérése ([13] nyomán)

A felső a bejövő jel esetünkben már a 8-cal előosztott négyszögjel. Az alsó jel a már említett 6 MHz-es órajellel fut. A szoftver a 14. ábrához úgy került beállításra, hogy csak egyfajta élre, mégpedig a felfutó élre legyen érzékeny. A számláló az órajelet számolja úgy, hogy minden órajel felfutó élre léptet egyet. Amikor van egy fordulatszám (innenről Revolutions Per Minute, RPM) jel (felfutó él), akkor automatikusan rögzíti az éppen aktuális számláló értékét, miközben a számláló megy tovább. A következő beérkező jel hatására ugyanaz a folyamat játszódik le. A számítást a program megszakítása után végezzük. A két alkalom között eltelt idő egy különbségképzéssel kerül megállapításra, ami egy reciprokképzés és a fenti műveletek végrehajtása után tengelyfordulatszámra konvertálható. Amennyiben a 16 bites számláló a ciklusa végére ér, az túlcsordul, majd – ahogyan az egész folyamat során – a számláló zérus értéktől folytatja a ciklust. A mikrokontroller NYÁK-on történő elhelyezését és a csatlakoztató túsort a 15. ábra mutatja be.



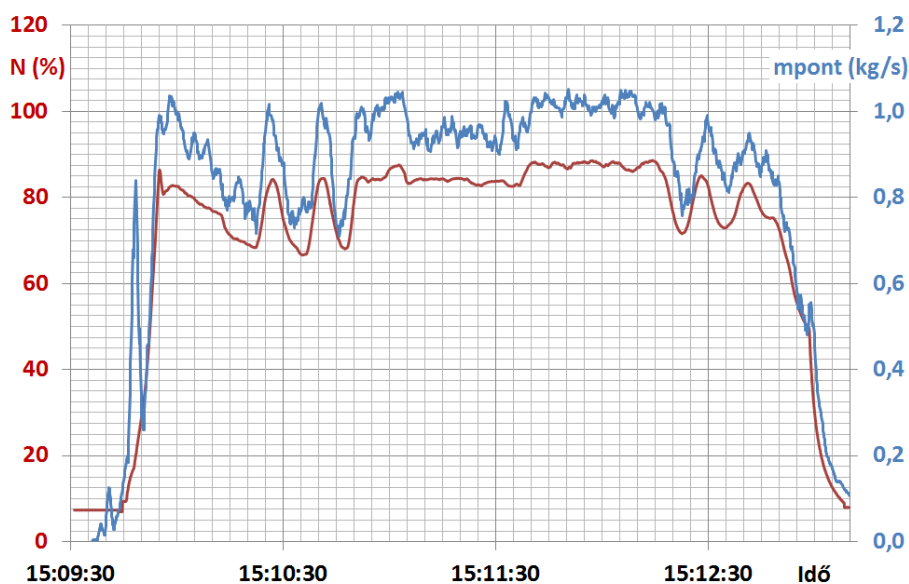
15. ábra Az MCU és a túsorok elhelyezése

Az első mérés lebonyolítása a teljes rendszerrel

A mérés előkészítése rengeteg szereléssel töltött munkaórát emésztett fel, hiszen a szenzor elhelyezéséhez szükséges furat létrehozása a hajtómű próbapadból való kiszedését, valamint megbontását vonta maga után. Egyéb, hőelemeket érintő fejlesztés is ekkor lett eszközölve. A szét-, és összeszerelés a hajtómű üzemeltetési kézikönyv – „A TKT-1 kísérleti gázturbinás sugárhajtómű leírása” – meghatározott pontjai alapján történt.

A mérési adatokat három számítógép dolgozta fel és rögzítette. Az AE laborban lévő asztali számítógép a hajtómű mérő-adatgyűjtője által küldött információt kapta meg, amit egy LabVIEW program tett szemléltetőbbé. Az egyik laptop a TEDDI adatait gyűjtötte és rögzítette a Terminal nevű program segítségével, míg a másik számítógép a fordulatszám-mérő modulra volt csatlakoztatva.

A TKT nehézkes indulása után – amit a gyújtórendszer nem megfelelő működése eredményezett – a mérés rendben lezajlott. A HVK folyamatos változtatásával igyekeztünk a várható fordulatszámjellet reprezentatívvá tenni. Az első mérés sikeres lezajlása utána azok kiértékelése volt a feladat. A Terminal program segítségével a mentett adatok könnyen importálhatóak Excelbe. A 16. ábrán azonnal látható a már korábban említett jelenség, miszerint 4000 (pontosabban 3720) fordulat/perc alatti tartományban a szenzorunk indukált feszültségéből képzett jel nem kimutatható. Az ábrán szembeötlő továbbá a 15:09:20,9-től 1 másodpercen át tartó, esetenként a valós fordulatszám kétszeres értékei is. Utóbbi probléma pontos forrására ez idáig nem derült fény, azonban vélhetően valamelyik nagyáramú szivattyú kefék egyenfeszültségű motorjának kommutátor szikrázásából fakadhat, vagy ezzel egyenértékű elektromágneses zavar okozhatja. A fordulatszám adatok validációja a kompresszor tömegáramával történt, ugyanis a kettő között egyenes arányosság áll fent. A 16. ábra szépen szemlélteti a kapcsolatot, amin látható, hogy a fordulatszám görbéje együtt mozog a tömegáram görbéjével.

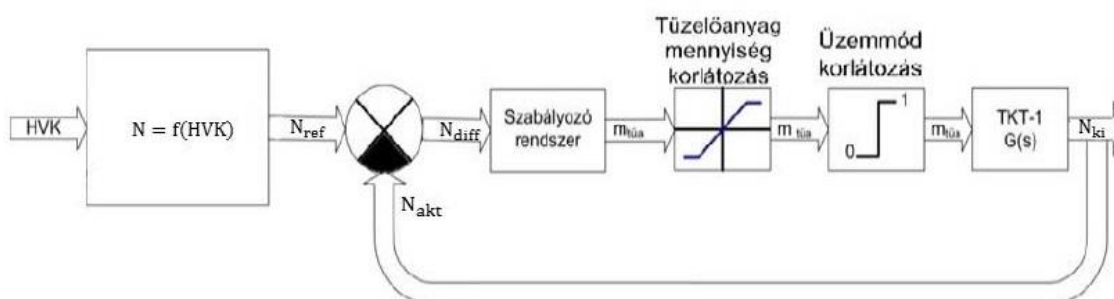


16. ábra A fordulatszámérő validációja

A FORDULATSZÁM SZABÁLYOZÁS MEGVALÓSÍTÁSA A TKT-1-ES GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVÖN

A szabályozó tervezése

A fordulatszámérő egység TEDDI-vel való összekapcsolása után a feladat egy fordulatszám alapján történő szabályozás létrehozása volt. A szabályozás blokkdiagramját a 17. ábra mutatja be.



17. ábra A szabályozás blokkdiagramja ([22] nyomán)

Ahogy az ábra is mutatja, esetünkben egy bemenet van definiálva, mivel a létrehozandó szabályozás egyparaméteres. Az egyetlen bemenet a hajtómű vezérlőkar pozíciója.

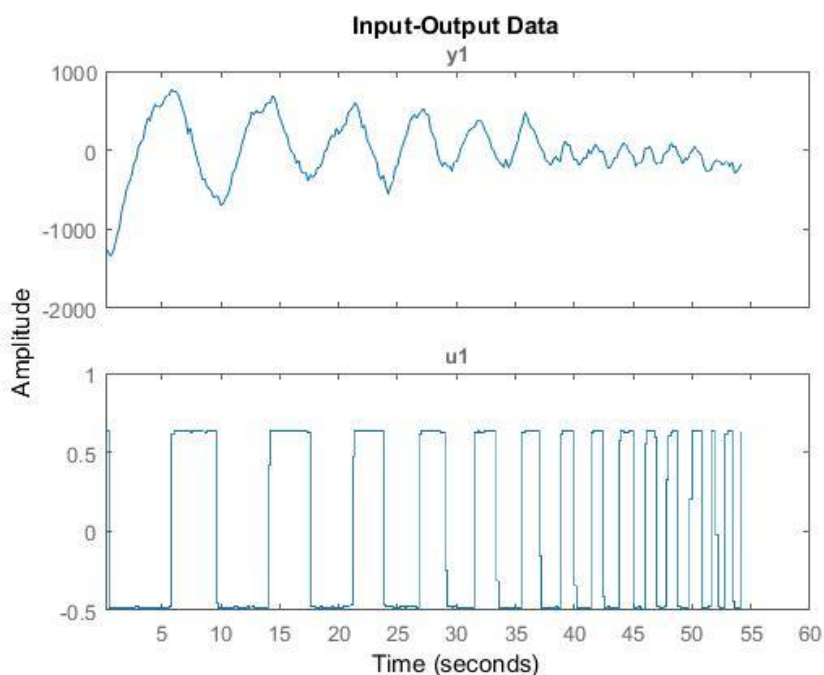
A szabályozás menete a 17. ábrával együtt könnyen megérthető. A szabályozórendszer a referencia fordulatszámértéket (N_{ref}) összehasonlítja az éppen aktuális fordulatszámértékkel (N_{akt}), majd a két érték különbségéből előállít egy differencia értéket (N_{diff}), amit addig csökkent, míg a különbségvonalás értéke 0 nem lesz ($N_{akt} - N_{ref} = 0$). Ezt egy PID típusú szabályozóval tesszük lehetővé, ahol:

- P – az arányos tagot;
- I – integráló tagot;
- D – a differenciáló tagot jelöli.

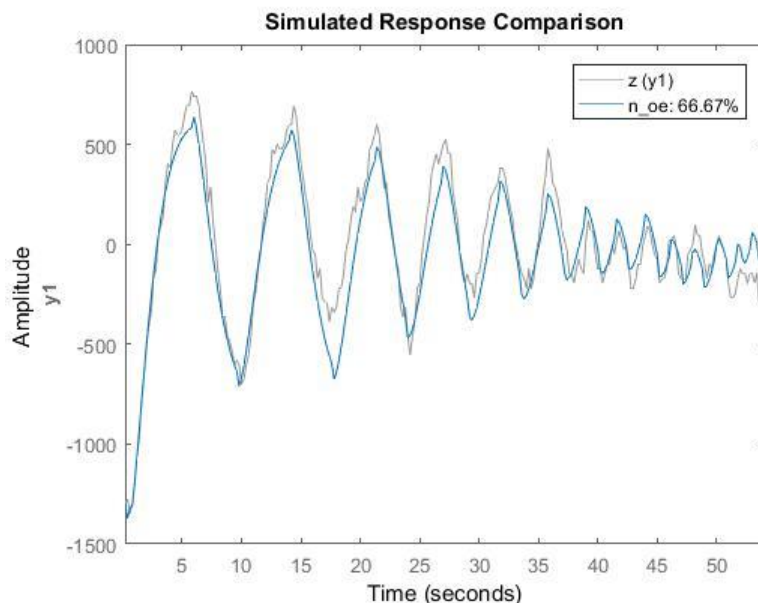
A szabályozó létrehozásának elsődleges feltétele, hogy tisztában legyünk a TKT-1-es átviteli függvényével, majd annak ismeretében a PID szabályozó megtervezhető és finom hangolható. Az identifikációs mérés alapját a TEDDI különleges üzemmódja adta. Az üzemmód sajátossága, hogy a szelepfeszültségre (kb. 17 V-os középvezültségre), mint bemenetre egy folyamatosan csökkenő periódusidővel rendelkező négyzögjelet vezérlünk ki, amire a hajtómű valamilyen módon reagálni fog. Ez a reagálás fordulatszám formában lesz a kimenetünk, ami rögzítésre kerül. Az átviteli függvény definíció szerint a kimenőjel és a bemenőjel zérus kezdeti feltételekkel vett Laplace-transzformáltjainak hányadosa, azaz:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (7)$$

A $G(s)$ meghatározása érdekében két identifikációs mérés került lebonyolításra. A vizsgálat során nyert fordulatszám és feszültség adatok normálásra kerültek, hiszen a szabályozórendszer részére a differencia fordulatszám érték a fontos. A diszkrét idejű rendszer átviteli függvény közelítése mindkét esetben MATLAB-ban, azon belül az „Output-Error” függvény segítségével lett meghatározva. Több mérést végeztünk, ezek közül egyről közlünk ábrát.



18. ábra A mérés bemenetének (lent) és kimenetének (fent) normáltja



19. ábra A mérés (szürke) és annak közelítő függvénye (kék)

A mérés esetében a szelep középfeszültsége 17,86 V, a fordulatszám középértéke pedig 41 883 1/min volt. Fontos megemlíteni, hogy a sugárhajtómű széles üzemmód-tartományban erősen nemlineáris viselkedést mutat, így az általunk alkalmazott lineáris megközelítés csak egy adott munkapont szűk környezetében modellezheti helyesen a működést. Az alkalmazott amplitúdót tehát szükséges volt csökkenteni, de nem túlságosan, hogy a létrejövő eltérések még jóval kiemelkedjenek a mérési zajból. Amint a 19. ábrán látható, a kimeneti függvény Matlab által közelített alakja 66,67% pontossággal közelíti az eredeti kimenetet, jól szemléltetve az előző gondolat helyességét, miszerint egy munkapont szűkebb környezetében megmaradván a lineáris közelítés jobban illeszkedik a mért adatsorra. Amint a diagramon látható, csak igen nagy frekvenciájú szelepváltoztatásoknál mutatkozik jelentős eltérés.

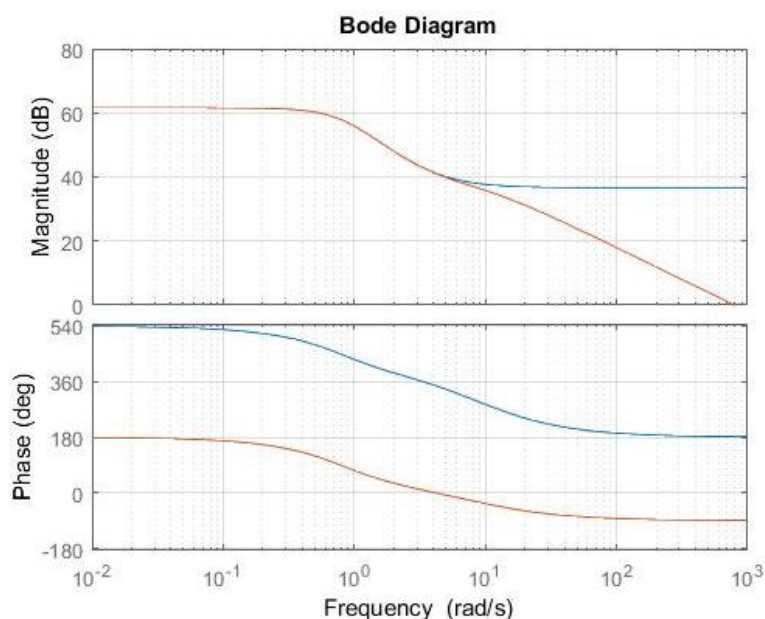
A rendszer folytonos átviteli függvénye a Tustin módszerrel való konverzió után:

$$G(s) = \frac{-68,01 \cdot s^3 + 792,9s^2 - 340,3 \cdot s - 7871}{s^3 + 11,34 \cdot s^2 + 14,05 \cdot s + 6,542} \quad (8)$$

Mivel a számláló harmadfokú tényezője jelentősen – egy, esetleg kettő nagyságrenddel – kisebb, mint a számláló többi tagja, ezért azt elhanyagoltuk. Az így kapott egyszerűsített alak:

$$G(s) = \frac{792,9 \cdot s^2 - 340,3 \cdot s - 7871}{s^3 + 11,34 \cdot s^2 + 14,05 \cdot s + 6,542} \quad (9)$$

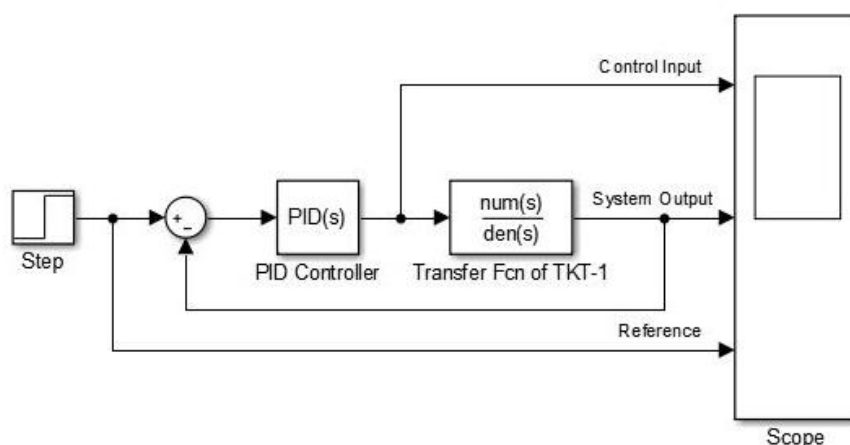
Az egyszerűsítés előtti és utáni átviteli függvényekhez tartozó Bode-diagramokat a 20. ábra szemlélteti.



20. ábra A (8) és (9) átviteli függvények összehasonlítása Bode diagramban

Az ábra alapján megállapítható, hogy 20 rad/s és afeletti körfrekvenciák esetében amplitúdóban jelentős eltérés tapasztalható, azonban ez a tartomány – mivel a gyakorlatban 1 másodperc alatt 5-ször történő gázkar pozícióváltást jelentene – számunkra nem releváns. A fáziszög egyszerűsített függvénye 540° helyett 180°-ról indul, azonban jellegre megegyeznek, így az egyszerűsítés végrehajtható.

Az átviteli függvény meghatározása után a PID szabályozó hangolása volt a feladat. Az egyes tagok meghatározását a MATLAB programba beépített Simulink környezetben végeztük, amiben teljes rendszereket lehet blokkdiagram formájában modellezni, majd vizsgálni. A megvalósított blokkdiagramot a 21. ábra mutatja.



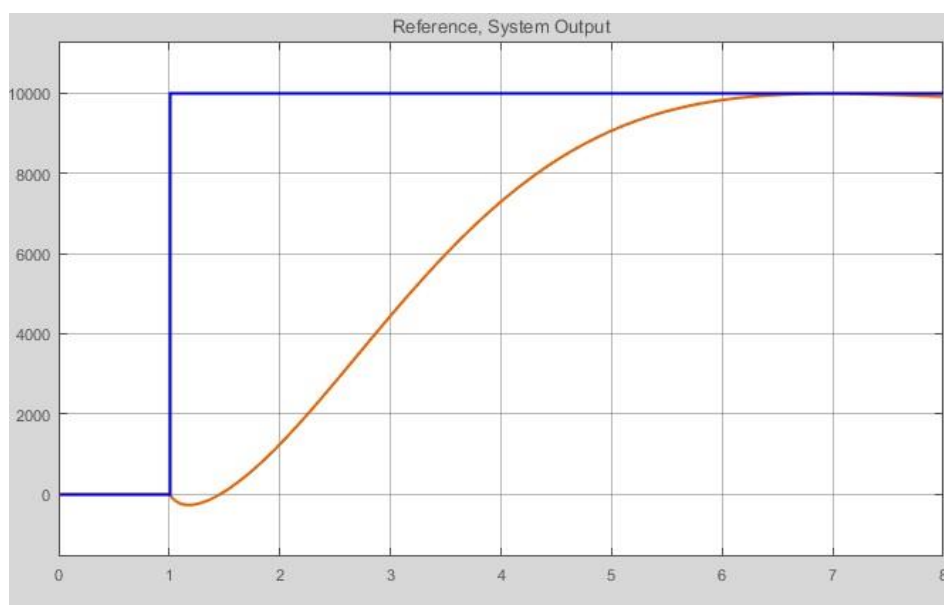
21 ábra A megvalósított szabályozórendszer Simulink blokkvázlata

A gyors hangolás végrehajtását a PID tagok beállításánál található hangoló (Tune) funkció segítette. Az automatikus hangolást igényeinknek megfelelően végezhetjük jelkövetés, kiegyensúlyozottság, valamint adott külső zavarra való reagálás szempontjából. A referencia jelkövető (Reference tracking) üzemmód kiválasztása után megtörtént a program által javasolt PID tagok meghatározása. Ezután a beállítás sebességét, valamint a rendszer tranziens viselke-

dését két csúszkával lehet optimalizálni. Esetünkben sikerült egy olyan konfigurációt találni, ami túllendülés-mentes, valamint a beállási idő 4,93 másodperc, ami elfogadható. A differenciáló tagra esetünkben nem volt szükség, így csupán PI típusú szabályozóról beszélhetünk. Az egyes tagok értékei a következők:

- $P = -4.9046 \cdot 10^{-4}$
- $I = -3.43619 \cdot 10^{-4}$
- $D = 0$

Ezután a szabályozó működését a virtuális oszcilloszkópon (Scope) tudtuk nyomon követni, amire a referencia jelet (Reference: az ábrán kék), és a rendszer kimenetét (System Output: narancssárga) kötöttük. A szabályozó megvalósításakor a kivezérelt jel korlátosságára is ügyelni kellett, hiszen a szelep vezérlőfeszültsége nem vehet fel tetszőleges értéket.



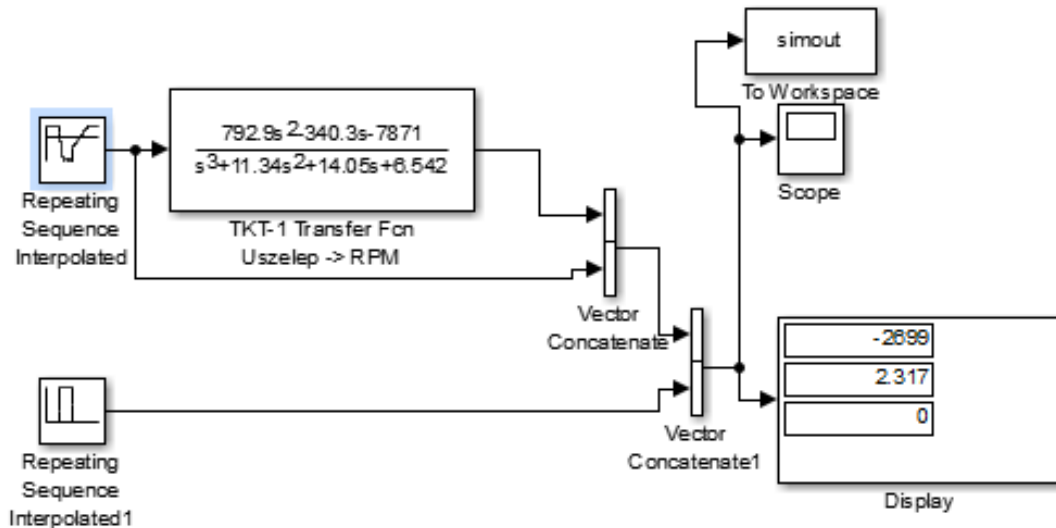
22. ábra A referencia jelet (sötétkék) és a rendszer kimenete (vörös)

A szabályozó Kinetisbe való implementálásánál fontos kiemelni, hogy annak megvalósítása továbbra is mintavételezési eljárás alapján, így a már folytonos időben, frekvenciartományban megállapított adatokat diszkrét időtartományban értelmezett alakra kell alakítani.

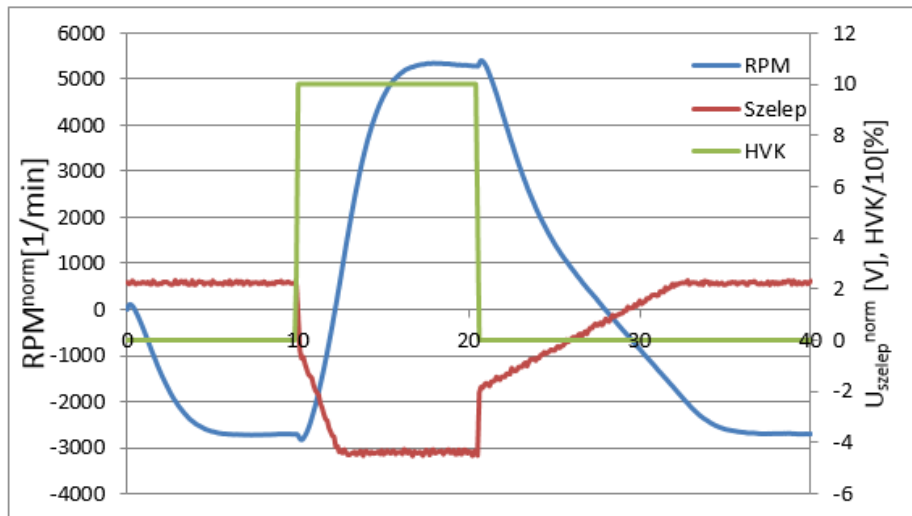
A tervezett szabályozó tesztelése

Az átviteli függvény közelítéséből fakadóan a szabályozó egy G_n néveleges átviteli függvényre lett megtervezve. Azt, hogy a gázturbina valójában hogyan fog viselkedni, nem tudtuk, azonban tisztában szeretnénk volna lenni, hogy a közelített modell hogyan reagál egy valós HVK, és ebből következő U-szelep bemenetre. Utóbbi normalás után került bevitelre. Ebből fakadóan az élesben történő kipróbálás előtt szeretnénk volna megbizonyosodni a szabályozónk helyes működéséről. A Kinetist hozzákapcsoltuk a szelephez, ami kapott egy csatornát a duplikált HVK-ból, és egy tesztpanel segítségével szimuláltuk a gázturbina által keltett fordulatszám-jeleket. A mérés maga abból állt, hogy a tesztpanel fordulatszám-jelét beállítottuk egy fix értékre, majd a HVK-val eltérő parancsjelet generáltunk. Rögzítettük a Kinetis által kiadott szelepfeszültség lefolyást, majd a MATLAB-ban már létrehozott modellre, mint bemenet vezettük rá az így lemerített szelepfeszültség időbeli változását. Ehhez kis mértékben át kel-

lett alakítani a korábban már megalkotott blokkdiagramot. Az így létrejövő új rendszert, a 23. ábra mutatja be. A kimenetet fordulatszámokban kaptuk meg, ami tízezres nagyságrendű, ugyanakkor a HVK és U-szelep értékei 10-es nagyságrendbe esnek. Ennek köszönhetően a Scope-on történő ábrázolásban csak a fordulatszám értékek látszódnak, így a jobb szemléltetés érdekében az említett paraméterek a szimuláció eredményéből készült, Excel-diagramban lettek ábrázolva, amit a 24. ábra mutat be.



23. ábra A SIMULINK-ben átalakított modell az előzetes szimuláció számára

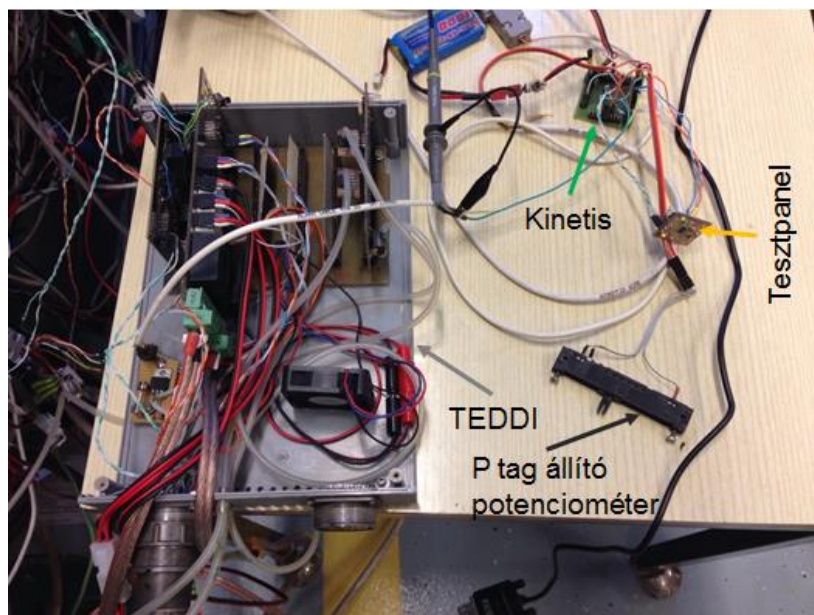


24. ábra A MATLAB szimuláció eredménye

A vízszintes tengelyen az idő szerepel másodpercben, az elsődleges tengelyen a fordulatszámot jelöltük, aminek negatív értékei a vezérlőjel kiválasztott referenciától való eltérésként történő normalálásának köszönhető. A HVK megváltoztatására reagáló hajtóműmodell a kék görbe szerint válaszol, aminek jellegét elfogadottnak ítéltük.

A már szabályozó képességgel felruházott mikrokontroller a fent említett teszt mellett még a Terminal programban is kipróbálásra került (25. ábra). A vizsgálat alapját egy már korábban elkészített tesztpanel segítette, ami fordulatszám (RPM) és HVK jeleket tud imitálni. A nyomtatott áramkörön található két potenciométer, aminek változtatásával biztosított a fordulatszámértékek és HVK pozíció szimulálása. A két ellenállás állítása a kis méretek miatt kisméretű csa-

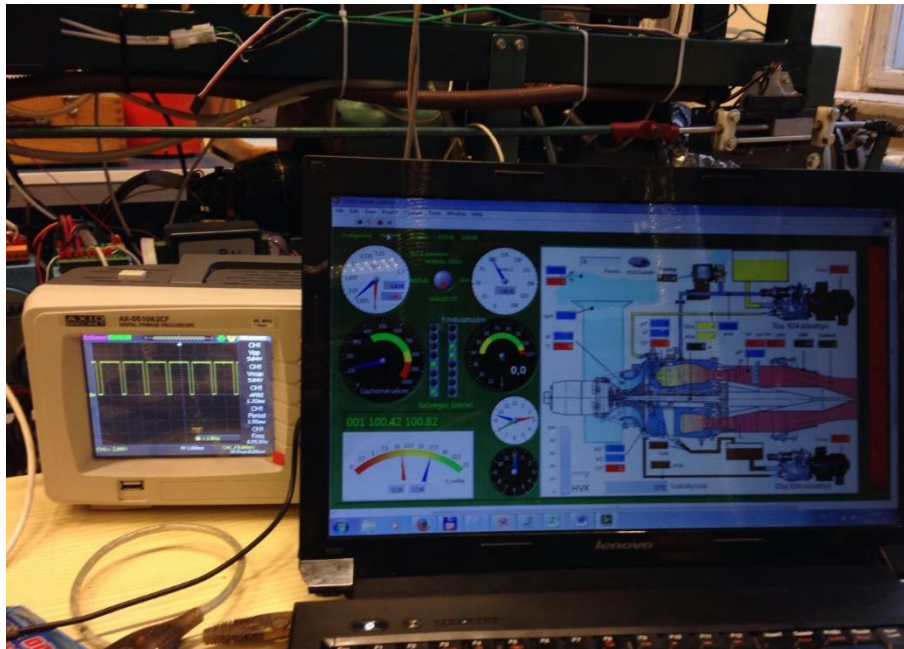
varhúzóval lehetséges. A Kinetis által fogadott RPM és HVK jeleket, valamint a szabályozó P és I tagjának értékeit a Terminal programban figyeltük meg és rögzítettük. A szabályozót ezek alapján finomítottuk, mivel az vizsgálatok elején a P tag értékét túl nagyra ítéltük.



25. ábra A tesztelést megvalósító kapcsolás

Az éles mérés előtt még egy biztonsági intézkedést hajtottunk végre. A PI szabályozónk D tag hiányában csak a P taggal tudna a gázturbinára veszélyes lenni. Ilyen eset lenne például egy P tag által okozott túllövés. Az arányos tag értékét jelenlegi viszonyok mellett csak a Kinetis forráskódjában lehet módosítani, ami működés közben nem túl praktikus. Ennek érdekében egy lineáris potenciométer lett bekötve a Kinetisbe, mely a P tag gyors módosítását teszi lehetővé a gázturbina működése közben is. Az említett intézkedések után a szabályozó megérett az élesben történő kipróbálásra.

Az U_{szelep} vezérlését változtatható kitöltési tényezőjű PWM jel biztosítja, amit idáig a TEDDI vezérelt ki. A Kinetis „összeházasítása” a szeleppel nem volt egyszerű. Eredetileg 400Hz-en próbáltuk szabályozni a szelepet, azonban az így kapott szelep visszacsatolást vizsgálva erősen fűrészes jelleget kaptunk. Ez a jel nagyjából 0,3 V-os amplitúdóval és 2,5 másodperces periódusidővel rendelkező lengések jöttek létre az állandósult állapotok helyett, melynek fel-futó élei lassabban, lefutó élei gyorsabban jöttek létre fűrészfog jellegű jelalakot létrehozva. Mivel a gázturbina 0,6V-nyi eltérésre körülbelül 1000 ford/perc eltéréssel reagál, ez a jelenség semmiképpen sem volt megengedhető. A fűrészjel amplitúdója főleg kis feszültségeknél volt jelentős, majd a feszültség növelésével folyamatosan csökkent. Ennek ellenére még nagyobb feszültségeknél is zavaró, közel tized volt nagyságrendű maradt. A megoldást a 640Hz-re való áttérés nyújtotta, mely értéket hosszas kísérletezés, empirikus meghatározás során értük el, és vélhetően a szelep és a tekercs öngerjesztésével függhet össze. A PWM jelet oszcilloszkópon, míg a szelepfeszültség értékének változását a Terminal programban és a méréshez létrehozott LabVIEW programban vizsgáltuk, mely kísérleti összeállítás a 26. ábrán látható.

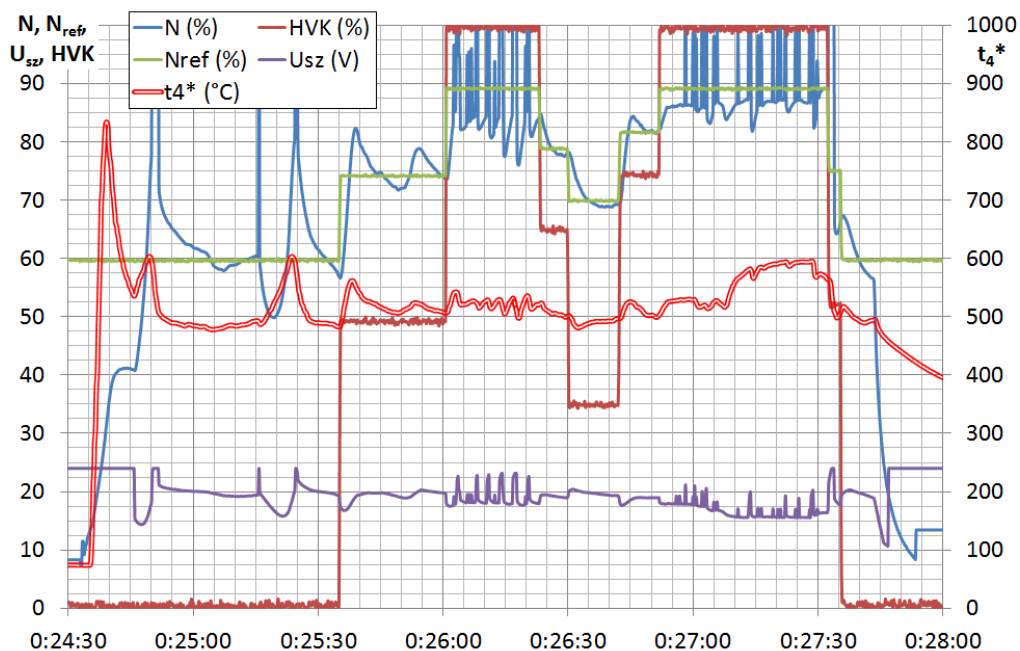


26. ábra Az U_{szelep} jelének vizsgálata. A monitor bal alsó részében látható a szelepfeszültség (kék mutató: referencia feszültség, piros mutató: aktuális feszültség. A mutatók átlagértéket mutatnak, az oszcilloszkóp a szelepre ténylegesen kimenő PWM jelet)

A szabályozó élesben történő kipróbálása

Az utolsó lépés a szabályozó TKT-n való kipróbálása volt. A főkapcsoló bekapcsolása után következett a TEDDI önellenőrzése, ami kiterjedt a szelepre is, így a szabályozás átruházását csak ezután tudtuk lebonyolítani. Lecsatlakoztattuk a két vezetékét, ami az U_{szelep} vezérléséért felel, majd a Kinetishez csatlakoztattuk. Így már az új modul felelt a szabályozásért a TEDDI által levezenyelt indítási procedúra befejeztével, azaz 25 000 fordulatszám felett. Az alapjárat $30\,000 \frac{1}{\text{min}}$ -re, míg a maximális fordulatszám $45\,000 \frac{1}{\text{min}}$ -ben lett a modulban beállítva. A mérés eredménye a 27. ábrán látható. Már a mérés közben látni lehetett, hogy az aktuális fordulatszám adatsorba meglehetősen sok zavarjel, „tüske” került bele, amik a szabályozó megzavarásával meglehetősen egyenetlen fordulatszámgörbét okoztak. Ez a fűrészelés a diagramon is látható. A gázturbina indítása sem volt zökkenőmentes, a két akkumulátorral megtáplált indítómotornak a kinti hidegben $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os környezeti hőmérsékletnek köszönhetően – már füllel halhatóan is nehézkesen sikerült kipörgetni hajtóművünket alapjáratra. Ennek eredménye a diagramon is látható, hiszen a 40%-os fordulatszámnál (20 000-es fordulatszám környékén) a fordulatszám emelkedése megtorpan, majd egy csökkenés vehető észre, aminek a szelep beindulása vetett véget. Ez a jelenség könnyen okozhatta volna a gázturbina melegfennakadását is. Az alapjáratra kifutás nem igazán sikerült, a fordulatszám 60-80% közötti lengése figyelhető meg. A referenciajel követése csak nagyvonalakban sikerült, meglehetősen ingadozó fordulatszámot kaptunk, ami azonban a szabályozó finomításával kiküszöbölhető. Fontos megjegyezni még azt is, hogy az átviteli függvény a fordulatszám egy szűk tartományában lett megállapítva, azonban a gázturbina erősen nemlineáris. Ehhez képest a szabályozó leginkább a 0:26:00 és 0:27:30 között tette a dolgát, a 45 000-es fordulatszám elérésén kívül szépen reagál. A legjobb jelkövetést mutató rész a 0:26:30-tól 0:26:50-ig terjedő időtartomány, ott a HVK gyakori mozgására meglehetősen jól simul a tényleges görbe a referenciá-

hoz. A HVK állításoknál látható, hogy a P tag kissé erőteljesebb, így a maximális fordulatszám kivételével túl- és alullövések figyelhetőek meg. Egy, a túlpörgés megakadályozására szolgáló nyomáskorlátozó szelep miatt nem volt elég vezérlőnyomásunk, így a 45000-es fordulatszámot nem is értük el. A szabályozó jobb működése érdekében szükséges pár módosítást végrehajtani. Az egyik ilyen lenne a fordulatszámérés módosítása. Jó megoldásnak tűnik a jel kisimítására, ha egy új feltételt adunk meg a programban, melynek lényege az, hogy ha egy adott időkeretben (1-2 tizedmásodperc) többeszes fordulatszám eltérés jelentkezik, akkor azt hagyja figyelmen kívül, és tartsa meg az előző értéket. Ezáltal a szabályozót erősen zavaró jel, ami esetenként jelentős hibajeleket generál, kiküszöbölnénk. A másik feladat a PI szabályozó konstansainak további finomítása lenne.



27. ábra Az éles mérés eredménye

ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények értékelése

A cikk célja ismertetni a tervezett komponenseket a Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék tulajdonában lévő TKT-1-es gázturbinához.

A feladat részét képezte a kapott indukciós fordulatszámérő szenzor megfelelő elhelyezése a hajtóművön, ami Solide Edge-ben megtervezett, majd PET-G anyagból, 3D nyomtatással előállított konzol segítségével valósult meg. A cikkben a konzolon FEMAP-ban elvégzett szilárdsági ellenőrzés is bemutatásra kerül.

A szenzor által érzékelt jel feldolgozását egy 32 bites, 64 lábú Kinetis mikrokontroller hajtja végre. Cél volt egy olyan rendszer megalkotása, mely a TKT-1-es jelenlegi moduláris teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozórendszerbe (TEDDI) később egyszerűen beilleszthető, valamint nagyfokú megbízhatósággal rendelkezik. Jelenleg a Kinetis és a számítógép között RS232-n valósul meg a kommunikáció.

Mivel sikerült egy megbízható fordulatszám-mérő rendszert kialakítani, további cél egy fordulatszám alapján történő szabályozás megalkotása volt, kiegészítvén a TEDDI által már megvalósított TPR (Turbofan Power Ratio), EPR (Engine Pressure Ratio) szerinti szabályozást. Az ehhez szükségszerű úgynevezett identifikációs mérések ismertetésére is sor került. A folytonos idejű átviteli függvény megállapítása ezután MATLAB-ban történt, majd annak ismeretében ugyanazon program Simulink környezetében megállapításra kerültek a PID tagok értékei is. A Kinetisben ezután implementálva lett a folytonos idejű szabályozó diszkrét idejű változata. A tervezett szabályozó kipróbálása előtt több teszten is átesett a biztonság érdekében. Az ellenőrzések sikeressége után, a cikk beadásáig ki lett próbálva éles körülmények között is. Cél, hogy a TEDDI később akár kétcsatornás üzemmódban is tudna működni, ezáltal még több, manapság alkalmazott módszert és megoldást lehet majd segítségével a jövő mérnök-hallgatói számára bemutatni egy valódi gázturbina üzeme közben.

Továbbfejlesztési lehetőségek

Legfontosabb megemlíteni, hogy a szabályozó finomítása még hátravan. A CAN kommunikációhoz szükséges rendszer mind hardveres, mind pedig szoftveres részből kiépítésre került, azonban a TEDDI-vel való összekapcsolás és együttműködés még nem tökéletes, így annak befejezése még feladat. Méréseink során a legnagyobb problémát a 924-es tüzelőanyag szivattyú nem megfelelő működése okozta, ugyanis gyakran kellett mérés közben az U_{szelep} környezeti levegőhöz vezető csonkját ujjal betömni, és a vezérlőnyomást ezúton növelni, mivel a HVK változtatására esetenként nem reagált a szivattyú. Ez egyébként teljesen érthető, mivel egyrészt jócskán az üzemidején túl van használatban, ami miatt a belső kopások nagyobbak lehetnek a megengedettnél, másrészt pedig eredetileg egy néhány 10 másodpercig üzemelő, állandó fordulatszámot tartó gázturbinához lett eredetileg tervezve, vagyis egy hosszabb üzemelés alatt még egy üzemképes szivattyú is mutathatja a rendellenesség jeleit. A problémára megoldást jelenthet az olajszivattyúval történő csere, hiszen az jóval kisebb és közel állandó szállításoknak volt kitéve az elmúlt évek alatt. Elegánsabb módosítást jelentene a vezérlőnyomás szabályozását egy motoros vagy mágnesszelepre cserélni.

A cikk elején részletezett szabályozási módokban ismertetett átszámított fordulatszám szerinti szabályozás kiépítésére is sor kerülhet a jövőben, hiszen a kettő közötti átváltást egy konstans és egy torlóponti környezeti hőmérséklet gyök alatt vett hányadosa jelenti, aminek programozása valószínűleg nem okozna túl nagy nehézségeket. Mivel a hajtómű földön van telepítve, a Mach szám azonosan zérus lenne, azonban egy téli és egy nyári üzemeltetés során a környezeti statikus hőmérséklet jelentősen eltérhet. Ez a módosítás természetesen majdnem teljesen érvényét veszítené, ha az 'AE' laborban kiépítésre kerülő gázvezető megépülne, és a TKT kizárólag beltérben működne. A továbbiakban sorra kerül a mérő- és adatgyűjtő rendszer integrációja is, mely a TEDDI és az egész fordulatszám-szabályozó modulra is hatással lesz. A rendszer összevonására már nagy szükség van, hiszen az évek alatt a hibakeresés nagyon bonyolulttá vált.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BENEDA Károly, Dr. SIMONGÁTI Győző, Dr. VERESS Árpád: Járművek hő- és Áramlástechnikai berendezései. Budapest, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2011 (online) url: http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Dr.Veress_Arpád_anyagai/Oktatott_targyak/Jarmuvek_ho_es_aramlastechnikai_berendezesei_I/Jhoag_1_jegyzet_jo_v38.pdf (2017.03.13.)
- [2] ROLLS-ROYCE: The Jet Engine 5th Edition. Derby, England, 1996. ISBN 0 902121 2 35
- [3] Foroozan ZARE, VERESS Árpád: Derivation and Application of a New Equation for Design and Analysis of Triple Spool Mixed Turbofan Jet Engines with Verification. Acta Polytechnica Hungarica 13:(6) pp. 147-162. (2016)
- [4] VERESS Árpád, BICSÁK György, ROHÁCS Dániel: Pressure Loss and Flow Uniformity Analysis of Baseline and Redesigned Engine Inlet Duct for a Small Turbojet Aircraft. In: Czech Aerospace Proceedings, 2016/1, pp. 3-9.
- [5] Z. KATOLICKÝ, B. BUŠOV, M. BARTLOVÁ: Turbojet Innovation and TRIZ. 16th International Conference on Mechatronics, pp. 16-23, 3-5 Dec. 2014. doi: 10.1109/MECHATRONIKA.2014.7018230
- [6] Jakub Hnidka, Jiří Pečinka: Measurement automation for small jet engine testing. In: SAMI 2016, pp. 29-34. ISBN 978-1-4673-8740-8, DOI: 10.1109/SAMI.2016.7422977
- [7] Jiří Pečinka, Gabriel T. Bugajski, Adolf Jílek, Petr Kmoč: Small Engine Inlet Distortion Testing Device. In: International Conference on Military Technologies 2015. Brno, University of Defence, 2015, pp. 455-460. ISBN 978-80-7231-976-3
- [1] Dries Verstraete, et al., "Micro propulsion activities at the University of Sydney," in: *Proceedings of the PowerMEMS 2010 Conference*. 2010, pp. 255-258. (online) url: http://cap.ee.ic.ac.uk/~pdm97/powermems/2010/poster-pdfs/255_Verstraete_41.pdf (2017.03.12)
- [2] Ladislav Főző, Rudolf Andoga, Radovan Kovacs: Thermo-dynamic cycle computation of a micro turbojet engine. 2016 IEEE 17th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), Budapest, 2016, pp. 75-80. doi: 10.1109/CINTI.2016.7846382
- [3] BENEDA Károly: A „MARCEL” elektronikus sugárhajtómű szabályozó rendszer fejlesztése, Repüléstudományi Közlemények Különszám 2015. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_2/2015-2-16-0197-Beneda_Karoly_Tamas.pdf (2017.03.13)
- [4] BENEDA KÁROLY: Repülőgép hajtóművek elmélete II. (online) url: http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Beneda_Karoly_anyagai/BMEKORHA522/Rg%20hmu%20elm%20II%20jegyzet%20BK%202016.pdf (2017.03.13)
- [5] A. L. ROWE, N. KURZ: A Method of Obtaining an Indication of the Power Output of a Turbine. European Patent EP 1 069 296 A3, 2001.
- [6] GENERAL ELECTRIC: CF6-80C2 Electronic Control Unit Training Course, (1991), Technical Publication: 2665/5552, Doc.No.: A-RMO-62
- [7] Re/872. Az 55 típusú hajtómű műszaki üzembentartási szakutasítás 2. könyv. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1980.
- [8] BENEDA Károly, Rudolf ANDOGA, Ladislav FŐZŐ: Linear Mathematical Model adapted to Small Scale Turbojet Engine with Variable Exhaust Nozzle. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, megjelenés alatt.
- [9] BENEDA Károly: Development of a Modular FADEC for Small Scale Turbojet Engine, Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics 2016. pp. 51-56, ISBN 978-1-4673-8740-8, DOI: 10.1109/SAMI.2016.7422981
- [10] BENEDA Károly, Dr. SÁNTA Imre: Kisméretű gázturbinás sugárhajtóműves kísérleti berendezés és matematikai modellje. GÉP, 2008/2, pp. 15-25, ISSN 0016-8572.
- [11] Tony WHELAN: Polymer Technology Dictionary. Springer, Dordrecht, 1994. ISBN: 978-94-010-4564-3
- [12] Physical Properties for VIVAK® PETG Sheet (online) url: <http://www.usplastic.com/knowledgebase/article.aspx?contentkey=537> (2017.03.13)
- [13] Dr. VARGA Zoltán, SZAUTER Ferenc: Járműmechanika (online) url: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0007_09-Jarmumechatronika/adatok.html (2017.03.13)

- [14] FREESCALE SEMICONDUCTOR: KE06 Sub-Family Data Sheet. (online) url: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MKE06P80M48SF0.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1> (2017.03.13)
- [15] LEPOSA Norbert Krisztián: TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű szabályozása TPR alapján. Szakdolgozat, BME VRHT, Budapest, 2013

DEVELOPMENT OF ROTOR SPEED MEASUREMENT OF EXPERIMENTAL GAS TURBINE

Aircraft are typically powered nowadays with gas turbine engines, which have electronic control system almost without exception. In contrast to other fields of industry, the operational rotor speeds are one or two magnitudes higher. At the Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles of BME there is a small scale turbojet engine for educational and research purposes, the TKT-1, which has a digital control based on Engine Pressure Ratio (EPR) and Turbofan Power Ratio (TPR) as well. The rotor speed measurement, mostly due to the previously mentioned property, has not been developed yet, however. The present work has the goal to introduce the reader into the realization of a rotor speed measurement system from the mechanical aspects through electronic circuits up to the operational tests. The aim of this work was to create such a device, which can be fit into the present modular FADEC system. Besides the design of electronic circuits, the authors have created the firmware of the 32-bit microcontroller in charge for the data acquisition and control.

Keywords: gas turbine, FADEC, control, microcontroller, TKT-1, jet engine, RPM

Kisszölygyémi István (BSc)
hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem
Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

istvankisszol@gmail.com
orcid.org/0000-0003-4463-6222

Kisszölygyémi István (BSc)
Student
Budapest University of Technology and Economics
Department of Aeronautics Naval Architecture and
Railway Vehicles

istvankisszol@gmail.com
orcid.org/0000-0003-4463-6222

Beneda Károly (PhD)
mérnök-tanár
AEROK Repülőműszaki Oktató és Szolgáltató kft.
karoly.beneda@aerok.hu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Beneda Károly (PhD)
maintenance training engineer
AEROK Aviation Technical Training Centre
karoly.beneda@aerok.hu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Faltin Zsolt (MSc)
PhD hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem
Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

zsfaltin@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-8361-1397

Faltin Zsolt (MSc)
PhD Student
Budapest University of Technology and Economics
Department of Aeronautics Naval Architecture and
Railway Vehicles

zsfaltin@vrht.bme.hu
orcid.org/0000-0002-8361-1397



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-11-0377_Beneda_K-Kisszolygyemi_I-Faltin_Zs.pdf

Szabó Sándor András

FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG ÉS EGÉSZSÉG-TUDATOSSÁG REPÜLÉSBIZTONSÁGI JELENTŐSÉGE

A katonai repülés mind kiképzési mind hadműveleti körülmények között nagyfokú fizikai teljesítőképességet, kitartást és fizikai erőt követel meg, amely elválaszthatatlan a repülésélettani stressz tényezők okozta azonnali megfelelő szív-érrendszeri, keringési reflexek aktiválásától. Csak megfelelő aerob és anaerob csúcsteljesítmény tudja biztosítani a cselekvőképesség fenntartását a gyorsulások/túlterhelések alatt, illetve teszi lehetővé a vegetatív idegrendszer aktivációját nagymagasságú, oxigénhiányos környezetben. Az általános edzettség természetesen nélkülözhetetlen a hosszútávú munkavégző képesség fenntartásához, a szív-érrendszeri betegségek rizikótényezőinek csökkentéséhez és a szellemi-lelki koncentrációhoz, kitartáshoz, önbizalomhoz és a repülési motiváció fenntartásához is, így összességében a repülésbiztonság nélkülözhetetlen eleme a humán faktor oldaláról.

Kulcsszavak: fizikai teljesítmény, repülésélettani stresszorok (gyorsulás-túlterhelés, hypoxia tudatosság, magassági adaptáció), hirtelen cselekvőképtelenség és fizikai állóképesség

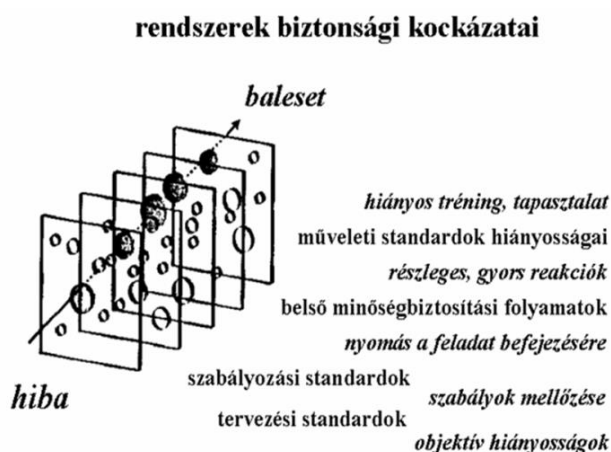
BEVEZETÉS

A jövő hadviselésében a repülőeszközök megőrzik prioritásukat, a manőverezőképesség fenntartása ezért ma is fontos szempont, amely a magassági és gyorsulási sebességi paraméterek széles határok közötti további biztosítását követeli meg. Technikai-harcászati oldalról a fejlődés (a hadiipari és politikai érdekeknek megfelelően) szinte töretlen. „A XXI. században is elvárt, hogy a korszerű vadászrepülőgépeknek – mind hangsebesség alatt, mind felette egyaránt – jó manőverjellemzőkkel kell(ene) rendelkezniük, bár a légi harc perspektívájában is döntően hangsebesség alatt ($v=140-250$ m/s sebességtartományban) fog lezajlani. A nagy pontosságú fedélzeti fegyverzetének eredményes működtetéséhez szükséges tűzmegnyitási pozíciót a gépek statikus instabilitásával és vezérelhető tolóerővektorával támogatott „szuper manőverező-képesség” hivatott biztosítani [1]. A technikai fejlődés pedig a forgószárnyas repülőeszközök esetében is a manőverező-képesség növelésének alapjait teremti meg [2].

Ugyanakkor a repülőtechnika teljesítmény növelésére irányuló törekvéssel nem mindig tartott lépést a biztonság oldaláról a pilóta személyi védőfelszerelése, pl. a magassági és G – túlterhelés ellen védő ruházat illetve nadrág, sőt a gyakorlati földi alapú szimuláció, a repülőorvosi kiképzés módszertana sem, barokamrai szimulált magassági felszállások és centrifuga edzések során.

A megfelelő műszaki védelem (vagy automatizálás) és a fejlett életfenntartó rendszerek relatív elégtelensége miatt a pilóta pillanatnyi cselekvőképességét még mindig a saját „nyers” fizikai állóképessége, reflex szintű szív-érrendszeri válaszképessége és agyi keringést fenntartó reagálóképessége határozza meg, sok esetben korlátozza. A „Push the limit” („Told ki a határokat” mellett a „May the Force be with You” („Az Erő legyen Veled!”) immár klasszikus szlogen tartalmi koherenciájára is szükség van (természetesen itt nem valami elvont spirituális erőre, hanem a tényleges fizikai cselekvőképességet megalapozó kapacitásra gondolok).

Repülésbiztonsági szempontból ez azt is jelenti, hogy az ember-gép-környezet dinamikus viszonyában az ember a legsérülékenyebb, „esendőbb”, a leggyengébb láncszem, (ha a Reason féle sajt elmélet szemléletes példáját vesszük, az utolsó szelet), amely pillanatnyi szellemi-mentális *és fizikai teljesítményével* meg tudja akadályozni (vagy felgyorsítja) a hibaláncolat végigfutását a katasztrófaig [3]. A „*hiányos tréning*” fogalmába ebben az értelmezésben a nem megfelelő fizikai felkészítés és edzetlenség is beleértendő (1. ábra) [3].

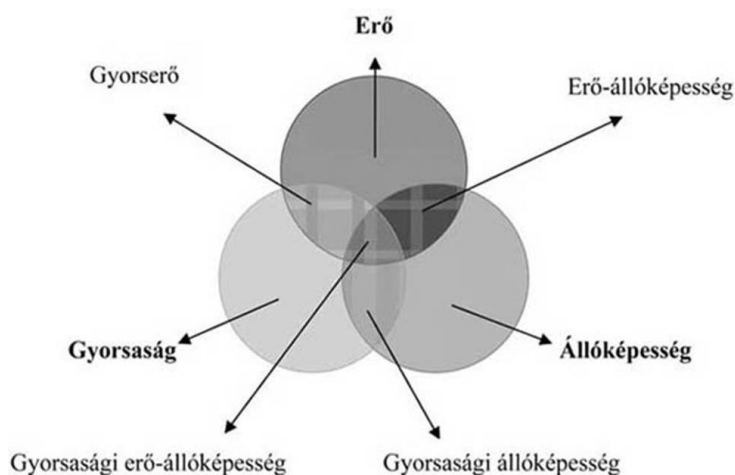


Napjainkban is alapvetés, hogy (főleg a katonai) repülésben a korszerű (vadász)gépek repülése és taktikai fegyverzetük kezelése magasan képzett, „tökéletesen egészséges” jelöltek kiválogatását, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben felkészített pilóták rendszerben tartását követeli meg. (A pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.) Valamennyi légierő nagy erőfeszítéseket tesz annak érdekében, hogy már a kiválasztás során a repülésre legalkalmasabb, a legjobban teljesítő, a kombinált stressz szituációkat legjobban elviselő jelölteket válasszák ki, a kiképzés a lehető leggazdaságosabb legyen. Ebben a fogalomkörbe a fizikai edzettség szerinti szelekció és speciális, célzott felkészítés is beletartozik.

FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG AZ OXIGÉN HASZNOSULÁS SZEMPONTJÁBÓL

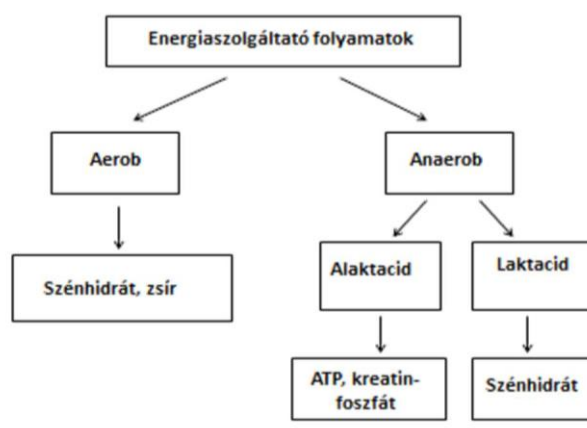
A fizikai állóképesség beilleszthető a szélesebb értelemben vett kondicionális képességek közé, melyek az ízületi (aktív és passzív) mozgékonyasággal, rugalmassággal és a koordinációs (mozgás szabályozó, alkalmazkodó-átállító és tanulási) képességekkel együtt holisztikusan és evolúciós szempontból is hosszútávra meghatározzák háromdimenziós mozgásainkat [4].

A klasszikus fizikai állóképességet a sportorvostan-edzéstudomány tárgyalja részletesen, elsősorban a különböző időtartamú és távú futásra, kidolgozva annak elméletét, fokozásának lehetőségeit, természetesen figyelembe véve az edzettség másik két sarokpillérét, az erő és gyorsaság (bizonyos esetekben a rugalmasság) jellemzőit is [5] (2. ábra). *Állóképesség nélkül nincs tartós munkavégzési képesség sem.*



2. ábra A fizikai képességek komplexitása [5]

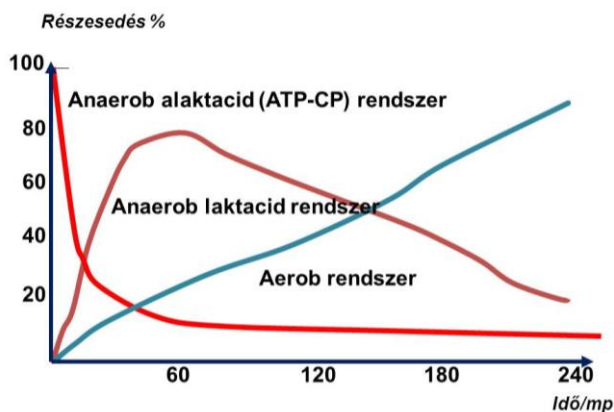
Tágabb értelemben a fizikai állóképesség (stamina, köznapiban vett „szívósság”) a szervezet energianyerési folyamataira épülő fizikai képesség, amely lehetővé teszi egy adott pszicho-motoros tevékenység jellemző intenzitásának minél hosszabb ideig történő fenntartását. Attól függően, hogy aktuálisan van-e jelen elég oxigén (aerob környezet) vagy hiányzik (anaerob viszonyok) illetve képződik-e tejsav (laktát), illetve mi a fő energia szolgáltató vegyület, a folyamatok didaktikus szétválasztása az alábbiak szerint lehetséges (3. ábra) [6].



3. ábra Oxigénfüggő (aerob) és tejsav termelő (laktacid) energia szolgáltató folyamatok elvi szétválasztása [6]

Az energiatermelés makroerg (nagy energiájú) foszfátkötést tartalmazó molekulák elbontását és folyamatos utánpótlását jelenti a sejt szintjén, mely kezdetben „raktári készletről” – a kreatin foszfát felhasználásával, tejsav megjelenése nélkül – később pedig ATP (adenozin trifoszfát) nagy energiájú foszfátkötéseinek bontásából származik. Oxigén jelenlétében (aerob viszonyok) a folyamat bőséges ATP termelést biztosít, anaerob körülmények között az energiadús tápanyagok lebontása azonban elakad a piroszőlősav szintjén, amiből tejsav képződik.

Természetesen e folyamatok más-más időbeli dinamikával, de egyszerre vannak jelen és folyamatosan biztosítják az energia igényes folyamatok, pl. a fizikai terhelés során jelentkező többlet szükségletet, de lényegesen eltérő ideig (4. ábra) és az általuk biztosított energiaforrás is nagyságrendileg különböző (5. ábra).



4. ábra A három nagy biológiai energiaszolgáltató rendszer részesezési aránya az eltérő időtartamban végzett maximális erőki fejteésekben [7]

Jelleg	Folyamat	Termelődött ATP
Anaerob alaktacid	$ATP = ADP + P + E$	-
Anaerob alaktacid (ATP reszintézis)	$Kreatin-P + ADP = ATP + C$	1 mol
Anaerob laktacid	$szénhidrát = tejsav + ATP$	2 mol
Aerob	$szénhidrát = CO_2 + H_2O + ATP$	38 mol
Aerob	$zsír = CO_2 + H_2O + ATP$	131 mol

5. ábra ATP hozam a biológiai energiaszolgáltató rendszerek függvényében [6]

Egyszerű számvetéssel az izom ATP készlete kb. 10 összehúzóásra elegendő. Az ATP készlet kimerülése után az ATP regenerációja kreatin-foszfát segítségével történik: kreatin-P + ADP = kreatin-trifoszfát, azaz kb. 50 összehúzóás, kb. 10 s, 100 m-es síkfutás teljesíthető vele. A terhelés elején az **első 30 másodpercben** a kreatin-foszfát készletek azonban már kimerülnek. Ezt követően a glikolízis, majd **3 perc múlva** a biológiai oxidáció termeli az ATP-t. Tartós összehúzóás során romlik az izom vérellátása, így **oxigén ellátása is**, miután a mioglobinhoz¹ kötött oxigéntartalékok is kimerülnek, megindul a tejsavas erjedés [6].

Az időbeli lefutás szemlélteti, hogy a leghosszabb távon, tartósan – elegendő oxigén mellett – csak az aerob folyamatok tudják kellő intenzitással fenntartani a mitokondriumban (az energiatermelésért felelős struktúra a sejten belül) a légzési lánc energiatermelését. Ez mind egyszeri fizikai munkavégzés, mind az ismétlődő fizikai terhelés kapcsán igaz tengerszinti nyomáson (oxigén parciális nyomása kb. 160 Hgmm), figyelembe véve, hogy az edzettség kialakulásával a tejsav termelés későbbre (nagyobb munka intenzitás felé) tolódik ki, a kifáradás jelei később jelentkeznek.

Az oxigén biokémiai szinten történő teljes hasznosulásához **mikroszinten** a sejt energia termelő (oxigén felhasználással járó) folyamatainak, a légzés-keringés makroszintjén az adekvát

¹ vázizomzat oxigénköti fehérjéje

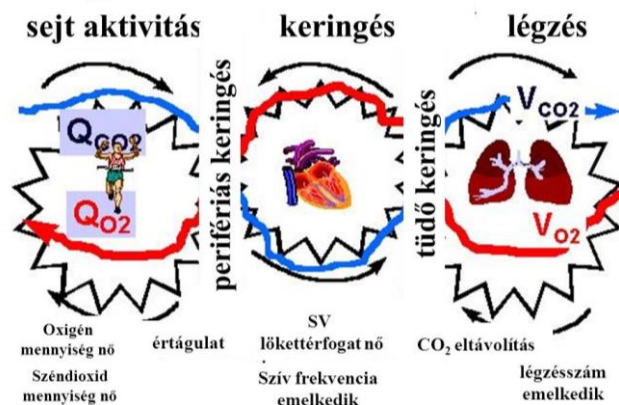
oxigénfelvevő-szállító és széndioxid elszállító-kiürítő keringési és légzési paramétereinek dinamikus „felpörgetésére” van szükség, az egymásba kapcsolódó Wassermann ciklusok révén (6. ábra) [8][9].

Emelkedik a keringési és légzési perctérfogat (légvétel mélysége ill. a szív balkamrájának lökettérfogata és a frekvencia is), sejtszinten pedig a mitokondriumok szintjén nő meg az oxigén hasznosulás. Rendszeresen végzett állóképességi terhelés hatására létrejövő legfontosabb élettani változásként nő a vázizomzat sejtjeiben a mitokondrium sűrűség, nő az aerob anyagcserében szerepet játszó citoszolom enzimek koncentrációja, ill. aktivitása a mitokondriumban, nő a vázizomzatban a kapilláris sűrűség, fejlődik az oxigén felvevő és szállító apparátus, emelkednek a szív balkamra morfológiai és funkcionális mutatói, nő a vérben a haemoglobin (oxigénszállító vérfesték molekula a vörösvértestben) mennyisége, koncentrációja.

A normális (tengerszinthez közeli) sportolás és a repülés közbeni akut (illetve a tartós magashegy edzés, hegymászás okozta) oxigénhiány alapvetően eltér, mind az oxigén kínálat, mind a széndioxid légzést és agyi keringést vezérlő hatása, mind a bekövetkező akut vér pH eltérések, következésképpen az aktuális energiatermelő képesség tekintetében is.

Tengerszinten a terhelés fokozatos növelésekor az oxigén hasznosulás sokáig lépést tart az energia szükséglettel (a kreatin foszfát és ATP termeléssel), csak később kezd a vér pH savi irányba eltolódni a tejsav okozta acidózis miatt, az izmok fokozott perifériás működése és a légzési láncban a széndioxid előállítás és tüdőkeringésbe szállítása pedig adaptívan fokozza a tüdő és az agy keringését. A maximális oxigénfelvételt (VO_2max) a nyugalmi értékhez viszonyítva ($1 MET^2 = 3,5 \text{ ml O}_2/\text{testsúlykg/perc}$) egészséges fiatalnál az edzettség függvényében 10-18-szoros értéket is kaphatunk a maximális aerob kapacitás jellemzésekor, bajnok sportolók 20 MET értéket is elérhetnek.

WASSERMAN ciklusok



6. ábra A sejt- és légzés-keringés szintű terhelési adaptáció³ [8][9]

² MET: metabolikus ekvivalens: nyugalmi ülő helyzetben mért oxigénfogyasztás percre és testsúlykilogrammmra számítva

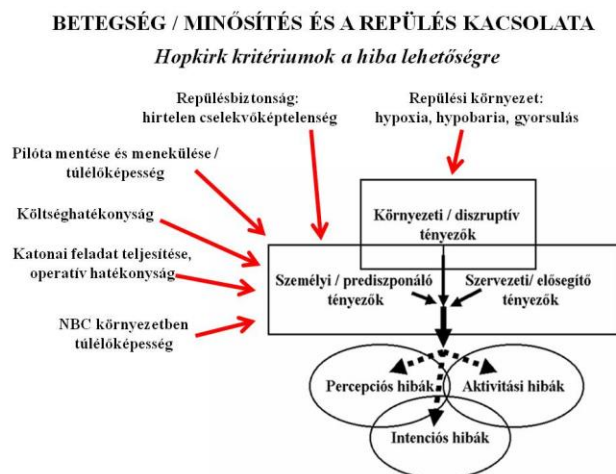
³ Q_{CO_2} és Q_{O_2} széndioxid és oxigén mennyiség sejtszinten, V_{CO_2} és VO_2 térfogat a tüdőben, SV – stroke volume balkamra lökettérfogata

FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG REPÜLÉS-ÉLETTANI ÉS BIOKÉMIAI VONATKOZÁSAI

Annak a végső repülésbiztonsági célnak az eléréséhez, hogy ne a humán tényező legyen a leggyengébb láncszem, azaz a sikeres feladat teljesítést korlátozó, limitáló tényező, vagyis ahhoz, hogy a pilóta az aktuális harci feladatot „béke” kiképzési körülmények között és hadműveleti területen is magas színvonalon el tudja látni, szükség van a mentális teljesítmény, lelki elkötelezettség (motiváció) mellett a **fizikai teljesítőképesség folyamatos biztosítására**. Csak az „ép testben ép lélek” ókori elv érvényesülésével érhető el a szellemi-lelki-fizikai erő-kifejtés teljes harmóniája, amely kritikus helyzetben (vészhelyzet vagy harci manőver során, ellenséges területen a túléléshez) nélkülözhetetlen a sikeres feladat végrehajtáshoz. (A Hopkirk kritériumok írják le a pilóta teljesítmény minősítési szempontjait humán orvosbiológiai szempontból harctéri alkalmazás, sérülés vagy betegség esetén, melyek a hibafolyamatban személyi predisponáló tényezőként közrejátszhatnak (7. ábra). [10] Ennek gyakorlati fontosságát valós NATO hadművelet és harci kutató-mentő feladat végrehajtása is igazolja.⁴

A pilóta fizikai állóképességének jelentőségét két fő szempontból értelmezhetjük:

1. a repülésélettani paraméterek (gyorsulás, oxigén hiány) okozta **pillanatnyi** extrém fizikai teljesítményigény (pl. „dogfight” légi harc, műrepülés közben, illetve nagymagassági kihermetizációkor, vagyis a kabinyomás hirtelen elvesztésekor, a túlnyomásos légzés okozta, fordított légzési ciklussal járó, erőltetett légzéssel járó erőfeszítés kapcsán).
2. A szív-érrendszeri kockázati tényezők okozta (alapvetően az érlemeszesedéshez progresszív folyamatához köthető) megbetegedési kockázatát alacsony szinten tartva, **hosszútávra** határozza meg a pilóta munkavégző képességét.



7. ábra Pilóta minősítési szempontjai a hibalehetőség szempontjából [10]

Ehhez természetesen szükség van a fizikai állóképesség (fitness) biokémiai – élettani háttérnek ismeretére, és az állóképesség fokozás lehetőségeinek elemzésére a speciális repülési környezetben, összevetve a technikai (teljesítményfokozó) megoldások, illetve szomatikus (testi-fizikai) tűrőképesség javításának lehetőségeit a kiképzés során. A hosszútávú fizikai

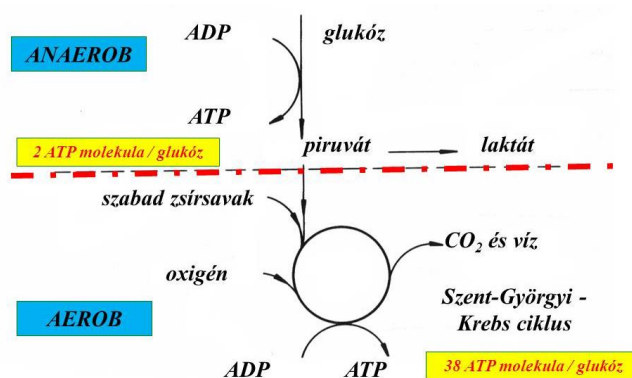
⁴ „Beyond enemy lines – Ellenséges terület” című film Owen Wilson főszereplésével a délszláv válság során szerb terület fölött lelőtt F-117 (Lopakodó) amerikai gép pilótájának (Dale Zelko szlovén származású tiszt) túlélő képességét szemlélteti.

állóképesség jelentőségét pedig a Honvéd Testalkati Program nemcsak a pilóta állomány, hanem a sérülékenyebb (szív-érrendszeri rizikó faktorokkal halmozottan rendelkező repülést kiszolgáló mérnök-műszaki állomány) repülőorvosi szakszolgálati engedélyeinek minősítése során bizonyítja, az egészségnevelés és fejlesztés kardinális fontosságát hangsúlyozza.

Hirtelen cselekvőképtelenséget leggyakrabban a fej-láb irányú gyorsulás/túlterhelés okozta akut agyi keringésromlás (G-LOC⁵) és a magassági oxigénhiány tud okoznia, mindkettő a túlterhelés/hypoxia függvényében akár 15 s alatt teljes eszméletvesztést provokálhat, ily módon a legnagyobb repülésbiztonsági élettani kockázat.

HYPOXIA – „még mindig csendes gyilkos”

A biokémiai háttérrel (a tengerszinti normális oxigén résznyomás mellett teljes oxigenizációt és a nagymagassági hypoxiát, csökkent külső oxigénkínálatot, szöveti alacsony oxigén szintet) 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 (8. ábra) –, sem a légzés-keringés szintjén nem következik be olyan adaptív válasz, ami a Wassermann ciklusok akadálytalan felpörgetését lehetővé tenné.



8. ábra Intermediér anyagcsere és ATP képzés [11]

Az agy szintjén a vegetatív idegrendszer speciális tónusvesztése miatt minimális a terheléses válaszreakció, a légzés szintjén pedig kiesik a kisvérköri tüdőkeringés fokozódása és a passzív széndioxid kimosás miatt a légzési perctérfogat (légzési frekvencia és mélysége által meghatározott légzésintenzitás) sem lesz kellő mértékű. Az előbbi az Euler-Liljenstrand reflex miatt – a hypoxia szűkíti a tüdőkeringésben az ereket, miközben a nagyvérkörben értágító hatású –, az utóbbi pedig a tüdőben lecsökkenő széndioxid 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 NIRS⁶ technikával közvetlenül mérhető és bizonyítja a magassági hypoxia elhúzódó, agyi keringést rontó hatását. Vagyis mind az agyi légzés-keringés vezérlés, mind az oxigén transzport rendszer, mind a fizikai teljesítménnyel jel-

⁵ G-LOC: G induced loss of consciousness (túlterhelés okozta eszméletvesztés)

⁶ NIRS: Near infrared spectroscopy: infravörös tartományhoz közel 880 mikrométernél meghatározott agyi oxigénszint a homloklebeny fölé helyezett elektródákkal.

lemzett vázizomzat fokozottan szenzitív az oxigén hiányra és széndioxid kimosásra, komplex adaptációs zavar alakul ki (9. ábra) [12].

Ennek következménye, hogy a magasság függvényében az oxigénhiány és széndioxid vesztes miatti agyi érzékület együtt érezteti hatását, a mentális teljesítménycsökkenés sokkal kritikusabb, mintha csak az oxigén kínálat csökkenne le, de a széndioxid szint változatlan marad [13].

Ezért a hypoxia „még mindig csendes gyilkos”, ami hadműveleti körülmények között is érezteti hatását: már tízezer láb alatt is hypoxia okozta kognitív zavarról számolnak be helikopter pilóták (számolási nehézség, dezorientáció, szédülés), 10–14 ezer láb (3000-4200 m) közötti magasságon pedig Apache 64D pilóták 70%-a egyértelműen teljesítmény csökkenést tapasztalt [14].

Az aerob terhelhetőségnek sajnos nincs egyértelmű, biztos prediktív értéke a jó hypoxia tűrő képességre. Barokamrában (földi körülmények között szimulált magasságban) az éves repülő-alkalmassági minősítő vizsgálat során az 5500 m magasságon hypobárikus hypoxiában nyújtott teljesítmény nem korrelál egyértelműen a fizikai (szív-érrendszeri) teljesítőképesség klinikai megítélésére alkalmazott kerékpár ergometriás teljesítménnyel. A klinikailag kivizsgált, „egészséges” és a kerékpár terhelésen az elvárt minimum 2,2 W/testsúlykg 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: vérnyomás-csökkenést, pulzus lassulást és a szellemi teljesítmény jelentős csökkenését, az önmentésre való képtelenséget. Ezt az ájulás közeli vagy a keringés tényleges összeomlását jelentő ájulásos rosszulletet a megelőző klinikai vizsgálatok eredményei nem jelezték előre, amelynek oka a hypoxia és a hyperventilláció, azaz az oxigénhiány és széndioxid kimosás szokatlan együttállása miatt kialakuló egyedi megterhelés, amely az agytörzsi légzés és keringés szabályozó központok továbbá a szív-érrendszeri reakciók gyors alkalmazkodását igénylik [12].



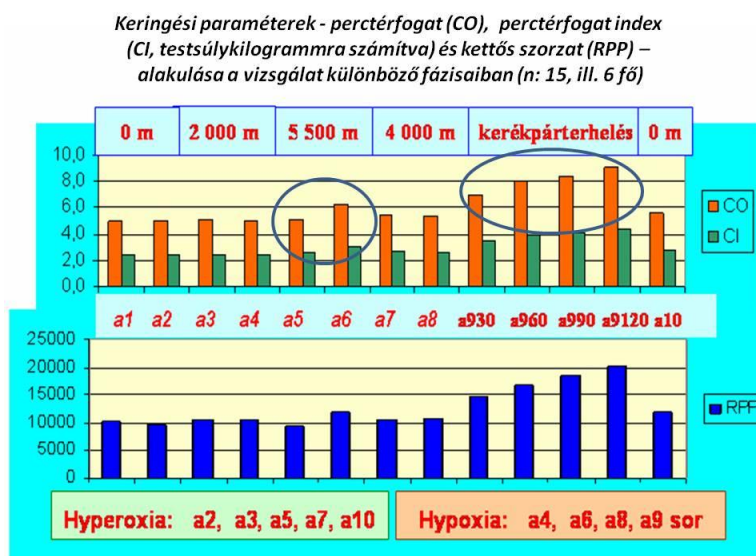
9. ábra Oxigénhiány okozta egyensúlyvesztés a vegetatív idegrendszerben [12]

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 ráakadik 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 vérfesték molekula számá-

ra rendelkezésre áll, hogy az amúgyis csökkent parciális oxigénnyomás gradiens mellett az oxigén felvétel (szaturáció) megtörténjen.

A magassági terhelés alacsonyabb maximális keringési és légzési perctérfogatot eredményez, csökkent szívizom pumpafunkcióval és elérhető maximális teljesítménnyel. Beteg emberen már 3000 méteres magasságban mintegy 10%-kal csökken a fizikai teljesítmény MET egységekben kifejezve [15]. 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 (pl. Afganisztánban). A magasság- és terhelésfüggő akut hegyi betegség veszélyét NATO Szövetségi publikáció is részletesen ismerteti. Felhívja a parancsnok figyelmét az akklimatizáció, a magassághoz és oxigénhiányhoz történő *fokozatos* hozzászokás – akklimatizáció – fontosságára, az akut hegyi betegség kialakulásának veszélyére [16].

A terhelési kapacitás még sportolóknál, hegymászóknál is jelentősen beszűkül: a maximális oxigénfogyasztás (VO_2max) és pulzusszám csökken (a tüdő korlátozott oxigén felvétele és a tüdőerek szimultán szűkülete mellett). *Tengerszinten* a VO_2max 46 l/min, P: 180/min normális értéke **6310 m**-n VO_2max 1 l/m 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! Normobáriás hypoxiában (tengerszinti össznyomáson, de az oxigén százalékos arányának csökkentésével) nemcsak barokamrában, de ROBD⁷ készüléken is mérhető a hypoxiás terhelhetőség csökkenése: itt 1/3–1/3 arányban a belélegzett levegő oxigén szintjének csökkenése, a tüdőkeringés romlása és a perifériás (láb) keringés visszaesése okozza a VO_2max vesztsést [17].



10. ábra Keringési teljesítmény jellemzők alakulása a hypoxiás terhelés fázisaiban (n: 6 fő)

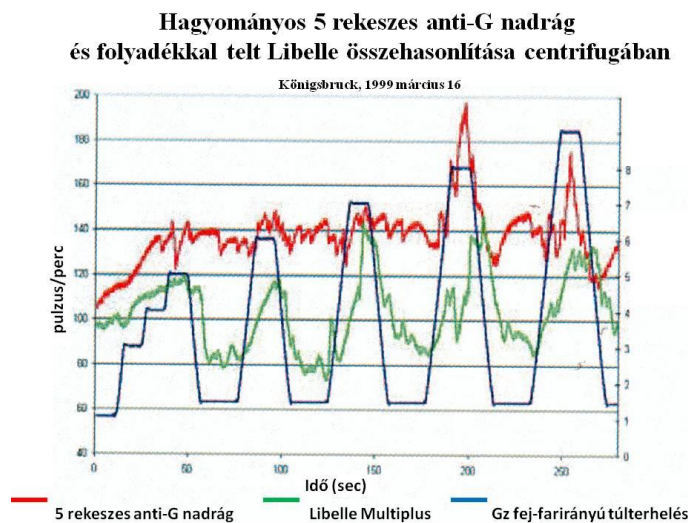
Saját kísérleti elrendezésünkben Impedancia Kardiográf segítségével vizsgáltuk barokamrában a nyugalmi és kerékpár terheléses maximális terheléses kapacitás alakulását. A 4000 m-es kerékpár terhelés alatt tapasztaltuk az élettani adaptáció jeleit, a perctérfogat és a frekvencia

⁷ ROBD: Reduced Oxygen Breathing Device: Csökkentett oxigéntartalmú (normobáriás) gázkeverék Lélegeztető Eszköz: 10,5% arányú oxigén kb. 5300 m-es magasságnak felel meg.

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 (10. ábra) [12].

GYORSULÁS – „eszméletvesztés álomképekkel”

A földi evolúció során az élő szervezetek az 1 G gravitációs erőterhez alkalmazkodtak, a másodpercek alatt fellépő 5–9 G-s túlterhelés a harci repülések során szinte megoldhatatlan feladatot jelent a keringési és vérnyomás fenntartó reflexek számára. Fej-far irányú túlterhelésnél az agy szintjén a vérnyomás (hidrosztatikai nyomás) hirtelen leesik, az agyi vérátáramlás megszűnik, G-LOC alakul ki. A periférián (elsősorban az alsó végtag visszér rendszerében) megrekedő jelentős vérmennyiség⁸ akutan hiányzik a keringésből, amit a szervezet csak a pulzusszám emelkedésével és az időfüggő vérnyomás emelő reflexek beindításával tud ellensúlyozni: 6–9 G-s túlterhelési tartományban nem ritka a 160–200 közötti pulzusszám és a kamrai ritmuszavar (a szív saját koszorúereinek is romlik a keringése). Ez a rendkívül magas pulzus szükséglet a hagyományos rendszeresített anti G védőruhákkal (FCAGT⁹, Libelle Plus¹⁰) csak mérsékelhető (11. ábra) [18].



11. ábra azonnali pulzus szám emelkedés túlterhelés során, különböző technikai védelem mellett [18]

Élettanilag azonban az azonnali adaptáció így is csak részleges lehet, hirtelen túlterheléskor a vérnyomás csak lassan tér vissza az elfogadható szintre, ami elfogadhatatlan cselekvőképességi kockázatot jelent. (nem kellemetlen, álomképekkel kísért teljes és részleges emlékezetvesztés, „lebegés” kísérheti, akár 15–30 s időtartamban) (12. ábra) [11].

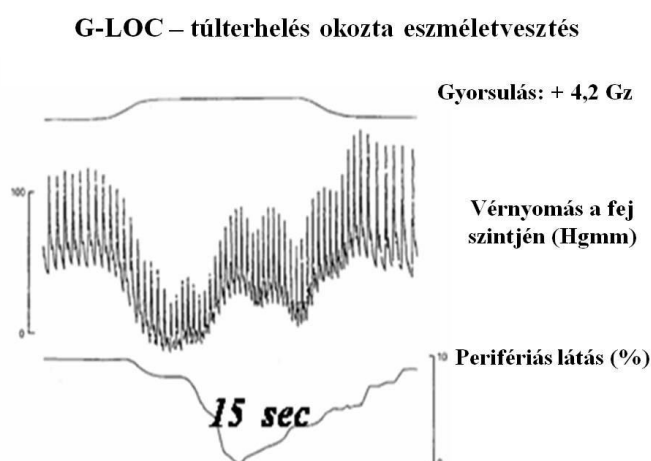
⁸ pooling – a vér összegyűlése az alsó testfélben fej-far irányú túlterhelés során

⁹ FCAGT: full coverage anti G trousers – gázzal telt, teljes testfedésű anti G nadrág

¹⁰ Libelle plus: folyadékkal telt anti G ruha

Folyamatos kényszer az anti-G feszítés (AGSM¹¹ - izometriás izomkontrakció fenntartása az alsóvégtag és a gluteális régió nagy izmaiban ill. a hasprés és Valsalva manőver¹²), ami rendkívül fárasztó. A legújabb fejlesztésű pneumatikus G-RAFFE¹³ ruhánál csökken csak értékelhetően az eszméletvesztés és a kifáradás kockázata, még változó irányú túlterhelés, push-pull manőver során is [19].

Az aerob edzettség elsősorban a fokozatos pulzusszám emelkedéssel, a VO₂max emelésével és a tejsav termelés időbeli eltolásával csökkenti a fáradtságérzetet, javítja a terhelhetőséget. Ez a fajta edzettség azonban nem jelent feltétlenül előnyt, sőt még biztos cselekvőképességet sem repülési stressz helyzetben. Kiváló magyar pilótanövendék (civilben testnevelőtiszt) 18 MET aerob kapacitással (elit kategória a maximális oxigénfelvevő képesség alapján) az NFTC¹⁴ programban alkalmatlan minősítést kapott, előbb a kiképzési repülés alatt bejöveteleszállás során enyhe bedöntés közben 3–4 G körüli értéknél bekövetkezett eszméletvesztés, majd a kivizsgálás során a Lengyel Repülőorvosi Intézet varsói centrifuga létesítményében lassú túlterhelési profil (GOR¹⁵) közben 6 G túlterhelésnél bekövetkező eszméletvesztés és átmeneti cselekvőképtelenség miatt. Az előzetes supramax (teljes kimerítéses futószőnyeg) terhelés során a szívfrekvencia elérte a 200/min értéket, a centrifugában – **rövidebb összerhelési idő alatt, alacsonyabb frekvenciánál** (150/min) már összeomlott az agyi keringése!



12. ábra Azonnali vérnyomás esés és látásromlás fej-farirányú túlterhelés alatt [11]

Általánosságban is elmondható, hogy a kb. hasonló időtartamú (10–15 s időtartamú) 100 méteres síkfutás során a vázizomzat ciklikus izotóniás és izometriás kontrakciója (erő és gyorsaság komponense), valamint az anyagcsere és keringés változása (energia és oxigén felhasználása a kapilláris denzitás növelésével) sokkal gyorsabb és hatékonyabb adaptív erő és gyorsaság

¹¹ AGSM: anti-G straining manoeuvre – túlterhelés elleni izomfeszítési manőver

¹² Valsalva manőver: légzés visszatartás és hasprés a mellkasi nyomás emelésével növeli az agy szintjén is a vérnyomást, ílymódon segít fenntartani az agyi keringést.

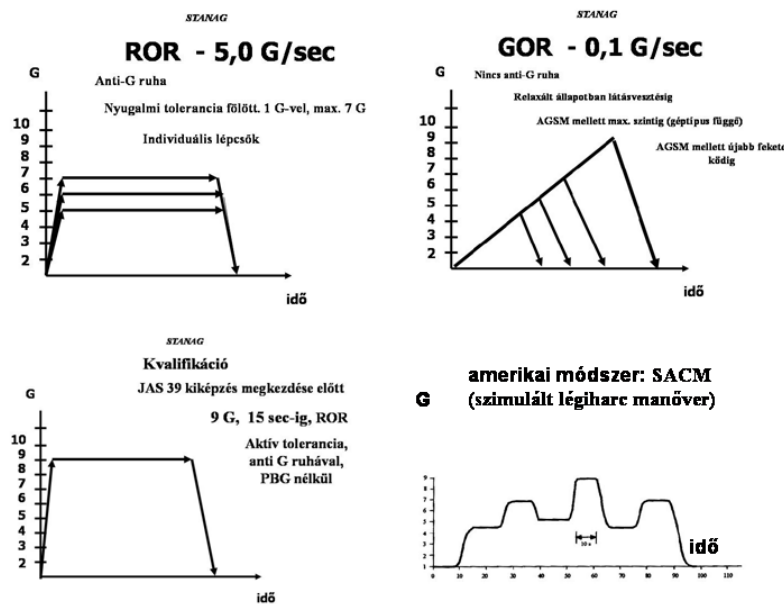
¹³ G-RAFFE - G-NIUS Pte Ltd által fejlesztett okos G védelem: reliable - megbízható, advanced – fejlett, fast – gyors, fighter – harci pilótáknak, equipment - felszerelés

¹⁴ NFTC – NATO Flight Training in Canada – a NATO közös repülőharcászati kiképző programja, melyben leendő magyar pilóták is részt vesznek még a GRIPEN átképzés előtt.

¹⁵ GOR: gradual onset rate, kb. 0,1 G/sec túlterhelés növekedési profil centrifuga létesítményben

ság választ tesz lehetővé, mint a G-túlterhelés alatti AGSM és Valsalva, melynek célja a túlterhelés alatt a vér hidrosztatikai nyomásgradiensének növekedése miatt az alsó testfélben extrém módon növekvő, a szív szintje fölött (főleg az agyban) lecsökkenő vérnyomás kompenzálása, a vér kirekesztődésének, pangásának megakadályozása az alsó végtagokban. Az ülő helyzetben centrifugában végzett 7 G túlterhelés elviselése 15 másodpercig NATO szabvány szerint rögzített, elvárt G tűrőképességi minimum vadászpilóták esetén. Megjegyzendő, hogy ehhez képest a magyar GRIPEN pilótákat még szigorúbban (15 másodperces, 9 G túlterhelés ROR¹⁶ profil mellett) minősítik, a svéd követelmények szerint (13. ábra) [20].

A gyorsulás okozta akut adaptációt a sportorvostanban a Wingate teszttel lehet leginkább modellezni, melynek során az anaerob kapacitást mérjük (a módszert az 1970-es években, Izraelben, a Wingate intézetben fejlesztették ki). A felmérés során a vizsgált személy lábával, maximális frekvenciával hajt egy kerékpárt, melyen azonnal szubmaximális (a maximális teljesítőképesség 80–90% -át elérő) teljesítmény szintet kell elérni, ellenállással szemben, harminc 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. 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.



13. ábra lassú (GOR) és gyors (ROR) ütemű túlterhelés a svéd GRIPEN programban, valamint a szimulált légiharc profilja

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 szakaszét meghaladó teljesítmény leadás. Ennek értéke valószínűsíti az alaktacid, foszfátokkal megszerezhető energiakészletet. Az átlagos teljesít-

¹⁶ ROR: Rapid onset rate – 3–5 G/s gyorsulási ütem növekedés

mény kiszámítható a 30 másodperc alatt folyamatosan mért fordulatszám alapján számított pillanatnyi teljesítmények átlagaként, mely a bruttó anaerob kapacitást jellemzi.

De ez a folyamat („hirtelen csúcsrajáratás”) is csak akkor működik, ha az agy és szív szintjén a vérátáramlás teljes, vagyis az akut agyi keringésromlás nem gátolja a vérnyomás reflexek megfelelő aktivációját! „Agyatlanul”, agyi keringés biztosítása nélkül a keringés összeomlása ezt a teljesítményt is lerontja. Bár pl. a Svéd Légierő Repülőorvosi Intézetében minden repülő kategóriánál alkalmazzák a tejsav küszöb meghatározást¹⁷ és a Wingate tesztet a szelekciós folyamatban, a G-tűrő képességet igazából a DFS¹⁸ centrifuga tesztek során kell felépíteni a jelölteknel és minősítő csúcsterhelés során igazolni a GRIPEN átképzés során.

FIZIKAI ÁLLÓKÉPESSÉG ÉS EGÉSZSÉGNEVELÉS A KATONAI PÁLYÁN

A sport, a fizikai edzettség jótékony hatása sokrétű: javul az aerob szív teljesítmény, javul a munka teljesítmény, csökkennek a test/vérzsír szintek, csökkent a depresszió és szorongás, hosszabb élettartamot eredményez. Ezt a sportorvosi és kardiológiai klinikai útmutatók egyértelműen bizonyítják [21]. A fizikai edzettség jelentősége a katonaaállomány számára még egyértelműbb: alacsonyabb megbetegedési hajlam és halálozási mutatók mellett hosszabb ideig - megtartott cselekvőképesség és munkaképesség, megtartott hadrafoghatóság lesz az eredménye. A fizikai edzettség jelentősége a pilóta számára még közvetlenebb: fizikai stresszorokkal szembeni ellenállóképessége nő, javul a repülésbiztonság humán összetevője.

Az általános jóllét és egészségi állapot meghatározásában több, mint 50%-ban az egészséges életmód meghatározó. Bár a repülő-hajózó állomány mind a polgári-, mind a katonai repülésben egészség tudatosabb, a várható megbetegedési és halálozási mutatók ugyanazt a betegség csoport eloszlást mutatják, mint az általános populációban, legfeljebb 3–5 évvel későbbi kezdettel, köszönhetően a rendszeres szűrésnek és egészségnevelésnek. A leggyakoribb és legveszélyesebb szív-érrendszeri betegségek szempontjából meghatározó, közös pathomechanizmusra, az atherosclerosis (érelmeszesedés) általános folyamatára visszavezethető elváltozások azonban a pilóták populációját is érintik, legyen szó bármely repült géptípusról. Az érelmeszesedés fiatal korban megkezdődik és szervi lokalizációtól függően hamar tüneteket okozhat [22].

Ilyen szempontból a pilóták megbetegedési statisztikája, morbiditási jellemzői az általános népesség betegségi statisztikájával mutat hasonlóságot: a kor előre haladtával fokozódik a szív koszorúereiben az érelmeszesedés. A közforgalmi repülésben egyébként még aktív (tehát tünetmentes) pilóták 43%-ánál már komoly, kórbontanilag értékelhető elváltozás volt kimatatható. [23] Még a USAF Amerikai Légierő statisztikáiban is a végleges letiltások között vezető helyen szerepelnek olyan népegészségügyi problémát jelentő, az általános populációban is leggyakoribb betegségek, mint a szív koszorúér betegség, magas vérnyomás betegség és a cukorbetegség. [24] A halálos légibalesetek statisztikáiban még az egészségügyi szem-

¹⁷ OBLA teszt: Onset Blood Lactate Accumulation – tejsav felhalmozódási küszöb, az aerob-anaerob küszöb átcsapás meghatározására.

¹⁸ DFS: Dynamic Flight Simulator: dinamikus repülési szimulátor (centrifuga) Linköpingben

pontból szigorúan ellenőrzött katonai repülő-hajózó állomány körében is fordul elő hirtelen szívhalál okozta légikatasztrófa (14. ábra) [25].

Ezért nem csak orvosi etikai szempontból, de a repülésbiztonság érdekében is változatlanul nagy figyelmet kell fordítani a rendszeres szűrővizsgálatokra, figyelembe véve azok nem 100%-os prediktív (jósló) értékét, keresni kell az érlelmeszesedésre utaló korai jeleket. Különösen a harcéri, aktív missziók esetében figyelembe veendő a stressz, a vegetatív izgalmi szint kóros fokozódása, ami viszonylag fiatal életkorban is váratlanul okozhat cselekvőkép-
telenséggel járó ritmuszavart, vagy mellkasi fájdalmat (anginát) az érlelmeszesedés talaján. (Afganisztánban HH 60 G helikopter zuhant le hatfős személyzettel a fedélzetén; a térbeli dezorientáció mellett erősen felmerült a 39 éves, korábban teljesen egészségesnek tartott pilóta akut cselekvőkép-
telensége a mellkasi fájdalom miatt. A szív koszorúerein a boncolás során ugyanis a bal főtörzsön 95%-os szűkületet találtak.) [26].

EGÉSZSÉGÜGYI TÉNYEZŐK SZEREPE A HALÁLÓS LÉGIBALESETEKBEN				
Kategória	Összes baleset	Egészségügyi okok		
		SZÍV érrendszeri	Egyéb	Összes (%)
Vitorlázó	67	6	2	8 (12)
Magán	375	9	17	26 (7)
Kereskedelmi	114	4	1	5 (4)
<i>Katonai</i>	<i>407</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>8 (2)</i>
Ejtőernyő/ siklóernyő	37	0	0	0
ÖSSZES	1000	22	25	47 (4,7)

14. ábra Halálos légibalesetek egészségügyi okai [25]

Az emelkedett szív-érrendszeri rizikóprofil (dohányzás, testsúly fölösleg, magas vérzsírok, magasvérnyomás) elleni időbeli küzdelem a nem gyógyszeres (non-farmakológias, életmódi) therápia időbeni bevezetésével kezdődik, magában foglalja a diétás tanácsadást, testsúly csökkentő előírást és annak visszaellenőrzését, a máj esetleges elzsírosodásának korai monitorizálására a májfunkció gyakoribb ellenőrzését, kondíciójavítást és ennek visszaellenőrzését soron kívüli kerékpár terheléses vizsgálattal. Ezekre a figyelem felhívó és ösztönző módszerekre a mindennapi repülőorvosi gyakorlatban egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk, biztató eredményekkel: a repülő-hajózó állomány hosszútávú követéses vizsgálatai az egészségtudatos, fitt, alacsony szív-érrendszeri rizikójú pilóták rendszerben maradását igazolják [27].

A klinikai szempontú (kardiológiai tapasztalaton alapuló¹⁹) szív-érrendszeri rizikó elemzést (haskőrfogat mérése) először az Amerikai Légierő emelte be a fizikai edzettséget megítélő kombinált pontszámba: csak 50%-ot ad az aerob földi síkfutásra, 30%-ot a testalkatra (ez gyakorlatilag a haskőrfogat mérését jelenti) és 20%-ot az izomerőre (felülésre és fekvőtámaszra). (A haskőrfogat férfiaknál 102 cm fölött magas kockázatú, kóros, más tényezőktől

¹⁹ EBM: Evidence Based Medicine – tényeken alapuló orvoslás

függetlenül emeli a szív-érrendszeri történés kockázatát. A BMI²⁰ testtömeg index pedig 25 kg/m²-ig optimális.)

A fizikai teljesítőképesség túlzott (vagy egyéb pl. gyógyszeres) növelése a légierő vonatkozásában veszélyekkel járhat. 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 ugyan javította a futási teljesítményt, de magasabb szívfrekvencia tartomány mellett, tehát repülési környezetben alkalmazása ellentmondásos lenne [28]. Helyette szintén kanadai szerzők felvetik az izomerő-feszítés, különösen a légzőizmok erősítését-gyakoroltatását a G-tűrőképesség fokozására [29].

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 kapacitással már képes megfelelni a Hornet által támasztott +G_z gyorsulás tűrő képességi kihívásoknak: átlagos maximális oxigén felvételük 50 ±6 ml oxigén/testsúlykg/min volt, ami 14 MET-nek felel meg [30]. Ugyanakkor az Izraeli Légierőben a kiválogatás során szelekciós előnyt jelentett a nagyobb aerob kapacitás (Astrand féle kerékpár teszt), sőt az anaerob teljesítmény teszt eredménye is (magasugrás) [31].

Magyar pilótanövendék példájával szemléltettem, hogy a gyorsulás-túlterhelés tűrőképesség szempontjából a túlzott aerob kapacitás nem biztos, hogy előnyös. Aki sokat fut, annál a szív-érrendszere gyakran egy gazdaságos „alapjáratot” alakít ki, alacsony pulzusszámmal, nagyobb szív összehúzóerővel, 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 szívizomzattal) rontsa a G gyorsulástűrő képességet [32].

Az Amerikai Légierő kidolgozott egy súlyemelő programot is, amely a vázizomzat tartós megfeszítésével és izometriás összehúzóerővel az anti-G feszítési manőver hatékonyságát volt hivatott növelni. Úgy találták, hogy 12 hetes speciális súlyemelő program révén 53%-kal sikerült növelni a SACM²¹ a tűrőképesség idejét [33]. Később – az ízületekre 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 (Sältenäs) légibázison 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 típusal ugyanis egyértelműen összefügg a mágneses rezonancia képeken látható ágyéki I–IV. csigolya elfajulása a nagy manőverező képességű gépeken repülő pilótáknál [34]. Ilyen típusú edzés (erőgép, TRX²², funkcionális, saját súllyal történő edzés) a gerincoszlop működési egységeinek (izmok, szalagok, kiegészítő izmok) épségét őrizheti meg, meg-

²⁰ BMI: Body Mass Index – testfelszín m²-re számított testsúly kilogramm

²¹ SACM: simulated air combat manoeuvre: szimulált légi harc centrifuga programban

²² TRX: teljes testtel végzett ellenállásos edzés (Totalbody Resistance Exercise)

előzve a sisakra illesztett NVG készülék (túlterhelés alatt többszörös) súlya okozta fokozott nyaki izomfeszülés, nyakfájdalom és kopásos-elfajulásos betegségek kialakulását.

Hosszabb távon természetesen a fizikai edzettség elválaszthatatlan az általános szív-érrendszeri rizikóprofil alacsony szintjétől. A jó fizikai állapot fenntarthatósága viszont a kezdetektől egy 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 betegség mentes periódust ígér.

A teljes egészségügyi szolgálat feladata először és elsőként hozzájárulni a **hadműveleti feladat megvalósításához az élőerő megőrzése révén**, A kiképzett humán erőforrások lemorzsolódása a nem megfelelő alkalmasság-vizsgálatok következtében, a betegségek és sérülések kritikusan leronthatják a parancsnokok képességét a hadműveleti céljaik megvalósításában. Nem csak NATO szövetségi szinten, de a Magyar Honvédség egészség-megőrzési programjaiban is prioritást kap a prevenció és rehabilitáció, melynek jelentősége nő az egészségügyi ellátás rendszerében, különösen az extrém fizikai és pszichikai terhelést jelentő beosztásokban [35].

A Magyar Honvédség komplex egészségnevelő programot indított, melynek célja a halmozott rizikófaktorokkal rendelkező állomány beazonosítása, alakulat-specifikus jelleggel az egészség-fejlesztési fő irányok meghatározása. Első lépésként az egészségmagatartási dimenziók elemzése történt meg, a MH rizikótérképének elkészítésével [36]. A helyzetfelmérés alapján ma már jogszabályi keretek²³ között, a MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság, Közegészségügyi – Járványügyi Szolgálat Egészségfejlesztési Osztályán, Dr. Sótér Andrea PhD. osztályvezető vezetésével, a Honvéd Testalkati Program célkitűzéseit megvalósítva van mód és lehetőség a célzott egészségfejlesztésre, a rizikóprofil csökkentésére, a BMI testtömeg index és test zsírszázalék meghatározása után, diétás útmutatás, fogyás, életmódi tanácsadás, edzés program kidolgozásával. Ezzel a tevékenységgel minden állománycsoportban elősegítik az egészségesebb, hosszabb ideig szolgálat- és harcképes állomány rendszerben tartását [37].

ÖSSZEFOGLALÁS

A pillanatnyi fizikai teljesítőképesség jelentősége a repülésbiztonság szempontjából vitathatatlan, személyi hibára predisponáló tényezők egész csoportjánál a hirtelen cselekvőképtenség oki tényezője. Ennek élettani (biokémia) hátterének felvázolásával célt az volt, hogy kiemeljem a repülés speciális környezeti élettani tényezőit, melyek ezt hirtelen leronthatják.

Az aerob kapacitás szintje az emberi faj kiemelkedése és fejlődése szempontjából evolúciós előnyt jelentett. Mind a felegyenesedett járás, a bekövetkező csontváz-rendszeri (statikai) és vázizomzatbeli (dinamikai) fejlődés a menekülés vagy zsákmányszerzés szempontjából meghatározó futási teljesítményt növelte, mely természeti népeknél még ma is alapvető, a napi életforma része.

A repülés, mint magasan fejlett, technicizált három dimenziós mozgási képesség és lehetőség megköveteli a magasszintű aerob teljesítményt is (mint biztos biológiai-élettani hátteret), de

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

egyelőre úgy tűnik – a levegőnél nehezebb repülőeszközök fejlődésének evolúciós távlatban röpke 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 összetettségét mutattam meg oxigénhiány, túlterhelés okozta agyi keringészavar esetében, rámutatva a „földi” állóképesség fokozott sérülékenységre, instabilitására ebben a szokatlan helyzetben. Az aerob kapacitás, illetve a futási teljesítmény túlzásba vitelét nem javaslom a nagy manőverezőképeségű gépek pilótáinál, kedvezőtlen szív-érrendszeri hatása miatt.

Fentiek alapján hangsúlyozom az egyéni repülőorvosi kiképzés fontosságát: stabil, magasszintű 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 stresszor tényezőkkel szemben a speciális stressztűrőképességet 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).

A hosszútávú munkavégző képesség (szív-érrendszeri rizikó) szempontjából az amerikai légi-erőhöz hasonlóan a jó haskörfogat (testtömegindex BMI 25 testsúlykg/testfelszín m² alatti) értékét tartom fontosnak. Az egészségtudatos szemlélet és életmód hozzájárulhat a repülőhajózó állomány speciális (rövidebb távú), és általánosságban a honvéd életpálya modell hosszabb távú egészségmegőrzési programjaiban is a szolgálatképesség fenntartásában. Az egészségi állapot megőrzésében fontos szerepe van a Honvéd Testalkati Program elindításának és kiteljesítésének.

Az AVIATION_HUMAN KKT – a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 pályázat (VOLARE projekt) keretében a repülési környezet és humán stressz tűrőképesség dinamikus viszonyának további vizsgálatát tervezi.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Óvári, Gy.: Régi gondok új közelítésben: Vadászpilóta-gépjármű-beszerzés 2000 után. *Hadtudomány* 9: (3-4. szám), pp. 126-141. (online) url: <http://www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/1999/ht-1999-34-14.html> (2017. 03. 08.)
- [2] Kavas, L., Óvári, Gy.: A XXI. század helikopterfejlesztésének néhány fontosabb irányzata. *Repüléstudományi Közlemények (Szolnok, online tudományos folyóirat) XXV. évfolyam* 2013/1., pp. 210-222. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html (2017. 03. 08.)
- [3] Reason, J.: Human error: models and management. *British Medical Journal* 2000., 320., (7237) p. 768–770.
- [4] Dunai, P.: Repülő-hajózók speciális földi felkészítésének rendszere. Gumiasztal gyakorlatok hatása az egyensúlyozó képesség fejlesztésére *Repüléstudományi Közlemények (Szolnok, online tudományos folyóirat) XXVIII. évfolyam* 2016/3., pp. 16. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/index_rtk.html
- [5] Király, T., Szakály, Zs.: Mozgásfejlődés és a motorikus képességek fejlesztése gyermekkorban. url.: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0025_Kiraly-Szakaly-Mozgasfejlodes_es_a_motorikus_kepessegek_fejlesztese_gyermekkorban/ch07s02.html 7.5 ábra. TAMOP 4.2.5 Pályázat, 2011. (2017. 03. 08.)
- [6] Kedvesné Kupai, K.: Teljesítményfokozás lehetséges és tiltott eszközei ISBN 978-963-306-338-5. url.: http://www.jgyfk.u-szeged.hu/tamop13e/tananyag_html/tananyag_teljesitmenyfokozas/20_az_izommkds_energiaforrasai:9.ábra,6.táblázat.TAMOP-4.1.2.E-13/1/KONV-2013-0011 (2017. 03. 08.)
- [7] Gyimes, Zs.: Kondicionális képességfejlesztés. Testnevelési Egyetem előadás url.: <http://tf.hu/wp-content/Kondicionalis-kepesssegfejlesztes-eloadaskivonat-Gyimes-Zsolt.pptx> 11. ábra (2017. 03. 08.)
- [8] Balogh, L.: Bevezetés a sportdiagnosztikába. Campus kiadó, 2015. ISBN 978-963-9822-43-6 (TAMOP-4.1.2.E-15/1/Konv-2015-0001) projekt p. 126. online url.: sportstudomany.unideb.hu/wp-content/uploads/.../Bevezetes-a-sportdiagnosztikaba.pdf (2017. március 02.)
- [9] Ihász, F.: Terheléses laborgyakorlat. http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/atfk/tematikak/TEST-NEVELES_TANSZEK/dr_ihasz_ferenc_csatolhato_dok/terheles_laborgyakorlat.doc. (2017. március 02.)
- [10] Chappelow, J.W.: Error and accidents. In Ernsting, J. (Ed.): *Aviation Medicine* Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, p. 599.
- [11] Ernsting, J. (Ed.): *Aviation Medicine* Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, pp. 27., 134.
- [12] Szabó, S.A.: 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 2009 Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, pp. 84-85.
- [13] Neuhaus, C., Hinkelbein, J: Cognitive responses to hypobaric hypoxia: implications for aviation training *Psychol Res Behav Manag.* 2014; 7: 297–302. Published online 2014 November 10. doi: 10.2147/PRBM.S51844, url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4234165/>
- [14] Smith, A. M. : Hypoxia symptoms reported during helicopter operations below 10,000 ft: a retrospective survey. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2005., 76, 794-799.
- [15] Hultgren H.N.: *Scientific American (OrvosTudomány 1993)*, Orvostudomány aktuális kérdései IX. Magaslati orvosi problémák p. 12.
- [16] 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. url: https://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html (2017.03.08.)
- [17] Calbet, JA, Boushel R, Rådegran G, Søndergaard H, Wagner PD, Saltin B: Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2003. Feb;284(2): R291-303.
- [18] Hoepfner, M. T., Schultz, M. C., & Schultz, J. T.: Libelle Self-Contained Anti-G Ensemble: Overcoming Negative Transfer. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, (2004). 13 (2). Retrieved from <http://commons.erau.edu/jaaer/vol13/iss2/6> online url.: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1555&context=jaer> (letöltve 2017.03.08.)
- [19] Ledderhos, C., Gammel C., Gens, A.: The new anti-G suit “G-RAFFE” – its power and potential. 85th Annual Scientific Meeting Of The Aerospace Medical Association 2014. online url.: <http://g-niusltd.com/uploads/images/layout/ASMA.pdf>
- [20] STANAG 3827 (Egységes Védelmi Előírás) Tartós G túlterhelési tréning kapcsán megvalósítandó minimális feltételek (online) url.: http://nso.nato.int/protected/nsdd/_CommonList.html (letöltve 2017.03.08.)

- [21] ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescriptions. American College of Sport Medicine 1995. (5.Ed) Baltimore, Williams and Wilkins
- [22] Strong, J et al.: Prevalence and Extent of Atherosclerosis in Adolescents and Young Adults. JAMA. 1999; 281: p. 727-735.
- [23] Taneja, N., Wiegmann, D.A. : Prevalence of Cardiovascular Abnormalities in Pilots Involved in Fatal General Aviation Airplane Accidents . Aviat Space Environ Med 2002. 73. p. 1025-30.
- [24] McCrary, B.F. Van Syoc, D.L.: Permanent Flying Disqualifications of USAF Pilots and Navigators (1995-1999) Aviat Space Environ Med 2002. 73. p. 1117-1121.
- [25] Cullen, S.A., Drysdale, H.C., Mayes, R.W.: Role of medical factors in 1000 fatal aviation accidents: case note study, British Medical Journal, 1997;314:1592, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2126794 (2012. március.12)
- [26] Aldinger, Ch. , Dunham, W.: Possible heart attack cited in U.S. Afghan crash Washington, 2003. július 3. (Reuters), <http://www.afghanistannewscenter.com/news/2003/july/jul42003.html>, (2008. március 13.)
- [27] Péter, I., Tóth, E., Grósz, A., Hideg, J.: Longitudinális ISZB rizikófaktor vizsgálatok katonai pilótáknál. Honvéddorvos, 2005. 3-4 szám. p. 146-155.
- [28] Bell, D.G., Jacobs, I.: Combined caffeine and epinephrine ingestion improves run times of Canadian Forces Warrior Test. Aviat Space Environ Med 1999., 70., p. 325-329.
- [29] Young, P., Frier, B.C., Goodman, L., Duffin, J.: Respiratory muscle training and performance of a simulated anti G strain manoeuvre. Aviat Space Environ Med 2007., 78., p. 1035-1041.
- [30] Newman, D.G., et al: Patterns of Physical Conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 Pilots and the Implications for +Gz Tolerance. Aviation Space and Environmental Medicine 1999., 70., p. 739-744.
- [31] Hoffman, J.R. et al.: The Relationship Of Physical Fitness On Pilot Candidate Selection In The Israel Air Force. Aviation Space and Environmental Medicine 1999. 70., p. 131-134.
- [32] Krishnamurty, A: Current concept in acceleration physiology. Essays and articles of Indian Society of Aerospace Medicine, p. 12. www.isamindia.org/essays, (2003.07.07.)
- [33] Epperson, W.L., Burton, R.R.: The effectiveness of specific weight training regimes on simulated aerial combat manoeuvre G tolerance. Aviat Space Environ Med 1985., 56.. p. 534-539.
- [34] Landau, D. A., Chapwick, L., Yoffe, N.: Cervical and lumbar MRI findings in aviators as a function of aircraft type. Aviat Space Environ Med 2006., 77., p. 1158-1161
- [35] Svéd, L.: A Magyar Honvédség egészségügyi biztosítása, elvének és gyakorlatának változásai, sajátosságai, különös tekintettel a haderő átalakításra, a NATO-ba történő integrálásra, a különböző fegyveres konfliktusok, valamint a békefenntartó, béketeremtő, és –támogató tevékenységre. PhD értekezés, p. 81. ZMNE Hadtudományi Iskola, Budapest, 2003
- [36] Sótér, A. : Az egészségfejlesztési irányok meghatározása a Magyar Honvédség személyi állománya az időszakos egészségügyi szűrővizsgálati eredményeinek tükrében PhD értekezés, 2013. NKE . DOI azonosító: 10.17625/NKE.2014.006.
- [37] Hornyák, B., Kósáné Koppányi, É., Sótér, A., preventive programme aiming complex lifestyle change Hadmérnök, VIII. évf. 4. szám, 2013, december, pp. 252-257.

FLIGHT SAFETY ASPECTS OF PHYSICAL PERFORMANCE AND HEALTH AWARENESS

Military aviation is extremely demanding complex task requiring continous high level of physical performance, stamina and physical strength both in training and operational settings as well. These parameters have a close correlation with rapid activation of cardiovascular responses specially triggered by aeromedical stressors. Only optimal aerobic and anaerobic peak performance can provide the full capacity and ability to perform flight tasks during high accelerations (G-loads) and can maintain the proper activation of vegetative central nervous system at high altitude in hypoxic state. The general physical fitness is inevitably essential to the long term working capacity, reducing cardiovascular risk profile and supporting mental-spiritual concentration, stamina, self-confidence and motivation. This way it is a fundamental element of flight safety from the human component aspect.

Keywords: *physical performance, aeromedical stressors, accelerations, hypoxia, G tolerance, hypoxia awareness and altitude adaptation, sudden incapacitation and physical stamina*

Dr. habil. Szabó Sándor András, PhD

Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója

Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő-és Űrorvosi Tanszék

mb. tanszékvezető (docens)

sasi19620@gmail.com

orcid.org/0000-0002-1362-4723

Dr. habil. Sándor (Alex) András (Andrew) Szabó, PhD

National University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training

Lecturer of Doctoral School of Military Engineering

University Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine,

assigned Associate Professor

sasi19620@gmail.com

orcid.org/0000-0002-1362-4723

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitözlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közsolgálati 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.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-12-0379_Szabo_Sandor_Andras.pdf

Wantuch Ferenc, Gáspár Nikolett

SZONDÁZÁSI ADATOKON ALAPULÓ LÁTÁSTÁVOLSÁG ELŐREJELZÉSI MÓDSZER KÖDÖS ÉS HIDEG LÉGPÁRNÁS ESETEK BEN A LISZT FERENC REPÜLŐTÉREN

Rádiószondás méréseket és a hozzájuk tartozó talajszintű megfigyeléseket (METAR) gyűjtöttük ki Budapest Liszt Ferenc repülőtérré. A szondázási adatokból a ködre és a hideg légpárnára jellemző fizikai paraméterekeket állítottunk elő. A 2005 és 2015 közötti ködös esetekre vonatkozó magaslégköri megfigyelésekből számított paraméterekekből és a hozzájuk tartozó látástávolság adatokból adatbázist alakítottunk ki. Vizsgáltuk, a zömében inverzióhoz kapcsolódó paraméterek szinoptikus klimatológiai jellemzőit. Az említett adatbázisra alapozva analógiás előrejelző módszert dolgoztunk ki. A számításokhoz C nyelvű programokat írtunk. Az adatbázistól független 2016-os teszt időszak adatainak felhasználásával teszteltük módszerünket. A tesztelés során a ködös időszakokban jól illeszkedő látástávolság becslő eljárást kaptunk.

Kulcsszavak: hideg légpárna, szondázási adatok, inverzió, köd, szinoptikus klimatológiai leírás, látástávolság előrejelzése, analógiás módszer

BEVEZETÉS

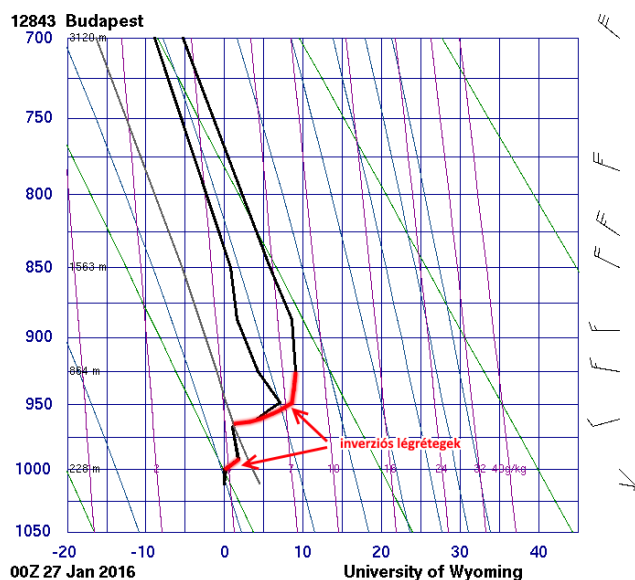
A hideg légpárnás helyzetek előrejelzése jelenleg nem megoldott. A numerikus modellek az esetek nagy részében derült időt jeleznek előre ezekben az esetekben [1]. A valóság ezzel szemben az, hogy gyakran sűrű köd van, alacsony felhőalapok, rossz látástávolságok fordulnak elő, és a légszennyezettség is kritikus értékeket ér el. A repülésnél számos veszélyes időjárási jelenség fordul elő. Az előrejelző ilyenkor azzal szembesül, hogy már a kiindulási helyzetnél sem tudja a numerikus előrejelzési produktumokat használni és csak az eddigi tapasztalataira támaszkodhat. Dolgozatunkban azt tűztük ki célul, hogy 10 éves, magaslégköri szondázási adatokból kigyűjtjük a hideglégpárnás, ködös helyzeteket. A hőmérséklet és nedvesség vertikális eloszlását fizikai paraméterekkel jellemeztük. A kigyűjtött magaslégköri méréseket földfelszíni megfigyelésekkel egészítettük ki, így létrehoztunk egy adatbázist. Egy jelenlegi hideg légpárnás helyzetben kiszámítjuk az említett vertikális paraméterekeket, az adatbázisban analógiás módszerrel megkeressük az elmúlt tíz évben előfordult leghasonlóbb esetet és ez alapján becslést adunk a látástávolság alakulására és a ködös időszak hosszára. Amennyiben a jövőben a numerikus időjárási modellek képesek lennének a talajközeli, planetáris határretegben zajló folyamatok pontosabb előrejelzésére, akkor az általunk kapott összefüggések alapján módszerünk hosszabb távú PPM [2] módszerként is működhetne hideg légpárnás esetekben.

A HIDEG LÉGPÁRNA ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

A légkört jellemző egyik meteorológiai paraméter a hőmérséklet, amelynek értéke – normál helyzetben – a magassággal csökken (troposzférában az átlagos hőmérsékleti gradiens: $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Egyes esetekben azonban megfigyelhető, hogy a magassággal a hőmérséklet

nem változik (izoterma), illetve növekszik (inverzió).

A hideg légpárna kialakulásánál fordított hőmérsékleti rétegződés, inverziós helyzet áll fenn: talajszinten megreked a hideg levegő, a magasabb légrétegeket meleg légtömegek töltik ki. Az inverziós réteg vastagsága a néhány száz métertől 1–1,5 km-ig is terjedhet [3].



1. ábra hőmérsékleti inverzió 2016.01.27. 00 UTC [4]

Hideg légpárna fogalma

A téli félévben az inverziós helyzet fennállását gyakran kíséri az ún. hideg légpárna jelensége. A hideg légpárna a téli anticiklonális időben, inverziós helyzetben, a talaj közelében megrekedt, légmozgás hiányában átkeveredésre képtelen hideg légtömeg [3]. Ilyenkor a magasban (850 hPa) melegebb van, mint talaj közelében. A meleg és hideg légtömegeket erős inverzió választja el egymástól [3].

Hideg légpárna csoportosítása

A hideg légpárnás helyzet fennállásának időtartama alapján két típust különböztethetünk meg: egynapos, illetve tartós hideg légpárna. Az egynapos hideg légpárna egy napig áll fenn, a tartós ezzel szemben több napig, hetekig is megmaradhat [3].

Hideg légpárnás helyzetben a magassággal való hőmérséklet-emelkedés indulhat közvetlenül a talajról (kisugárzás), ezt elsőfajú hideg légpárnának nevezzük. Abban az esetben, ha a hőmérséklet-növekedés nem közvetlenül talajszintről indul, másodfajú hideg légpárnáról beszélünk.

A légtömeg relatív nedvességtartalma alapján két csoportot különíthetünk el: nedves és száraz hideg légpárna. Nedves a hideg légpárna, ha az alsó légrétegek relatív nedvességtartalma magas, ilyenkor köd és pára képződik. Száraz a hideg légpárna, ha a megrekedt hideg levegő relatív nedvességtartalma alacsony, ilyenkor köd hiányában a kisugárzás erőteljesebb – jobban lehül a levegő [6].

Tóth (1984) a hideg légpárnás helyzeteket „fagyosságuk” szerint csoportosította. Az általa bevezetett fagyossági tényező alapján 6 csoportot különíthetünk el: nem fagyos hideg légpár-

na, gyengén fagyos hideg légpárna, közepesen fagyos hideg légpárna, erősen fagyos hideg légpárna, teljesen fagyos hideg légpárna, keményen fagyos hideg légpárna [5].

A hideg légpárna jellemzői (felhőzet, csapadék)

A hideg légpárna idején jellemző stabil légrétegződés hatására a levegő átkeveredése igen kis mértékű. Az átkeveredés hiánya miatt az inverzió alatt felgyülemlett por és szennyezőanyagok jelentős látástávolság és levegőminőség romlást eredményeznek. A szmog kialakulása elsősorban hideg légpárna idején a leggyakoribb [6].

Az alsó légréteg magas relatív nedvességtartalma támogatja a köd és pára képződését (nedves hideg légpárna). A nedves hideg légpárna jellemző felhőzete az alacsonyszintű rétegfelhőzet (Stratus). Az alacsonyszintű rétegfelhőzetből a hőmérséklet értékeinek függvényében szitálás, ónos szitálás, szemcsés hó/hószállingózás formájában csapadék előfordulhat. Alacsony nedvességi viszonyok esetén talajmenti felhőzet és csapadék nem alakul ki – száraz hideg a meghatározó.

FELHASZNÁLT ADATOK, ADATBÁZIS

Vizsgálatunkhoz a Repülésmeteorológiai Klíma Adatbázisban (2. ábra) szereplő budapesti repterre kiadott METAR táviratokat, valamint a Wyomingi Egyetem által közzétett rádiószondás méréseket használtuk fel.

Az adatbázisban szereplő METAR táviratok közül kigyűjtöttük azokat (2005–2015), amelyekben 12 UTC és 00 UTC időpontokban ködöt észleltek (látástáv 1 km alatt). Ezt követően a kiválasztott ködös időpontokhoz kigyűjtöttünk az arra az időpontra vonatkozó rádiószondás felszállásokat.

Repülésmeteorológiai Klíma Adatbázis

METAR Exporter

Start Date/Time: Year: 2005 Month: 1 Day: 1 Hour: 0 Minute: 0
 End Date/Time: Year: 2005 Month: 1 Day: 1 Hour: 0 Minute: 0 Warning: Selecting long time period may lead to very long script runtime!

Airport	First record	Last record
LHNS	2005.01.01 00:45	2016.12.21 00:45
LHKE	2005.01.01 00:45	2016.12.04 23:45
LHPA	2005.06.17 14:45	2016.12.04 23:45
LHBP	2005.01.01 00:00	2016.12.04 23:30

Airport: All
 Export into: File type: CSV Field names on the first row:
 Sort: By: Raw_METAR Order: Ascending
 Misc: Include NIL messages:

Station: Raw Metar: Station ICAOcode: Station ID:

Date/Time: Full: (yyyymmddhhmm)
 Year: Month: Day:
 Hour: Minute:
 Date: (yyyy.mm.dd) Time: (hh:mm)
 Day of week: (0-monday, 6-sunday)
 Date (Zulu):
 Day (Zulu): Hour (Zulu): Minute (Zulu):
 Date (Julian):

2. ábra Repülésmeteorológiai Klíma Adatbázis [7]

A Repülésmeteorológiai Klíma adatbázis egy összetett adatbázis, amely által lehetőség nyílik a repülőterek klimatológiájának leírására és vizsgálatára. Az adatbázis a 2005–2016-os időszak 4

magyarországi reptérre (ferihegyi, kecskeméti, pápai, szolnoki) kiadott METAR táviratait tartalmazza. Ezen adatbázis lehetővé teszi valamennyi METAR táviratban szereplő paraméter lekérését. Az adatok lekérhetőek éves, havi, napi bontásban és összevont formában is [7].

A rádiószondás mérések felhasználásával kiszámított hideg légpárnára jellemző adatok

A Wyomingi Egyetem által közzétett szondázási adatokból egy később ismertetésre kerülő általunk fejlesztett számítógépes program felhasználásával meghatároztuk és kiszámítottunk az inverzió több tulajdonságát, amelyet az alábbi példán keresztül mutatunk be – a program által meghatározott adatok a következők:

12843 Budapest 00Z 26 Nov 2011 781.00 819.00 1846.00 3.40 18.00 3.50 0.21 -0.52 83.73 8.64 2

- az inverziós rétegek összeadott vastagsága méterben: 781,00;
- a legerősebb inverziós szint magassága (hPa): 819,00 hPa;
- a legerősebb inverziós szint magassága (m): 1846 m;
- a legerősebb inverziós szint hőmérséklete: 3,4 °C;
- a legerősebb inverziós szint relatív nedvességtartalma: 18%;
- a legerősebb inverziós szint és a talajon mért hőmérséklet különbsége: 3,5 °C;
- a talajtól a maximális inverziós szintig terjedő 100 méterre eső hőmérsékleti gradiens (°C/100 m): 0,21 °C/100 m;
- az összes inverziós réteg átlagos hőmérséklete: -0,52 °C;
- a maximális inverziós réteg alatti valamennyi rétegből számított relatív nedvesség: 83,73%;
- a maximális inverziós réteg alatti valamennyi rétegből számított átlagos szélesség: 8,64 KT;
- az inverzió fajtája (1 = elsőfajú; 2 = másodfajú): 2.

Hideg légpárna Tartóssági Index

Ahhoz, hogy a program által meghatározott inverziós tulajdonságokat együttesen tudjuk vizsgálni létrehoztunk egy ún. Hideg légpárna Tartóssági Indexet (HTI). Az index értéke maximumon 40 pont.

A HTI értéke tartalmazza az összes inverziós réteg vastagságát, a maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbségét, az inverziós rétegek átlagos relatív nedvességtartamát és a maximum inverziós réteg alatti rétegek átlagos szélességét. Ezen elemeket attól függően, hogy milyen értékeket vesznek fel 1–10-ig pontozzuk:

1. Az összes inverziós réteg vastagsága
 - az összes inverziós réteg vastagsága kisebb, mint 300 m: 1 pont;
 - az összes inverziós réteg vastagsága nagyobb, mint 300 m és kisebb, mint 600 m: 4 pont;
 - az összes inverziós réteg vastagsága nagyobb, mint 600 m és kisebb, mint 900 m: 7 pont;
 - az összes inverziós réteg vastagsága nagyobb, mint 900 m: 10 pont.
2. A maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbsége
 - a maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbsége kisebb, mint 4 °C: 0 pont;
 - a maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbsége 4 °C és 7 °C között van: 4 pont;

- a maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbsége 7 °C és 9 °C között van: 7 pont;
 - a maximum inverziós szint hőmérséklete és a talajhőmérséklet különbsége 9 °C felett van: 10 pont.
3. Az inverziós rétegek átlagos relatív nedvességtartama
- a relatív nedvesség 60%-nál kisebb: 0 pont;
 - a relatív nedvesség 60%-nál nagyobb és 80%-nál kisebb: 4 pont;
 - a relatív nedvesség 80%-nál nagyobb és 85%-nál kisebb: 7 pont;
 - a relatív nedvesség 85%-nál nagyobb és 90%-nál kisebb: 8 pont;
 - a relatív nedvesség 90%-nál nagyobb és 95 %-nál kisebb: 9 pont
 - a relatív nedvesség 95%-nál nagyobb: 10 pont.
4. A maximum inverziós réteg alatti rétegek átlagos szélessége
- a szélesség 5 KT-nál kisebb: 10 pont;
 - a szélesség 5 KT és 12 KT között van: 5 pont;
 - a szélesség 11 KT és 20 KT között van: 1 pont;
 - a szélesség 20 KT felett van: 0 pont.

A meghatározott inverziós tulajdonságokból és a Hideg légpárna Tartóssági Indexből kialakítottunk egy a 2005–2015 között időszakra a bevezetőben említett adatbázist.

A FELHASZNÁLT C NYELVŰ PROGRAMOK BEMUTATÁSA

Az előzőekben ismertetett paramétereket rádiószondás felszállásokból számítottuk ki. A számításokhoz C nyelvű feldolgozó programot írtunk [8]. A C nyelv választását az indokolta, hogy hagyományos Windows alapú környezetben illetve Unix vagy Linux operációs rendszerben is könnyen fordítható és futtatható. A számítások eredményét adatbázisba gyűjtöttük. Az adatbázist kiegészítettük a METAR táviratok feldolgozásából származó repülőtéri látástávolság adatokkal. Ezen túlmenően azt is megvizsgáltuk, hogy a ködös időjárási helyzet a szondázást követően mennyi ideig áll fenn, azaz kiszámoltuk és az adatbázist kibővítettük a szondázást követő ködös félórak darabszámával is. Az adatbázist író és olvasó programokat úgy terveztük meg, hogy az adatbázis folyamatosan bővíthető legyen. Az, hogy az eredeti rádiószondás adatok feldolgozása milyen magasságig történjen, külső paraméterként adtuk meg, ami azt jelenti, hogy a programok újra fordítása nélkül ez a mennyiség szabadon állítható és tetszőleges magasságig terjedő hideg légpárnás eseteket tartalmazó adatbázis kialakítható. Ezt követően egy kiértékelő programot is kifejlesztettünk szintén C nyelven. ez a program analógiás módszerrel keresi meg az adatbázisban egy adott ködös felszálláshoz a leghasonlóbbat. A leghasonlóbb időjárási helyzet, illetve rádiószondás felszállás és talajszintű adatok kereséséhez analógiás módszert programoztunk be.

AZ ANALÓGIÁS MÓDSZER ISMERTETÉSE

Az analógiás módszerek ismertetéséhez a továbbiakban Gulyás Ottó által közölt tanulmányból idézünk [9]. Az analógiás módszer hagyományosan a közép és a hosszú távú előrejelzések, újabban pedig a rövid távú előrejelzések széleskörűen alkalmazott eljárása. Az elv heurisztikus alkal-

mazása a meteorológiában nagyon régi keletű, a módszer matematikai alátámasztása, a Bayes-módszerrel való összehasonlítása azonban csak mintegy negyven éve történt meg. A módszer alapelve nagyon egyszerű, realizálása számítógépen könnyen elvégezhető. Alkalmazásához nem szükségesek azok a statisztikai paraméterek (feltételes sűrűségfüggvény, korreláció stb.), amelyek az egyébként optimális Bayes módszer gyakorlati alkalmazását megakadályozzák, és nem szükséges a döntésfüggvény alakját sem ismerni, mint a regressziós módszereknél. Mindezek ellenére az analógiás módszer hibája sok esetben nem sokkal tér el a Bayes módszer hibájától.

Az analógiák alapján való becslés alapelve a következő: Megkeressük a múltbeli helyzeteket tartalmazó archívumban a jelen időszak időjárási helyzetéhez leghasonlóbbat, és a leghasonlóbbat követő időszak jellemzőit adjuk, meg mint becslést, előrejelzést. Alapfeltevése tehát az, hogy hasonló helyzeteket hasonló helyzet követ. Ez a megfogalmazás természetesen pontosítást követel. Meg kell mondanunk, hogy mi az az időjárási helyzet, mikor nevezzük azokat hasonlóknak, mi az az archívum és milyen pontosságot várhatunk el az eljárástól?

A MATEMATIKAI MODELL

Tekintsük a $\underline{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_N)$ vektor valószínűségi változót. Ezt a $\underline{\varepsilon}$ – prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük. A prediktor vektor írja az időjárási helyzetet. A $\underline{\varepsilon}$ vektor megválasztás, annak eldöntése, hogy milyen légköri elemek, milyen elrendezésben, hogyan kerüljenek a prediktorok közé elsősorban meteorológusi feladat, bár léteznek matematikai segédeszközök a kiválasztás segítésére. Természetesen $\underline{\varepsilon}$ jó megválasztása a feladat megoldásának egyik kulcsa, azonban itt ezzel nem foglalkozunk, $\underline{\varepsilon}$ -t adottnak tekintjük.

A η valószínűségi változó jelöli a prediktandust. Az analógiás, módszerhez egy archívumot használunk fel. Archívumnak a $(\underline{\varepsilon}, \eta)$ változó pár független és azonos eloszlású kísérletekkel nyert minta elemeinek a sorozatát nevezzük, amelyet

$(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2), \dots, (\underline{x}^L, \vartheta_L), \dots, (\underline{x}^n, \vartheta_n)$ -nel jelölünk. A mintanagyságot n mutatja. Ahhoz, hogy a realizációkat összehasonlíthassuk, be kell vezetni egy metrikát (távolságot). Az N dimenziós vektorok $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ $\underline{y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ terét R^N -et vizsgáljuk. Az R^N -beli vektorok párjain értelmezzük a $\rho(\underline{x}, \underline{y})$ metrikát, azaz egy olyan függvényt, amelyik a következő feltételnek tesz eleget:

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{y}, \underline{x}) \geq 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{x}) = 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) + \rho(\underline{z}, \underline{y})$$

minden $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$ vektorhármásra R^N -ben. E metrika, fejezi ki az R^N -beli vektorok egymáshoz viszonyított közelségét. Segítségével a $\underline{\varepsilon}$ prediktor (valószínűségi változó), különböző realizációinak távolságát is mérhetjük. Így ha $\underline{\varepsilon}$ -re re végzett kísérlet eredménye \underline{x} , a $(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2), (\underline{x}^n, \vartheta_n)$ párok pedig egy archívumot alkotnak, akkor megkereshető a \underline{x} „legközelebbi társa”, az archívum azon $x^{i0} = \underline{x}'$ eleme amelyre $\rho(\underline{x}, \underline{x}') \leq \rho(\underline{x}, \underline{x}^i)$, $i=1, 2, \dots, n$. Ennek alapján az \underline{x} megfigyelésre vonatkozó döntés $d(\underline{x}) = \vartheta_{i0}$ a legközelebbi társ archívumbeli párja.

A meteorológiában a metrika helyett az analógia fogalma a szokásos. A két látszólag különböző döntési módszer a valóságban teljesen ugyanaz. Könnyen látható, hogy lehet olyan

$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \gg \rho'(\underline{x}, \underline{y})$ transzformációt találni amelyre ρ' is metrika, vagyis megtartja az előzőekben definiált tulajdonságai és azon kívül 1-el korlátozva van.

$$0 \leq \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq 1,$$

és fennáll, hogy ha

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) \text{ akkor } \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho'(\underline{x}, \underline{z})$$

minden $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$ vektorhármásra. Ilyen transzformáció például

$$\rho'(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{x}, \underline{y}) / (1 + \rho(\underline{x}, \underline{y}))$$

Világos ennek alapján, hogy ha \underline{x} legközelebbi társa \underline{x}' akkor ugyanazon archívumból a ρ' metrika szerint is ugyanaz a \underline{x}' lesz a legközelebbi társ. A $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$ metrika alapján definiált analógia indexnek nevezzük az R^N -beli vektorpárokra értelmezett

$$\delta(\underline{x}, \underline{y}) = 1 - \rho'(\underline{x}, \underline{y})$$

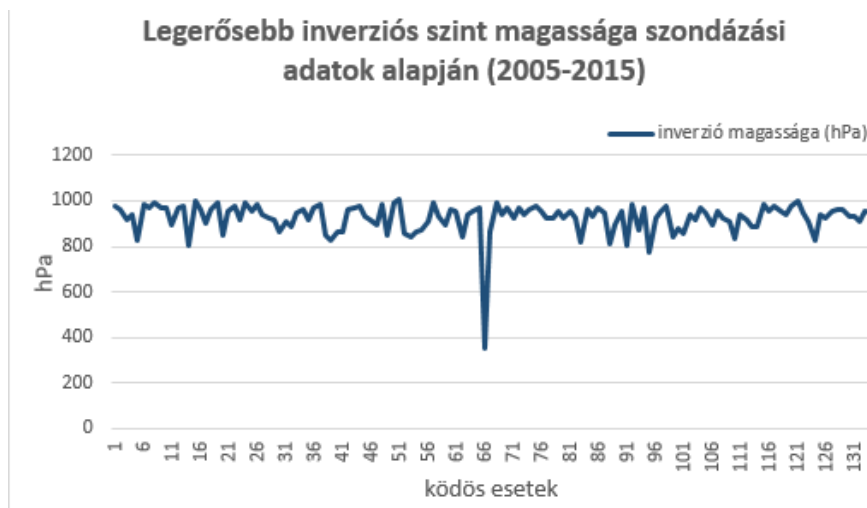
függvényt. Így világos az a szóhasználat, hogy ha \underline{x} közel van \underline{y} -hoz, azaz $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$ kicsi, akkor $\delta(\underline{x}, \underline{y})$ nagy és azt mondjuk, hogy az analógiájuk nagy.

EREDMÉNYEK

A kiszámított paraméterek alakulása a 2005–2015 közötti időszak ködös eseteiben

Munkánk során célul tűztük ki az inverziót leíró fizikai mérőszámok szinoptikus klimatológiai leírását. Megvizsgáltuk a kiválasztott ködös esetekben fennálló inverzió tulajdonságait, de az inverzióhoz nem kapcsolódó paramétereket is vizsgáltunk. A következőkben a számított paraméterek közül a legerősebb inverziós szint jellemzőit ismertetjük a vizsgált időszakban.

A legerősebb inverzió magassága alatt a legmagasabb hőmérsékleti értékkel jellemezhető inverziós szintet értjük.

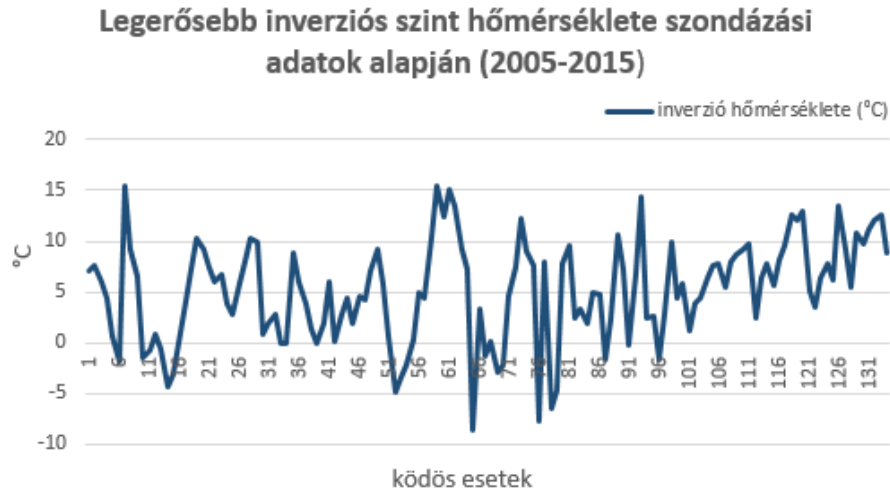


3. ábra Legerősebb inverziós szint magassága (hPa)

A legerősebb inverziós szint átlagos magassága a vizsgált 10 éves időszakban 924 hPa-os nyomási szintnek felelt meg. A feldolgozott adatokból jól látszik (3. ábra), hogy ez a nyomási

szint kevés esettől eltekintve köd esetén egy viszonylag szűk tartományban 800 hPa és 1000 hPa szint között változott.

A legerősebb inverziós szint átlagos hőmérséklete: 5,1°C volt (4. ábra), az értékek zöme a 0 °C és a +10 °C közé esett.



4. ábra Legerősebb inverziós szint hőmérséklete (°C)

A legerősebb inverziós szint átlagos relatív nedvességtartalma: 62,7% volt. Az értékek igen tág határok között változtak. Időnként a legerősebb inverziós szinthez nem párosult nedvesség (5. ábra).



5. ábra Legerősebb inverziós szint relatív nedvességtartalma (%)

Analógiás elven működő látástávolság előrejelző program

Az adatbázisban tehát a korábban ismertetett, a rádiószondás felszállásból kiszámított paraméterek, valamint a tényleges látástávolságok szerepeltek. Az adatbázist a 2005 és a 2015 közötti azon szondázási és felszíni megfigyelési adatok tartalmazzák, amikor köd volt. A köd itt lehet hideg légpárnás eredetű vagy hagyományos körülmények között létrejött köd. Az analógiás módszer menete a következő: Egy az adatbázistól független időponthoz tartozó magassági adatokból szeretnénk a ködös időszak látástávolságát megbecsülni ehhez leghasonlóbb elemet választunk az adatbázisból. Az analógiás módszer súlyát úgy határoztuk meg, hogy valamennyi felszállásból

származó adatot beleértve az általunk definiált HTI indexet is, összehasonlítottuk a neki megfelelő elemmel. Az egyes rész súlyok úgy álltak elő, hogy a kisebb elemet elosztottuk a nagyobb elemmel. Így az egyes rész súlyok összegéből majd átlagából elő áll a végső súly. Azokat az elemeket külön kezeltük ahol negatív értékek is előfordulhattak, itt általában meghagytuk nem illeszkedés esetén a negatív rész súlyt, hogy hangsúlyozzuk az össze nem illeszkedést. Ez természetesen az összegzett súlynak az analógia elméletében leírt pozitív voltát nem befolyásolta.

A továbbiakban tesztelésnek vetettük alá az analógiás módszert. Független mintán, azaz a 2016. év felszállásaihoz kerestünk analógiát a korábbi 10 éves adatbázisban (1.táblázat). Bár a ködös időszakban bekövetkező látástávolságot igen nehéz becsülni az év során a felszállások idején lévő ködhez tartozó látástávolságot igen jó közelítéssel becsülte a módszer.

	előrejelzett látástávolság	METAR látástávolság
2016. január 08. 00 UTC	200	100
2016. január 08. 12 UTC	400	400
2016. január 26. 12 UTC	600	600
2016. január 27. 00 UTC	300	200
2016. január 27. 12 UTC	300	200
2016. január 28. 00 UTC	500	300
2016. február 02. 00 UTC	1000	800

1. táblázat Analógiás módszerrel előrejelzett látástávolság és a Liszt Ferenc repülőtéren ténylegesen bekövetkezett (METAR táviratban közétett) látástávolság 2016. évben

A teszt időszak ködös időszakainak és az ahhoz tartozó látástávolságoknak a jó becslése arra enged következtetni, hogy a módszer, illetve annak továbbfejlesztése használható lesz a jövőben. Az is jól látszik vizsgálatunkból, hogy a hasonlósági vizsgálatokhoz nem csak a földfelszíni adatokat kell számításba venni [10], hanem érdemes a magaslégköri szondázási adatokat is bevonni az analógiás vizsgálatokba.

A jövőbeli felhasználási területek véleményünk szerint a következők lehetnek:

- ➔ amennyiben a numerikus modellek előrejelzett felszállási adatai megfelelő pontossággal jeleznék előre az adatokat, akkor hideg légpárna vagy ahhoz közeli ködös időjárási helyzeteknél a korábinál pontosabb látástávolság előrejelzést tudnánk adni;
- ➔ amennyiben az adatbázis úgy állítanánk elő, hogy a tényleges mérések helyett modell outputokat használnánk, akkor egy modell output statisztikai (MOS) módszert kapnánk, ami analógiás elven működne.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BONTA és HIRSCH (2008): 2008: Hidegpárna: a helyzet változatlan. Légkör, 53 (1), 12–14.
- [2] Silas Michaelidis (2008): Overview of Activities of the working Group on Statistical Methods. Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds 372-385 Official publications of the European Communities.
- [3] ANDRÉ Karolina: Az OpenIFS modell adaptálása Kárpát-medencei hideg légpárnás helyzetek vizsgálatára. Szakdolgozat ELTE TTK
- [4] Wyomingi Egyetem által közzétett rádiószonda adatok: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (2017.02.26.)
- [5] CSÉKI Gergő: Inverziós helyzetek kialakulása a Kárpát-medencében. Szakdolgozat ELTE TTK
- [6] SZABÓ André Karolina, BARTHOLY Judit, PONGRÁCZ Rita: A hideg légpárnák számszerű vizsgálatának lehetőségei.
- [7] BOTTYÁN Zsolt, WANTUCH Ferenc, TUBA Zoltán, HADOBÁCS Katalin, JÁMBOR Krisztián: Repülésmeteorológiai Klíma Adatbázis Kialakítása az UAV-k komplex meteorológiai támogató rendszeréhez.
- [8] MICHAELJ. young: Visual C++ 6 mesteri szinten. I. és II kötet. ISBN9630364638 Kiskapu kiadó.

- [9] GULYÁS Ottó: Fejezetek a matematikai statisztika meteorológiai alkalmazásaiból. Meteorológiai Tanulmányok. No.34 Budapest 1981.
- [10] Bottyán, Z., Wantuch, F., Gyöngyösi, Z., Tuba, Z., Hadobács, K., Kardos, P., Kurunczi, R., "Development of a Complex Meteorological Support System for UAVs", World Academy of Science Engineering and Technology, Vol. 76, 2013, pp. 1124, 1129.

VISIBILITY AND FOG FORECASTING METHOD FOR PERSISTENT COLD AIR POOL CASES BASED ON ATMOSPHERIC SOUNDINGS DATA AT LISZT FERENC INTERNATIONAL AIRPORT

Sounding data and aeronautical METAR data were collected at the Liszt Ferenc International Airport. Physical parameters were calculated from sounding data, in case of fog and cold air pool situations. 10 years database was constructed based on physical parameters and visibility data between 2005 and 2015. The synoptical climatological description of these parameters was done. Visibility forecasting method was constructed based on analogical statistical method. For the implementation of visibility forecasting method, C programs were developed. The mentioned forecasting method was tested on the independent data of 2016 year. The verification gave good results to forecast visibility at the airport in foggy situations.

Keywords: cold air pool, sounding data, inversion, fog, synoptical climatological description, visibility forecasting, analogical method

Gáspár Nikolett
egyetemi hallgató
Debreceni Egyetem
Meteorológiai Tanszék
gaspar.nikolett0910@gmail.com
orcid.org/0000-0003-4339-3302

Gáspár Nikolett
Student
National University of Debrecen
Faculty of Meteorology
gaspar.nikolett0910@gmail.com
orcid.org/0000-0003-4339-3302

Dr. Wantuch Ferenc, PhD
Meteorológus
Nemzeti Közlekedési Hatóság
Állami Légügyi Főosztály
wantuch.ferenc@nkh.gov.hu
orcid.org/0000-0001-7618-1336

Dr. Wantuch Ferenc, PhD
Meteorologist
National Transport authority
State Aviation Department
wantuch.ferenc@nkh.gov.hu
orcid.org/0000-0001-7618-1336

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_ENVIRON” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-13-0382_Wantuch_Ferenc-Gaspar_Nikolett.pdf

Dudás Dezső, Somosi Vilmos, Rohács Dániel

A REMOTE TOWER TECHNOLÓGIA POLGÁRI ÉS KATONAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

A remote tower intelligens technológia a repülőtéri funkciók digitalizálásával és integrálásával hatékonyabb megoldásokat biztosít a légiforgalmi irányítás számára, és megteremti a lehetőségét a repülőtértől földrajzilag függetleníthető légiforgalmi szolgáltatás kialakításának. Jelen cikk célja a nemzetközi polgári fejlesztési elgondolások és projektek általános ismertetése, továbbá annak a magyar polgári-katonai együttműködésű kutatásnak a bemutatása, amely válaszokat keres a technológia hazai és műveleti területi alkalmazási lehetőségeire.

Kulcsszavak: remote TWR, távoli toronyirányítás, ANSP, léginnavigációs szolgáltatás, repülőtéri irányítás

BEVEZETÉS

A legmodernebb légiforgalmi technológiák jelenleg már lehetővé teszik, hogy a léginnavigációs forgalmi szolgáltatók (a továbbiakban: ANSP-k) a repülőtereken kialakított torony épületből történő irányítási kapacitásnak megfelelő, de annak biztonsági szintjét felülmúló, teljes értékű repülőtéri légiforgalmi szolgáltatást (ún. távoli toronyirányítás, a továbbiakban: rTWR) valósítsanak meg lokális vagy a repülőtértől földrajzilag függetlenített (bármilyen távoli infrastrukturális) környezetben, egyéni repülőtéri megjelenítéssel vagy akár több repülőtér egyidejű kiszolgáltatását biztosító multi-rTWR konfigurációban.

A repülőtér üzemeltetők és az ANSP-k számos szempont (pl. forgalom intenzitása és összetétele, toronyépület beruházási, üzemeltetési és rekonstrukciós költségek rentabilitása, informatikai hálózatok rendelkezésre állása és kiépíthetősége, kényszerhelyzeti tartalék infrastruktúra szükségessége, humán erőforrás optimalizáció stb.) alapján határozhatják meg az új technológiával kapcsolatos igényeiket, melyek strukturálása és csoportosítása körvonalazhatja az iparágban egyelőre újdonságnak számító rTWR szolgáltatási és technológiai portfóliót.

A rTWR technológia az elmúlt években sokat fejlődött, és az egyre nagyobb számú szakmai érdeklődés eredményeként napjainkban világszerte jelentős tőkebefektetéssel zajlanak az ez irányú fejlesztések. A rTWR technológia elterjedése és alkalmazhatósága az Európai Bizottság és a légtérfelhasználók által szorgalmazott iparági liberalizációnak koncepciójába is illeszkedik, sőt, a folyamatot bizonyosan erősítő hatással fog bírni [1]. Az ANSP-k üzleti tervében szerepeltetett terminál üzletágnak – a helyi forgalmi körülmények változékonyságából adódó – gazdaságilag érzékenyebb mivolta miatt, illetve a légiforgalom-szervezésének hatékonysága javítása céljából napjainkban egyre gyakoribb az egyes ANSP tevékenységek, így a repülőtéri légiforgalmi irányítói szolgáltatás delegálása [2].

Néhány példa a kiszervezett repülőtéri szolgáltatásra:

- ➔ Austro Control (osztrák ANSP) kilenc németországi regionális repülőtéren [3];
- ➔ NATS (brit ANSP) Gibraltáron és további kilenc spanyolországi repülőtéren [4];
- ➔ DFS (német ANSP) Gatwick nemzetközi repülőtéren [5];

- a svéd ACR AB¹ cég (amely az állami tulajdonú ANSP (LFV) versenytársaként jelent meg az iparágban/piacon) az új nemzeti légügyi törvényi keretek között, tendereztetés eredményeként, húszból már tizenégy svéd repülőtéren nyújt szolgáltatást [6].

A delegálás keretében megjelenő az új nemzetközi ANSP a repülőtéri irányítási tevékenységet a helyi infrastruktúra (és állomány) használatával biztosítja, azonban a rTWR technológia hamarosan lehetővé teszi majd a repülőtéri viszonyoktól való elszakadást, a távoli irányítói környezetből történő (távoli) légiforgalmi szolgáltatás nyújtását.

A technológia iránti elköteleződést igazolja az a szintén figyelemre méltó tény, miszerint a norvég ANSP (Avinor) a KONGSBERG és Indra Navia cégek közösen (első lépésben) 15 norvég repülőtéren valósítják majd meg a rTWR technológia kiépítését [7]. Továbbá említésre érdemes, hogy az európai egyik kiemelkedő HUB repülőtérén, a London Heathrow nemzetközi repülőtéren – a terrorfenyegetettség kockázatának csökkentése, valamint üzletmenet folytonossági elvárások érdekében – 2009 óta üzemben áll egy kamera rendszer nélküli (csökkentett kapacitású) kényszerhelyzeti munkaterem a repülőtértől távoli titkos helyen, mint a világon elsőként üzembe állított rTWR infrastruktúra. Japánban pedig évek óta használnak kamerákat a regionális repterek remote AFIS kiszolgálásához.

Az így kialakítható (a repülőtér és a légiforgalmi szolgáltatás földrajzi függetlenítésének lehetőségét is magába rejtő) rTWR környezetnek és technológiai termék-palettának – az említett közvetlen felhasználói igényeken túl – bizonyos esetekben (pl. a NATO műveletekre felajánlott polgári, a kettős felhasználású, illetve az állami repülések céljára kijelölt repülőtereknél) kiemelt figyelemmel kell lenni a katonai alkalmazói követelményekre, továbbá a béke és minősített időszakos működési feltételek maradéktalan teljesülésére is. Ennek okán külön felértékelődik az új technológiának nem csak a polgári (elsősorban üzleti alapú) alkalmazhatósági vizsgálata, hanem mindazon katonai (műveleti) jellegű kutatás-fejlesztése is, melyek kapcsán elengedhetetlen egyes iparbiztonsági (légiközlekedés-védelmi és repülésbiztonsági), valamint kritikus infrastruktúra védelmi kérdések felvetése és tisztázása, továbbá egyes kockázati tényezők mélyreható elemzése [8].

NEMZETKÖZI KÖRNYEZET

A rTWR technológia kutatás-fejlesztési igényének katalizátora a repülőtéri forgalom és a légiforgalmi szolgáltatás evolúciójában keresendő. A repülőtéri környezetben történő (induló – érkező - átrepülő) forgalom növekedése és egyre komplexebb (IFR²/VFR³/OAT⁴) összetétele a repülőtéri infrastruktúra fejlesztése mellett a légiforgalmi szolgáltatás minőségi szintjének növelését is eredményezte. A kezdetben nem ellenőrzött légtérben kis forgalmat kezelő légiforgalmi tájékoztatás után szükségessé vált a légiforgalmi tájékoztatás és a repülőtéri irányítás bevezetése, amely szolgáltatások az ICAO⁵ hét légtér kategóriájának megfelelően definiálják a légiforgalmi szolgálat és a légi járművek vezetői közötti jogokat és kötelezettségeket.

¹ Aviation Capacity Resources AB (<https://www.acr-sweden.com/about-us/>)

² Instrument Flight Rules

³ Visual Flight Rules

⁴ Operational Air Traffic

⁵ International Civil Aviation Organization

Az 1. ábra „G”-től „A” osztályig bezárólag ismerteti (légiforgalmi szolgálatok növekvő felelősségi szintje szerint a légiforgalmi tájékoztatás és tanácsadástól a repülésirányításig) a nem ellenőrzött és ellenőrzött légtér-kategóriákban nyújtott szolgáltatásokat, és légijármű üzemeltetési feltételeket.

A szolgáltatás formáját többnyire a repülőtéri forgalom nagysága és összetétele határozza meg, de a légitársaságok ragaszkodhatnak a magasabb szintű légiforgalmi szolgáltatáshoz, és a repülőtér igénybevételének (járatindítás) sarkalatos feltételként jelölik meg az ATC⁶ meglétét.

Air-space Class	Flight rule	Separation Provided by ATS	Service Provided	Speed limitation*	Radio communication requirement	Subject to ATC clearance
A	IFR only	All aircraft	ATS	N/A	Continuous two-way	Yes
B	IFR	All aircraft	ATS	N/A	Continuous two-way	Yes
	VFR	All aircraft	ATS	N/A	Continuous two-way	Yes
C	IFR	IFR from IFR IFR from VFR	ATS	N/A	Continuous two-way	Yes
	VFR	VFR from IFR	1) ATC for separation from IFR 2) VFR/VFR traffic information service (and traffic avoidance advice on request)	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	Yes
D (1)	IFR	IFR from IFR	Air traffic control service, traffic information about VFR flights (and traffic avoidance advice on request)	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	Yes
	VFR	Nil	IFR/VFR and VFR/VFR traffic information (and traffic avoidance advice on request)	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	Yes
E (2)	IFR	IFR from IFR	Air traffic control service and, as far as practical traffic information about VFR flights	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	Yes
	VFR	Nil	Traffic information as far as practical	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	No	No
F	IFR	IFR from IFR as far as practical	Air traffic advisory service; flight information service	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	No
	VFR	Nil	FIS	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	No	No
G	IFR	Nil	FIS	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	Continuous two-way	No
	VFR	Nil	FIS	250 kts IAS below 10000 ft AMSL	No	No

Remarks:

* When the height of the transition altitude is lower than 10,000 ft AMSL, FL100 should be used in lieu of 10,000 ft

(1): In Class D airspace, both IFR and VFR traffic are required to follow ATC clearances, however, ATC are only responsible for IFR against IFR separation

(2): In Class E airspace, ATC does not provide separation between IFR and VFR traffic, IFR traffic shares responsibility for separation from uncontrolled VFR traffic with that traffic

1.ábra ICAO légtérosztályok és repülési szabályok [9]

A repülőtéri toronyból tehát – a repülőtéri környezetre jellemző forgalmi összetételhez és igényekhez igazodva – a fenti légtér-klasszifikációnak megfelelően biztosított a légiforgalmi szolgáltatás, ebből következően egy esetleges, az aktuális környezetet kiváltó/támogató rTWR infrastruktúrájának is legalább azzal megegyező, vagy magasabb szintű szolgáltatási szintet kell biztosítani. Ennek „nulladik” lépésben történő definiálása (forgalmi környezethez igazodó légiforgalmi szolgáltatási infrastruktúra) határozhatja meg az adott repülőtéren tervezett rTWR

⁶ Air Traffic Control - repülésirányítás

beruházások körülményeit, feltételeit, és hosszú távú fejlesztési irányait.

A légiközlekedés költség-hatékonyságának növelése az Európai Bizottságnak is egyik elsőszámú ágazati elvárása, annak érdekében, hogy Európa versenyképessége javulhasson, ezért az ANSP-knek csökkenteniük kell szolgáltatási díjaikat. A repülésbiztonság és a költség-hatékonyság egymásnak gyakran ellentmondó feltételrendszerében a regionális repülőterek nem képesek rentábilis forgalom szint elérésére/fenntartására a hagyományos módon, így a légiforgalom volumene nem teszi lehetővé, hogy a repülőterek képesek legyenek a szolgáltatás-fejlesztés önálló kigazdálkodására. Az elmúlt évtized technológiai fejlődése azonban mára lehetővé teszi, hogy a szolgáltatásokat az elvárt biztonsági szinten, a korábbi technológiákhoz képest csökkenő költségszint mellett lehessen nyújtani, akár olyan irányító központ által, amely egyszerre több repülőterre is alkalmazza az új technológiai megoldást és szolgáltatást.

A jelen környezetünkben kialakított konvencionális repülőtéri légiforgalmi szolgáltatás fejlődésének maga az emberi képesség is fizikai korlátokat állít. Ez egyben határt szab a forgalom kiszolgálásának és kapacitásának, hiszen a légiforgalmi szolgálat teljesítményét – és ezáltal a szolgáltatási szint formáját és minőségét – többek között a földi és a légi mozgások légiforgalmi irányítói felügyelete is meghatározza.

Ahogy az emberi érzékelés, úgy az információk befogadásának és feldolgozásának gyorsasága is véges kapacitással bír, melynek határait csak a technológia alkalmazásával lehet javítani. Ennek példája a nagyobb kiterjedésű repülőterek előtereinek és mozgási területének felügyeletére bevezetett ún. A-SMGCS⁷ rendszerek és az ott telepített forgalmi ellenőrző és figyelmeztető jelzések, amelyek lehetővé teszik, hogy a repülőtéri irányítók a teljes területet átfogóan és könnyebb lefedéssel ellenőrizhessék. Az irányító toronyban rendszeresített optikai (pl. távcső) eszközök a légijárművek azonosítását segítik, de csak az időjárási körülmények függvényében lehetséges a vizuális felderítés. A forgalmasabb repülőterek légtereinek felügyeletéhez – az irányító személyzet helyzet tudatosságát segítő – az induló/érkező légiforgalom szervezéshez földi telepítésű szenzorok⁸ biztosítanak információkat.

A repülőtéri légiforgalmi szolgáltatók munkatechnológiájára irányuló kutatások azonban bizonyították, hogy az irányító állomány – a tevékenységüket támogató rendszerek ellenére – elsődlegesen a vizuális felderítés és helyzetkép alkotásra hagyatkozva végzik feladatukat, és a munkaterhelést jelentős mértékben növeli a rövid idő alatt többször váltakozó nagy távolságba történő fókuszálás, illetve az ún. „head-down” munkafázis⁹ időtényezője [10]. Ebből adódóan olyan rTWR megvalósítása célszerű, amely a felesleges munkafázisokat csökkentve, a legtöbb hasznos információt biztosítva támogatja a légiforgalmi szakállományt optimalizált tevékenysége eredményes végrehajtásában.

Tekintettel arra, hogy a legmagasabb szintű szabályozások (pl. ICAO Doc 9426 Air Traffic Services Planning Manual) sem követelik meg kötelezően a torony épület meglétét egy repülőtéri szolgálat kialakításához, ill. fenntartásához, ezért a távoli toronyirányítás valódi alternatíva lehet, és érdemi megoldásokat eredményezhet különböző problémákra (erre további nemzetközi példa a Colorado államban működő – budapesti forgalmi kapacitáshoz hasonló – Fort Collins-Loveland

⁷ Advanced Surface Movement Guidance and Control System

⁸ pl. közelkörzeti lokátor (ASR), ADS-B, MLAT, GBAS, SBAS, stb.

⁹ amikor a személyzet az irányítói munkahelyen (Controller Working Position, CWP) rendszeresített rendszerek monitorait használja

Municipal Airport, amelyen az FAA¹⁰ engedélyezte a rTWR technológia kialakítását¹¹).

„Távoli toronyirányítás során korszerű kameratechnológiát használunk repülőtéri irányításhoz. A koncepció lényege az, hogy az irányítókat közelebb tudjuk vinni a forgalomhoz, és ezáltal olyan látványban lehessen részük, amelyek jelen pillanatban nem elérhetőek az irányító kabinból” [11].

A rTWR technológia vonatkozásában tehát a repülőtéri irányítást és funkciókat támogató rendszerek digitalizálásával és integrálásával biztosítható az emberi teljesítőképesség korlátainak kitolása, megteremtve ezzel a hatékonyabb légiforgalmi szolgáltatási környezetet a forgalmi kapacitás és a repülésbiztonság növelése érdekében. „A rTWR intelligens technológia a repülőtéri funkciók digitalizálásával és integrálásával hatékonyabb megoldásokat biztosít a légiforgalmi irányítás számára” [12].

A kiterjesztett valóság (Augmented Reality) lehetőségeit is kiaknázó, az integrált funkciókat biztosító adatfeldolgozást és megjelenítést új dimenziókba helyező rTWR megvalósítási lehetőségeket kutatása nagy múltra tekint vissza. A légiközlekedési és légiforgalom-szervezési területen jelentkező eltérő szakmai igényeknek megfelelően a K+F+I projektek számos változata fellelhető, amelyek az alábbi tényezők alapján tipizálhatóak (2. ábra).

Szempont	Jellemző
Repülőtéri kapacitás és forgalmi komplexitás	low – medium – heavy VFR – IFR – OAT
Futópálya darabszám és konfiguráció	single – multiple (parallel/crossing) RWY ¹²
Nyújtott légiforgalmi szolgáltatás	AFIS – ATS
Légiforgalmi szakszemélyzet által egyidejűleg felügyelt repülőtér	single – integrated – multi RTC ¹³
Vizuális megjelenítés (CWP) és alkalmazott (beintegrált) rendszerek ¹⁴	panorama (180° vs. 360°) – video wall

2. ábra a rTWR technológiák csoportosítási jellemzői (készítette: Szerzők)

A különböző repülőtéri mutatók, tulajdonságok és jellemzők beazonosításával tehát az egymással megegyező vagy hasonlók egy csoportba sorolhatók, így lehetőség nyílik a repülőtéri igények és projektek egymással való összehasonlítására.

A fenti jellemzők szerint néhány példa az európai környezetben fellelhető rTWR koncepciókra és megvalósulásokra (a teljesség igénye nélkül):

- ➔ **Single rTWR solution:** Svédországban a nemzeti ANSP (LFV) és a SAAB 2015. április 21-én az Örnköldsvik-i repülőtéren, a világon elsőként üzembe helyezte azt a rTWR rendszert, amely lehetővé tette a repülőtér felügyeletét a Sundsvall-ban kialakított irányító központból. Az egy futópályás, alacsony forgalmi intenzitású repülőtéri projektet elsődlegesen az irányítói humán erőforrás-gazdálkodás optimalizációja hívta életre. [13]
- ➔ **Single rTWR solution (for multiple RWY):** a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren (LHBP) kialakításra tervezett rTWR technológia egyedülálló a maga nemében,

¹⁰ Federal Aviation Administration

¹¹ forrás: <http://www.airtrafficmanagement.net/2015/10/virtual-control-tower-for-fort-collinsloveland/>

¹² Runway

¹³ Remote Tower Centre

¹⁴ infra/PTZ kamera, CNS, MET, ASM, ATFM rendszerek, e-strip (repülés-nyilvántartó szalag), stb.

ugyanis két egymással párhuzamos futópálya vizualizációját kell megvalósítani, a jelenleg is rendszeresített kiszolgáló és támogató (légiforgalmi irányítói és tájékoztató¹⁵, CNS¹⁶, meteorológiai, légtér-gazdálkodó és áramlásszervező) rendszerek integrálásával, és videófal-jellegű vizualizációval.



3.ábra A HungaroControl rTWR CWP éjszakai tesztelés során

A magyar projekt további sajátossága, hogy az implementációs ütemtervnek megfelelően 2018-tól a repülőtéri irányítás teljes mértékben kivonul a budapesti nemzetközi repülőtér szimbólumának számító, több mint 30 éves irányító torony épületből, és kizárólag rTWR, illetve annak tartalékát biztosító ún. cTWR¹⁷ környezetből lehet végrehajtani a közeljövőben [14].

- ➔ Integrated rTWR solution: a németországi ANSP (DFS) az egyfutópályás Saarbrücken-i repülőtéri rTWR környezet mellett a közeljövőben kialakításra kerülő Erfurt és Drezda repülőterek rTWR munkahelyeit be kívánja integrálni a Lipszében kialakításra kerülő RTC-be. A rTWR munkahelyek egy irányító terembe történő telepítése ellenére a repülőterek irányítása egymástól elkülönítve fog történni. [15]
- ➔ Multi rTWR solution: a holland szimulációs K+F projekt keretében 2016 szeptemberében a holland ANSP (LVNL) Schiphol-i központjában került kialakításra az az irányító központ, amelyben tesztelésre került a keresztpályás Groningen-Eelde repülőtér kamera rendszerrel biztosított valós idejű forgalma, és az egypályás Maastricht-Aachen-i repülőtér (EHBK) szimulált környezete került megjelenítésre. [16] A SESAR projekt keretében virtuális megjelenítést a holland kutató intézet (NLR) NARSIM rendszere biztosította [17].

KUTATÁS-FEJLESZTÉSI ELGONDOLÁSOK

A SESAR¹⁸ az Európai Unió Egységes Európai Égbolt kezdeményezésének modernizációs, technológiai alappillére, olyan nagyszabású kutatás-fejlesztési program, amely alapvetően az európai légtér töredezettségének csökkentését, valamint a repülésbiztonság, a hatékonyság, költség-hatékonyság, az ATM rendszer szintű kapacitásának növelését célozza.

¹⁵ ATC és AIS

¹⁶ Communication, Navigation, Surveillance

¹⁷ contingency remote Tower

¹⁸ Single European Sky ATM Research

A SESAR keretében kifejezetten a kis forgalmú (50.000 mozgás/év, egy futó pálya, egy időben egy mozgású) repterekre fejlesztették ki az ún. „Single rTWR” koncepciót. A toronyirányító szakszemélyzet felé elvárás, hogy folyamatosan megfigyelés alatt tartsák a felelősségi körükbe tartozó repülőteret és közvetlen környékét¹⁹. Az új elképzelés szerint az irányító személyzetet nem feltétlenül a repülőtéren kell elhelyezni, hanem a repülőtér képét kell az irányítókhoz eljuttatni pl. zárt láncú TV-kamerák segítségével (DOC 9426 ICAO Doc 9426 Air Traffic Services Planning Manual 2.1.2 fejezete). Az irányítási szolgálat kialakításánál ekkor a toronyépületben való elhelyezés, mint legerősebb fizikai korlát alkalmazásától mentesülve lehetséges a költséghatékonyság szempontjának előtérbe helyezése, úgy hogy a repülésbiztonság nem sérül.

Kiterjedt nemzetközi K+F program során a rTWR koncepció validálásra került, és a SESAR mint a kisforgalmú, regionális repülőterek költséghatékony eszközét 2014 nyarán publikálták [18]. A megállapítások egyike, hogy a rTWR alkalmazásával lehetőség nyílik olyan repülőterek számára a légiforgalmi szolgáltatások biztosítása, ahol jelenleg nem elérhető, vagy körülményes és túl drága a személyzet hagyományos elhelyezése.

A SESAR keretében validált műszaki megvalósítás lehetőségével igazolták a kamerák teljes értékű alkalmazhatóságát az irányítás számára, valamint beazonosították az alábbi előnyöket:

- Költséghatékonyság;
- hosszú- távú működőképesség;
- alacsonyabb humán-erőforrás költség;
- regionális repterek támogathatósága.

Az európai folyamatokkal összhangban, a legmagasabb szintű globális légiforgalmi szervezet, az ICAO az ASBU B1-81 fejlesztési modulban globálisan is megfogalmazta a rTWR alkalmazását kisforgalmú repülőterek számára [19]. Az ICAO tagok körében általános az egyetértés, hogy a technológia megvalósításával legalább az alábbi területeken érhető el fejlődés:

- repülésbiztonság;
- alacsonyabb fenntartási költség a reptéren;
- alacsonyabb költséggel nyújtható irányítási szolgáltatás a légtér használók számára;
- hatékonyabb humán erőforrás felhasználás;
- magasabb helyzet-tudatosság az alacsony láthatóság esetén használhat képjavítás segítségével;
- magasabb forgalmi kapacitás alacsony láthatóság esetén;
- magasabb forgalmi kapacitás kényszerhelyzeti szituációkban.

A legfrissebb SESAR Soution Catalogue pedig már tartalmaz egy megoldást a két, kis forgalmú repülőtér multi-rTWR technológiával történő irányításra [20].

A kutatási eredményeket felhasználva az európai repülésbiztonsági ügynökség (EASA) is hivatalosan publikálta a hatóság értelmezését és implementációs útmutatóját a távoli toronyirányításra vonatkozóan [21]. A hatóság állásfoglalása szerint nem szükséges új, speciális szakszolgálati engedély a rTWR alkalmazása esetén, mert az irányítási szolgáltatás megegyezik a hagyományosan nyújtott szolgáltatással.

A fentiekkel összhangban szintén kiadásra került a távoli toronyirányítás vizuális rendszereinek

¹⁹ ICAO DOC 4444 7.1.1.2 szerint

elsődleges szabványosítása (EUROCAE ED-240), amely magában foglalja a nagyobb forgalmú, összetett irányítási rendszerekkel rendelkező repülőtereket is

KATONAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

Annak ellenére, hogy a polgári területen évek óta folynak kutatások és implementációs projektek a rTWR technológia alkalmazásával összefüggésben, a katonai fél egyelőre „óvatos” szereplőként követi az eseményeket. A fent vázoltak viszont egyértelműen szemléltetik, hogy a rTWR technológiában rejlő potenciál nem csak a polgári légiközlekedési területen, hanem az állami célú légiközlekedésben is hatékonyan kamatoztatható. A rTWR elemei a katonai repülőtereken nyújtott légiforgalmi irányítói tevékenységek hatékonysági mutatóit is javíthatják, így a katonai légiforgalmi szolgálatok is aktív szereplői lehetnek XXI. század Szövetségi katonai műveleteire jellemző ún. „*smart defence*” stratégiai koncepciónak [22].

A rTWR kutatás-fejlesztésben, a *smart defence* vonatkozásában, egyelőre fel nem tárt területek és alkalmazási lehetőségek mutatkoznak, amelynek részeként lehetőség nyílik a korszerű és digitalizált katonai repülőtéri műveleteket integrálni a NATO országok kollektív védelmi eszközrendszerébe. Emellett a rTWR technológia hozzáadott értéket teremthet a Szövetség expedíciós műveleteiben az információs fölény kivívásához és alkalmazásához, a kiber-védelem és az interoperabilitási képességek további fejlesztéséhez, és nem utolsósorban a nagy értékű képviselő emberi erő védett környezetben történő foglalkoztatásához²⁰ [23].

A rTWR katonai alkalmazhatósága honvédelmi környezetben azonban nem feltétlenül jelenti az adott repülőtéri környezettől távoli kialakítást. A katonai potenciál a rTWR technológiában rejlő előnyök kiaknázását jelenti (lokálisan vagy távoli környezetben), melyet az alábbi körülmények közötti (interoperabilis) telepíthetőségek függvényében kell érvényesíteni, békeidőben és minősített időszakban egyaránt (4. ábra).

Elhelyezkedés	Hazai környezet	Műveleti terület
Létező repülőtéri infrastruktúra	Budapest, Pápa	Kabul Nemzetközi Repülőtér
Ideiglenes infrastruktúra	Várpalota lőtér, ideiglenesen kijelölt heliport	ISAF Camp Bastion

4. ábra Katonai alkalmazhatósági kategóriák (készítette: Szerzők)

A rTWR katonai környezetben való kiépítésénél – a polgári beruházásokkal ellentétben – külön hangsúlyt kap a technológia kiépítésének, üzemeltetésének és fejlesztésének időintervallum szerinti definiálása. Egy helyi (hátszágai) üzemeltetés gyakorlatilag megegyezik a polgári környezetben tervezett beruházással, azzal a különbséggel, hogy az investálásnak nincs forgalmi bevételi megtérülési indexe, illetve a katonai alkalmazási környezet esetlegesen szigorúbb műszaki követelményeket támaszt (zavarvédettség, ellenálló-képesség stb.). Egy mobil rendszer esetében pedig a gyors telepíthetőség és szállíthatóság lesznek a kiemelt szempontok.

A katonai alkalmazhatóságú rTWR kutatás-fejlesztése tehát az általános (hátszágai fix telepítésű alkalmazáshoz szükséges) hadműveleti követelmények meghatározása mellett a moduláris

²⁰ a katonai RPAS koncepcióhoz hasonlóan

és mobilitási (gyors szállíthatóság és aktiválás) képességeinek vizsgálatát is jelenti. Az eredmények elérhetővé teszik rTWR technológia NATO telepíthető ATM komponens (újabb nevén NATO Deployable Airbase, NDAB²¹) képességen belüli jövőbeni alkalmazását, mely koncepció kialakításában a Szövetségen belül egyelőre a Magyar Honvédség és a HungaroControl vállalt vezető szerepet. A közös kutatás-fejlesztés a 2016 márciusában indított SESAR 2020 technológiai K+F programhoz való csatlakozás eredményeként valósulhat meg, melynek keretében (a budapesti, debreceni és pápai repülőtereken) lehetőség nyílik aktív szerepet vállalni két olyan kiemelt vonatkozású projektben, melyek jelentős mértékben meghatározhatják a polgári és katonai léginnavigációs szolgáltatás jövőképét:

- *Remotely Provided Air Traffic Service for Multiple Aerodromes* (PJ05-02) Budapest, Debrecen és Pápa repülőterek demonstrációja egy több repülőteret kiszolgáló integrált irányítói munkakörnyezet kifejlesztésére;
- *Remotely Provided Air Traffic Services from a Remote Tower Centre with a flexible allocation of aerodromes to Remote Tower Modules* (PJ05-03) szimuláció kifejezetten a repülésirányítók és a repülőterek flexibilis összerendezésének vizsgálására.

A pápai katonai forgalmi környezet (a hazai normál üzemmenet szerinti és a nemzetközi komplex gyakorlatok forgalmi összetétele alapján) alkalmas a katonai speciális indulási/érkezési eljárások rTWR környezetben való megjelenítésének szimulálására. A katonai gyakorlatok keretében az eljárások például az alábbiakra terjedhetnek ki:

- nagy/kis magasságú műveleti bejöveteli és kényszerhelyzeti eljárásokat;
- kötelékrepüléseket (beleértve a gyülekezés/oszolj manővereit);
- deszant műveleteket (ejtőernyős/teher);
- infra zavaróöltet alkalmazását;
- kényszerhelyzeti műveleteket (fegyverzet vészledobás, katapultálás, futópálya roncsolódása miatt kényszerhelyzeti leszálló mező, kamerák/légijármű személyzet elleni lézeres támadás);
- veszélyes áru kezelése (le/felfegyverző és mentesítő zóna);
- madár és RPAS²² detektálást és riasztási eljárásokat.

A demonstrációs környezetben különösen nagy hangsúlyt terveznek fektetni a rTWR és a földi (al)egységek, kiszolgáló elemek közötti együttműködés és adatkapcsolat tesztelésére is:

- tűzoltó szolgálat;
- repülőtér karbantartás;
- repülőtér őrzés védelem (frekvenciazavarás, külső belövések azonosítása);
- elfogó rendszerek működtetése (ATU-2, BAK-12);
- bázis földi légvédelem;
- tűzszerész alegységek;
- harcálláspont, repülő-műszaki szolgálat, repülő századparancsnokság.

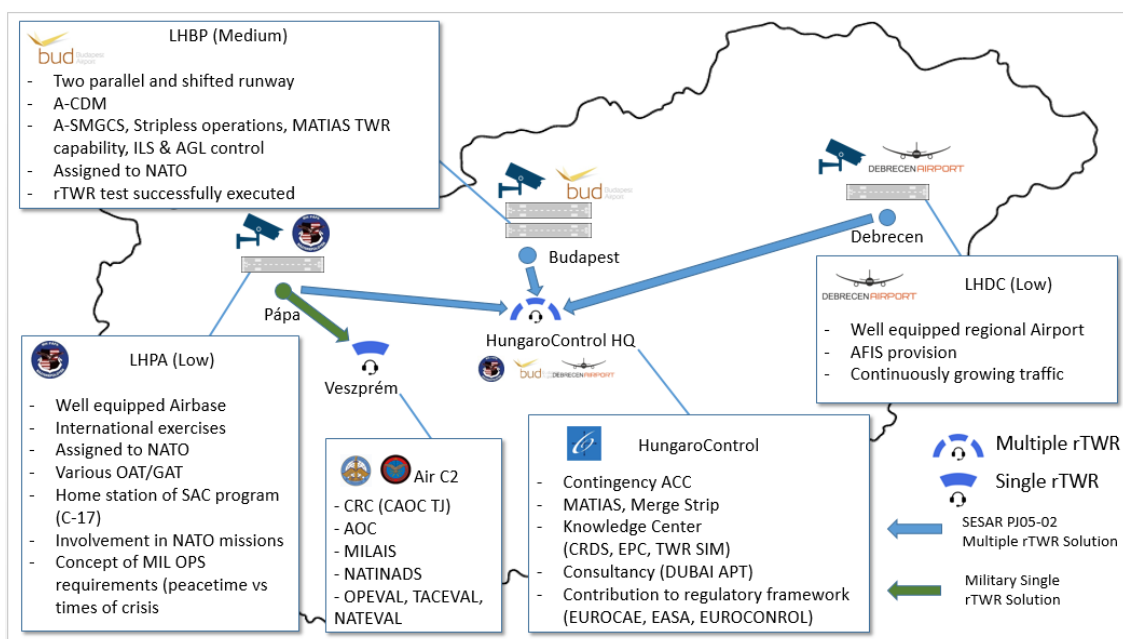
A fent vázolt kutatás-fejlesztések során feltárt megállapítások, szükségletek az NDAB koncepciójába kerülnek betagozódásra. A NATO pristinai és afganisztáni missziói során szerzett ta-

²¹ NATO SHAPE által menedzselte koncepció

²² Remotely Piloted Aircraft System

paszlatokon alapuló, több mint tíz éve folyamatosan fejlesztett koncepció alapján a komponens az fő működési terület szabványosítását és képesség-alapú erőgenerálását célozza [24]:

- repülőtéri szolgáltatok;
- repülőtéri és eljárás szerint működő bevezető légiforgalmi irányító szolgálat;
- bevezető és leszállító radar légiforgalmi irányító szolgálat;
- légiforgalmi tájékoztató szolgálat, beleértve az eljárásstervező szolgálatot;
- navigációs és híradó szolgálat;
- meteorológiai szolgálat, beleértve a madárveszély elhárítást is;
- tűzoltó és hó eltakarító szolgálat;
- földi kiszolgálás;
- repülőtér üzemeltető és karbantartó szolgálatok.



5.ábra a honvédelmi tárca és a HungaroControl közös K+F tevékenysége (forrás: HM)

A honvédelmi tárca rTWR fókuszú K+F tevékenysége a Magyar Honvédség légiforgalom-szervezési rendszere korszerűsítését célzó MANS 2010+ programjának is részét képezi. A program, mely megteremti a lehetőségét a NATO és Európai Unió ATM fejlesztési stratégiák Magyar Honvédségbe történő folyamatos beillesztésének, fő célkitűzései különösen [25]

- a Magyar Honvédség közép- és hosszú távú ATM stratégiájának kidolgozása;
- a katonai repülőterekre vonatkozó ATM/CNS korszerűsítési szükségletek és követelmények meghatározása, együttműködés a katonai légiforgalom-szervezést érintő hadműveleti követelmények kidolgozásában;
- megvalósíthatósági hatástanulmányok elkészítése, elemzése, a katonai ATM/CNS rendszerek és ATM munkatechnológiai eljárások polgári rendszerekkel és eljárásokkal való harmonizálása;
- az MH telepíthető ATM képesség kialakításának előkészítése az EU, illetve NATO részére történő nemzeti felajánlás körének bővítéséhez.

A MANS2010+ program és a fent nevezett SESAR projektek eredményeként felmutatott hazai rTWR kutatások eredményei a NATO rendszerében – a smart defence elgondolás szerinti

NDAB koncepció keretében életre hívott – Deployable Airbase Activation Modules (DAAM) projektben kerülnek hasznosításra. Ennek megfelelően a rTWR katonai alkalmazhatóságának lehetőségeit a NATO műveleti repülőtér-üzemeltetési életciklusához igazítva kell vizsgálni és meghatározni. Az NDAB és DAAM szerint az életciklus főbb fázisai:

- hadműveleti igény definiálása;
- többnemzeti erőgenerálás (képeségek felajánlása) és repülőtér aktiválás (kitelepülés);
- egy éves ideiglenes műveleti térségi üzemeltetés;
- hadműveleti körülmények függvényében a repülőtér hosszabb idejű üzemeltetése;
- az adott térség (ország) légtér-normalizációs folyamata szerint a repülőtér visszaállítása a békeidejű polgári üzemeltetési környezetre.

ÖSSZEGRZÉS

A rTWR a légiközlekedési iparág egyik legígéretesebb és legdinamikusabban fejlődő kutatás-fejlesztési területe. A polgári légiforgalom viszonylatában új távlatok nyílhatnak meg a költségghatékonyabb és magasabb repülésbiztonsági szintű léginavigációs szolgáltatásban, mely egyben vizionálja a repülőtéri irányítói szolgáltatás liberalizációjának felgyorsulását, illetve a repülőterek, illetve szolgáltatók valódi földrajzi függetlenedését.

A polgári légiforgalmi szolgáltatási környezetben végzett előzetes vizsgálatok és kutatások megállapították, hogy a rTWR technológia, mint intelligens közlekedési rendszer (ITS) jövőbeni alkalmazása az alábbi előnyöket biztosíthatja [26]:

- közép- és hosszútávon megtérülő beruházás;
- optimalizálható humán-erőforrás felhasználás;
- regionális repterek támogathatósága;
- repülőtéri légiforgalmi szolgáltatási szint és forgalmi kapacitás növelése;
- repülőtéri irányításban használt információk hatékonyabb felhasználása.

A hazai előzetes vizsgálatok és elemzések is rámutattak annak a lehetőségére, hogy a nemzeti léginavigációs szolgáltató (HungaroControl) székházában kialakítandó virtuális központ képes lehet egyes vidéki repülőterek légiforgalmi szolgáltatásának biztosítására is, amely potenciált jelenthet a regionális repülőtéri üzemeltetés minőségi szintjének és a forgalmi kapacitás növelésére [27].

A rTWR technológia az állami célú légiközlekedésben is alkalmazható, melynek jelentőségét felismerve a Honvédelmi Minisztérium és a HungaroControl közös stratégiai együttműködés keretében kezdte meg kutatás-fejlesztési projektjeit. A béke- és minősített időszak rTWR üzemeltetéséhez szükséges az alkalmazói (hadműveleti) követelmények meghatározása érdekében a katonai részvételű K+F+I tevékenységek keretében különösen az alábbi szempontokat kell vizsgálnia a feleknek:

- költségghatékonyaság;
- telepíthetőség és interoperabilitás;
- korlátozott infrastrukturális környezetbe történő implementálás üzemeltetés;
- kiber-biztonság és fizikai védelem;
- kiképzés és katonai hatósági engedélyezés.

A honvédelmi tárca által indított *Military Single rTWR solution* projekt várhatóan 2019-re hoz eredményeket a fent vázolt területeken és kérdéskörben. Az elképzelések szerint a katonai

rTWR K+F tevékenység a honvédelmi tárca által indított Zrínyi 2026 haderő-fejlesztési koncepcióba is beilleszthető, amely biztosítja majd a Magyar Honvédség légiforgalom-szervezési rendszerének korszerűsítését, egyben megteremti a lehetőségét a MH telepíthető ATM képesség kialakításának előkészítését az EU, illetve NATO nemzeti felajánlású műveleteihez [28].

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Somosi Vilmos: Légiforgalmi irányítói szolgáltatás delegálása lehetőségeinek és feltételeinek általános vizsgálata. Hadmérnök XI. Évfolyam 4. szám - 2016. december (34-45. old.)
- [2] Somosi Vilmos: Kényszerhelyzeti eljárások kezelése delegált légiforgalmi irányítói környezetben. Repülés-tudományi Közlemények XVIII. Évfolyam 2016/3. szám (37-48. old.)
- [3] LSSIP AUSTRIA YEAR 2015 LEVEL 1 (e-dok.) url: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/lssip2015-austria.pdf> (2016.09.01.)
- [4] LSSIP UNITED KINGDOM YEAR 2014 LEVEL 1 (e-dok.) url: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/lssip2014-unitedkingdom.pdf> (2016.09.01.)
- [5] DFS: ANS takes over tower services at Gatwick Airport (online) url: https://www.dfs.de/dfs_homepage/en/Press/Press%20releases/2016/01.03.2016.-%20ANS%20takes%20over%20tower%20services%20at%20Gatwick%20Airport/ (2016.03.01.)
- [6] ATC Network: Swedish game changer aims to break into the European air traffic services market (online) url: <http://www.atc-network.com/atc-news/swedish-game-changer-aims-to-break-into-the-european-air-traffic-services-market> (2017.02.21.)
- [7] Kongsberg: Remote Towers presented: Significant international potential (online) url: <https://www.kongsberg.com/en/kog/news/2015/september/biggest-contract-for-remote-towers/> (2015.09.30.)
- [8] Dr. Palik Máttyás - Somosi Vilmos: A léginavigációs infrastruktúra-fejlesztés kockázatelemzési sajátosságai. Repülés-tudományi Szemle 2017/1.
- [9] ICAO Annex 11 Air Traffic Services, Chapter 2, Section 2.6 (szerkesztette: Szerzők)
- [10] N. Fürstenau, M. Schmidt, M. Rudolph, C. Möhlenbrink, W. Halle: Augmented vision videopanorama system for remote tower operation. 26. ICAS 2008. (e-dok.) url: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2008/PAPERS/093.PDF (2008.10.19.)
- [11] HungaroControl: rTWR (Remote Tower, távoli toronyirányítás) 2016 (online) url: https://www.youtube.com/watch?v=tuHb_W3Z3rU
- [12] SAAB: Remote Tower Transformation of air traffic services (online) url: <http://saab.com/fi/security/air-traffic-management/air-traffic-management/remote-tower/>
- [13] LfV: Sweden first in the world with remotely operated air traffic management (online) url: <http://lfv.se/en/news/news-2015/sweden-first-in-the-world-with-remotely-operated-air-traffic-management> (2015.04.21.)
- [14] HungaroControl: Remote Tower (online) url: <http://en.hungarocontrol.hu/knowledge-center/remote-tower> (2017.01.14.)
- [15] DFS: DFS selects remote tower technology from Frequentis (online) url: https://www.dfs.de/dfs_homepage/en/Press/Press%20releases/2015/03.06.2015.-%20DFS%20selects%20remote%20tower%20technology%20from%20Frequentis/ (2015.06.03.)
- [16] NLR: Remote Tower Live Trials in the Netherlands (online) url: <http://www.nlr.org/news/remote-tower-live-trials-in-the-netherlands/> (2017.03.01.)
- [17] NLR: NLR uses NARSIM successfully in simulations of Remote Tower Operations (online) url: <http://www.nlr.org/news/nlr-uses-narsim-successfully-in-simulations-of-remote-tower-operations-for-sesar-consortium-partners-in-the-netherlands/> (2016.07.26.)
- [18] SESAR JU: Unpacking SESAR solution pack at Dublin (online) url: <http://www.sesarju.eu/newsroom/events/unpacking-sesar-remote-tower-services> (2014.06.12.)
- [19] ICAO: ASBU Modules B1-RATS: Remotely Operated Aerodrome Control (online) url: <http://www.icao.int/Meetings/anconf12/Lists/ASBU%20Modules/DispForm.aspx?ID=31&ContentTypeId=0x01003DF68BF62BD5034D95AF12078E0A7CAA> (2012.07.23.)
- [20] SESAR JU: SESAR Solutions Catalogue SJU References #52/ Release 4 (online) url: http://www.sesarju.eu/sites/default/files/solutions/SESAR_Solutions_Catalogue.pdf (2016.)
- [21] ED Decision 2015/015/R Requirements on Air Traffic Controller licensing regarding remote tower operations

- [22] NATO: Smart Defence (online) url: http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_84268.htm (2017.02.20.)
- [23] Szegei Péter: NATO Smart Defence: Nagyobb biztonság kevesebb kiadással. Hadtudományi Szemle 2015. VIII. évfolyam 1. szám. (e-dok.) url: http://uni-nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi_szemle/szamok/2014/2015_1/15_1_bp_szegedip.pdf
- [24] Vas Tímea – Somosi Vilmos: A Magyar Honvédség mobil ATM komponens lehetőségei a NATO hadműveleti repülőterein. Repüléstudományi Közlemények különszám 2010. április 16.
- [25] Somosi Vilmos – Vas Tímea: A Magyar Honvédség légiforgalom-szervezési rendszere korszerűsítésének fő irányai. Repüléstudományi Közlemények különszám 2011. április 15.
- [26] Markovits-Somogyi Rita: Intelligens közlekedési rendszerek a légiforgalmi irányításban. Repüléstudományi Közlemények 2015/3 (online) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-Repulestudomanyi_kozlemenyek.pdf (2016.01.01.)
- [27] Dudás Dezső, Markovits-Somogyi Rita, Török Ádám: Virtuális repülőteri irányító központ Közlekedésbiztonság: A Nemzeti Közlekedési Hatóság szakmai lapja, 2012/3-4. pp. 14-17 (online) url: <https://www.nkh.gov.hu/media-kozpont/kiadvany/-/b/19678/kozlekedesbiztonsag-2012-3-4-szam> (2012.12.31.)
- [28] Honvédelem.hu: Zrínyi 2026 Az átfogó fejlesztések időszaka következik (online) url: <http://www.honvedelem.hu/cikk/61339> (2017.01.16.)

ADVANTAGES OF THE REMOTE TOWER TECHNOLOGY IN CIVIL AND MILITARY AVIATION

The remote tower intelligent technology can provide smart approach to air traffic services by digitalizing and integrating certain airport functions. It can also provide solutions for the geographical independence of air traffic control from supported airport. The article introduces the international civil R&D concepts and also the Hungarian civil-military cooperation which aims to find disentanglement for domestic and deployable military remote tower operation.

Keywords: remote tower NDAB, DAAM multi rTWR, cTWR, RTC

Somosi Vilmos
FAB program menedzser és polgári-katonai
együtműködési koordinátor
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt
vilmos.somosi@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0002-4763-2174

Somosi Vilmos
FAB Program manager and civil-military cooperation
coordinator
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services
vilmos.somosi@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0002-4763-2174

Dr. ROHÁCS Dániel, PhD
Szakmai Fejlesztési Osztályvezető
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt
daniel.rohacs@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0002-4629-4417

Dr Daniel ROHACS, PhD
Head of Research, Development & Simulation Dept.
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services
daniel.rohacs@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0002-4629-4417

Dudás Dezső
Kutatás-fejlesztési Csoportvezető
HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt
dezszo.dudas@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0001-7482-4334

Dezső Dudás
Head of R&D Unit
HungaroControl Hungarian Air Navigation Services
dezszo.dudas@hungarocontrol.hu
orcid.org/0000-0001-7482-4334



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-14-0398_Dudas_D-Somosi_V-Rohacs_D.pdf

Timár Ágnes, Szabó Zoltán Attila, Weidinger Tamás

A KEVEREDÉSI RÉTEG MAGASSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA FELHŐALAP-MÉRŐK VISSZASZÓRÓDÁSI IDŐSORAIBÓL

A planetáris határréteg (PHR), más szóval a keveredési réteg magasságának ismerete – a szennyezőanyag terjedés és a levegőminőség vizsgálata mellett – a repülésmeteorológia számára is lényeges; gondoljunk csak a PHR felső határán gyakran megjelenő alacsonyszintű St, Sc felhőzet detektálására. A PHR vastagságának ismerete különösen fontos a repülőgépek fel- és a leszállás során, hiszen ez a termikus és mechanikus turbulencia „birodalma”. A PHR és a szabad légkör közötti aeroszolkoncentráció-különbségnek köszönhetően – megfelelő érzékenységgű felhőalap-mérővel – lehetőség van a PHR magasságának folyamatos detektálására, ami segíti a felhőzet ultrarövid-távú előrejelzését. A cikkben áttekintjük a keveredési rétegvastagság meghatározására szolgáló módszereket, majd a budapesti (12843) mérési eredményeket ismertetjük és hasonlítjuk össze rádiószondás adatokkal és a korábbi hazai szabványmódszerrel. Az eredmények igazolják az OMSZ állomásain működő Jenoptik CHM 15-k felhőalap-mérők alkalmazhatóságát a PHR kutatásában és a repülőtéri információszolgáltatásban.

Kulcsszavak: határréteg, keveredési rétegvastagság, konvekció, aeroszol, felhőalap-mérő

BEVEZETÉS

A planetáris határréteg (PHR) vagy más szóval a keveredési réteg fejlődésével, magasságának meghatározásával számos tanulmány foglalkozik. E témakör mind elméleti, mind mérés-technikai és gyakorlati szempontból kiemelt fontosságú. Gondoljunk csak a szennyezőanyag terjedés modellezésére, vagy a levegőminőség vizsgálatára! A nappali órákban – megfelelő feltételek, pl. elegendő nedvesség és labilitás esetén – gyakran megjelenik alacsonyszintű réteges illetve konvektív felhőzet (stratus (St), vagy stratocumulus (Sc)) a PHR tetején [1], ami a repülés-meteorológiában is fontos tényező [2][3][4].

A PHR-t vizsgálhatjuk i) numerikus modellek segítségével, ii) különböző műszeres mérések (rádiószonda, LIDAR, felhőalap-mérő, radiométer, windprofiler, stb.) adatai alapján, vagy iii) ezek együttes alkalmazásával.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) 2016 elején állították üzembe a Jenoptik CHM 15-k típusú felhőalap-mérőket. E műszerekkel közel kétszer akkora magasságig és jobb felbontásban lehet visszaszóródási profilokat készíteni, mint a korábbi Vaisala CL31-es típusal; s ez lehetővé teszi a PHR pontosabb nyomon követését. Az új műszerek 2016 februárjától a pestszentlőrinci (12843), júniustól már a szegedi (12982) állomáson is végeznek méréseket. 2016 júliusától mindkét helyszínen folyamatos üzem zajlik.

A felhőalap-mérők a LIDAR-hoz hasonló elven működnek. A PHR számítási módszerek között szerepelnek i) a visszaszóródási profil minimális gradiensének illetve ii) maximális szórásának a keresése, iii) a wavelet transzformáció, vagy iv) az idealizált profil illesztés. A klasszikus (matematikai) módszerek alkalmazása azonban jelentős akadályokba ütközik, ha az adatsor eltér az „ideálistól” (alacsony zajszint és erős jel a keveredési rétegben). Figyelembe kell venni

azt is, hogy a különböző PHR műszerek eltérő minőségű eredményeket adhatnak. Szükség van az elméleti módszerek „finomhangolása”.

A továbbiakban egy wavelet transzformációs módszeren alapuló detektáló algoritmust mutatunk be, melynek fő célja a konvektív határréteg magasságának meghatározása. Az algoritmus elsősorban a délelőtti emelkedő szakaszra koncentrálnak, mivel naplemente után – az esetek jelentős részében – inkább a határréteg „szétesése” jelenik meg az aeroszol profilban, mintsem a keveredési réteg magasságának határozott csökkenése.

A PHR MAGASSÁG MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI

A planetáris határréteg (PHR) a troposféra alsó 0,1–3 km-es tartománya, amelyet a felszín és a felszín által meghatározott termikus és mechanikus kényszerek közvetlenül befolyásolnak. A kényszerekre adott válasz órák időskálán mérhető [5]. Ez a mechanikus és termikus turbulencia szintere. A PHR magassága függ az évszaktól, a napszaktól és az éppen fennálló szinoptikus helyzettől, a domborzati viszonyoktól és a felszín érdességétől is [6][7][8].

A határréteg magasságának meghatározása kulcsfontosságú a PHR szerkezetének feltérképezéséhez. A határréteg (pontosabban a határréteg és a szabad légkör közötti átmeneti réteg) magassága közvetlenül nem mérhető, de becsülhető a különböző profilmérések, illetve modellek alapján. Ilyenek a rádiószondás mérések, a LIDAR és felhőalap-mérők által szolgáltatott adatok, a mikrohullámú radiométer (pl. a Szegeden használt Radiometrics MP-3000A típus), vagy a windprofiler mérések (pl. a szegedi LAP-3000 típusú). A továbbiakban a Jenoptik CHM 15-k típusú felhőalap-mérők idősorainak vizsgálatára szorítkozunk, emellett, a kapott eredmények alátámasztása érdekében vizsgáljuk a rádiószondás mérések adatsorait, valamint, egyszerűsége miatt, az 1980-as években bevezetett régi határréteg szabványt is [9].

A Haar wavelet transzformáció

A Haar wavelet a gradiens detektálás egyszerű, de igen hatékony eszköze. A Haar függvény alakját az 1-es egyenlet adja meg, illetve az 1. ábra illusztrálja.

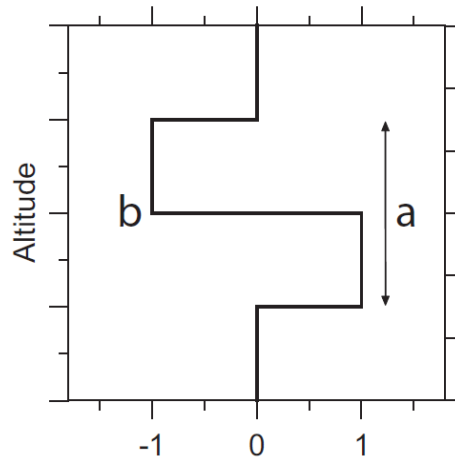
$$h\left(\frac{z-b}{a}\right) = \begin{cases} 1, & \text{ha } b - \frac{a}{2} \leq z < b \\ -1, & \text{ha } b \leq z < b + \frac{a}{2} \\ 0 & \text{különben} \end{cases} \quad (1)$$

ahol a a dilatáció (a wavelet szélessége), b a transláció (a wavelet középpontjának elhelyezkedése), z pedig, esetünkben, a visszaszóródási jelhez tartozó magasságot jelöli [10].

A detektálási módszer alapját a Haar wavelet és a magasság függvényében vett visszaszóródási profil konvolúciója $W_p(a, b)$ adja az alsó (z_b) és a felső (z_t) határoló magasságok között, az általunk vizsgált tartományban.

$$W_p(a, b) = a^{-1} \int_{z_b}^{z_t} P(z) \cdot h\left(\frac{z-b}{a}\right) dz \quad (2)$$

ahol ($P(z)$) a visszaszóródási jel erőssége (lásd a (8) egyenletet is).



1. ábra a Haar wavelet alakja [11]

Ha $W_p(a, b)$ pozitív értéket vesz föl, az a Haar függvény és a visszaszóródási profil pozitív korrelációját jelenti. Ez akkor jellemző, amikor a jelerősség jelentősen csökken a magassággal. Ennek megfelelően a negatív értékek a magassággal erősödő jelhez tartoznak (például a felhőalaphoz). Így a határréteg magasságát a $W_p(a, b)$ lokális maximum helyéhez társíthatjuk [6]. A módszer minőségét jelentősen befolyásolja a dilatáció (a) megválasztása. Túl nagy érték esetén, egy erőteljes záróréteg, vagy felhőzet jelenléte mellett, a konvektív határréteg detektálása meghiúsulhat. Túl kicsi dilatációs érték mellett a finom struktúrákhoz és a határréteghez tartozó lokális maximumok összemérhetőek lesznek. A megfelelő dilatáció megválasztásához vizsgálhatjuk az energia spektrumot ($[W_p(a, b)]^2$), illetve a globális wavelet spektrumot ($D^2(a)$ számítása minden lehetséges a dilatációs értékre) [12].

$$D^2(a) = \int_{z_b}^{z_t} [W_p(a, b)]^2 db \quad (3)$$

Rádiószondás adatok használata

A rádiószondás felszállások a PHR magasságának hidro-termodinamikai szempontból történő meghatározását teszik lehetővé. A határréteg-magasság számítása a hőmérséklet-, nedvesség- és szélprofilokból, direkt módon történik. Az egyik elterjedt módszer, a részecske módszer, azon az elven alapul, hogy a felszín közelében – ha elég intenzív a besugárzás – olyan rétegződés jön létre, amelyben a potenciális hőmérséklet csökken a magassággal, majd feljebb, a jól átkevert határrétegben közel állandó. A határréteg tetejéhez közeledve a turbulens átkeveredés csökken, így a magasság növekedésével a potenciális hőmérséklet értéke nőni kezd. (A stabilis légrétegződés sajátja a magassággal növekvő potenciális hőmérsékleti profil.) A módszer szerint a PHR tetejét az a szint jelöli ki, ahol a virtuális potenciális hőmérséklet először egyezik meg a felszínen (pontosabban a 2 m-es szinten) mért értékkel [13][14][15]. Nyugodt időjárási körülmények között – ha nincs jelentős hőmérsékleti advekción – az éjszakai szondafelszállásból kapott profil jól használható kiindulásként a nap folyamán. (Az optimális a 06 UTC mérés lenne.) A stabil határréteg felett a maradvány rétegben a hőmérséklet csak sugárzási hűléssel csökken az éjszaka, ami első közelítésként elhanyagolható.

A korábbi (MSZ 21457-1-79) magyar szabvány alkalmazása

Az 1980-as évek elején bevezetett szabvány [9] [16] csapadékmentes időben, ritkán beépített területekre alkalmazható, ha a vertikális hőmérsékleti gradiens a hajnali időszakban nem haladja meg az $1\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ -t (a száraz adiabatikus rétegződést) és nem vonul át hidegfront a vizsgált terület felett.

A módszer a napi maximális rétegvastagságot a napi maximumhőmérsékletből (T_{max}) és a hajnali rádiószondás felszállásból határozza meg. A határréteg maximális magassága ott lesz, ahol a T_{max} hőmérsékletű, száraz adiabatikusan emelkedő légréteg hőmérséklete metszi a szonda által mért hőmérsékleti profilt. A legkisebb (éjszakai) rétegvastagságot a következő módon kell meghatározni:

$$h_e = \left(\frac{2Ql}{U\rho c_p \alpha} \right) \quad (4)$$

ahol Q [Wm^{-2}] a vizsgált terület antropogén hőemissziója, l [m] a vizsgált terület sugara, U [ms^{-1}] a szélesség éjszakai középértéke, α [$K/100\text{ m}$] a száraz adiabatikus és a ritkán beépített terület függőleges hőmérsékleti gradiense közötti különbség. h_e minimális értéke 30 m (erősen alulbecsült alsó érték).

A keveredési réteg magassága (h_n) a következőképpen számítandó:

- 0 óra és napfelkelte között: $h_n = h_e$.
- Napkelte és napnyugta között:

$$h_n = \frac{T_n - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} (h_{max} - h_e) + h_e \quad (5)$$

ahol T_n a vizsgált óra hőmérséklete, T_{min} a napi minimumhőmérséklet, T_{max} a napi maximumhőmérséklet, h_{max} a maximális határréteg magasság, h_e a minimális határréteg magasság.

- napnyugta és 0 óra között:

$$h_n = h_{ny} + \left(k \frac{\Delta h}{\Delta t} \right) \quad (6)$$

ahol h_{ny} a keveredési réteg magassága a napnyugtát követő első órában, k a vizsgált óra és a napnyugta utáni első óra közötti különbség.

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{h_e^* - h_{ny}}{t_{24} - t_{ny}} \quad (7)$$

ahol h_e^* a rákövetkező nap éjszakai keveredési réteg magassága, t_{ny} a napnyugta időpontját követő első óra, t_{24} az éjféleli időpont.

A fenti egyenletek megadják a keveredési réteg magasságának napi menetét méterben.

Mivel nem állt rendelkezésre információ az antropogén hő kibocsátásról (s ez nem is releváns egy meteorológiai állomáson), mi az induló stabil határréteg magasságot a felhőalap-mérő adataiból vettük.

A 2000-es évek közepétől érvényes új magyar szabvány a felszíni energiamérleg komponensek meghatározásán alapul. Ehhez direkt áramméréseket, vagy a standard meteorológiai méréseken (szinoptikus meteorológiai állomások adatain) alapuló parametrizációs eljárást alkalmaz. A

konvektív PHR fejlődését a mechanikus és a termikus turbulencia intenzitását figyelembe vevő 1 dimenziós határréteg-modell alapján egy differenciálegyenlet megoldásával határozza meg [16][17][18]. (E számítási eljárás alkalmazása közeli jövő feladata lesz.)

A KONVEKTÍV HATÁRRÉTEG DETEKTÁLÁSA

A továbbiakban a Haar wavelet transzformáción alapuló algoritmust mutatjuk be. Célunk, hogy időben folytonosan detektáljuk a nap folyamán kiépülő konvektív határréteget. A módszer önmagában nem képes a folytonos detektálásra, hiszen a felhőalap-mérő, a konvektív határréteg mellett átmeneti réteget, lokálisan megugró aeroszol koncentrációt, csapadékot, ködöt, zajt és természetesen felhőzetet is detektálhat. Az egyes alkotók elkülönítése nem minden helyzetben egyszerű. A detektálás 3000 m alatt történik, hiszen ami éghajlati viszonyaink közt az esetek túlnyomó részében ez a tartomány megfelel a planetáris határréteg várható maximális magasságának.

Méréstechnikai információk

A Jenoptik CHM 15-k típusú felhőalap-mérő – ahogy már említettük – a LIDAR működési elvén alapszik, azaz egy lézer által kibocsátott elektromágneses impulzus légköri alkotókról (molekulák, aeroszol részecskék, felhőelemek) való visszaszóródását detektálja. Méri a visszaszóródott jel intenzitását, illetve visszaérkezésének idejét. A visszaszóródási jel ($P(z)$) az úgynevezett LIDAR-egyenlettel [19] számítható:

$$P(z) = \frac{C}{z^2} \beta(z) \exp(-2 \int_0^z \alpha(z') dz') \quad (8)$$

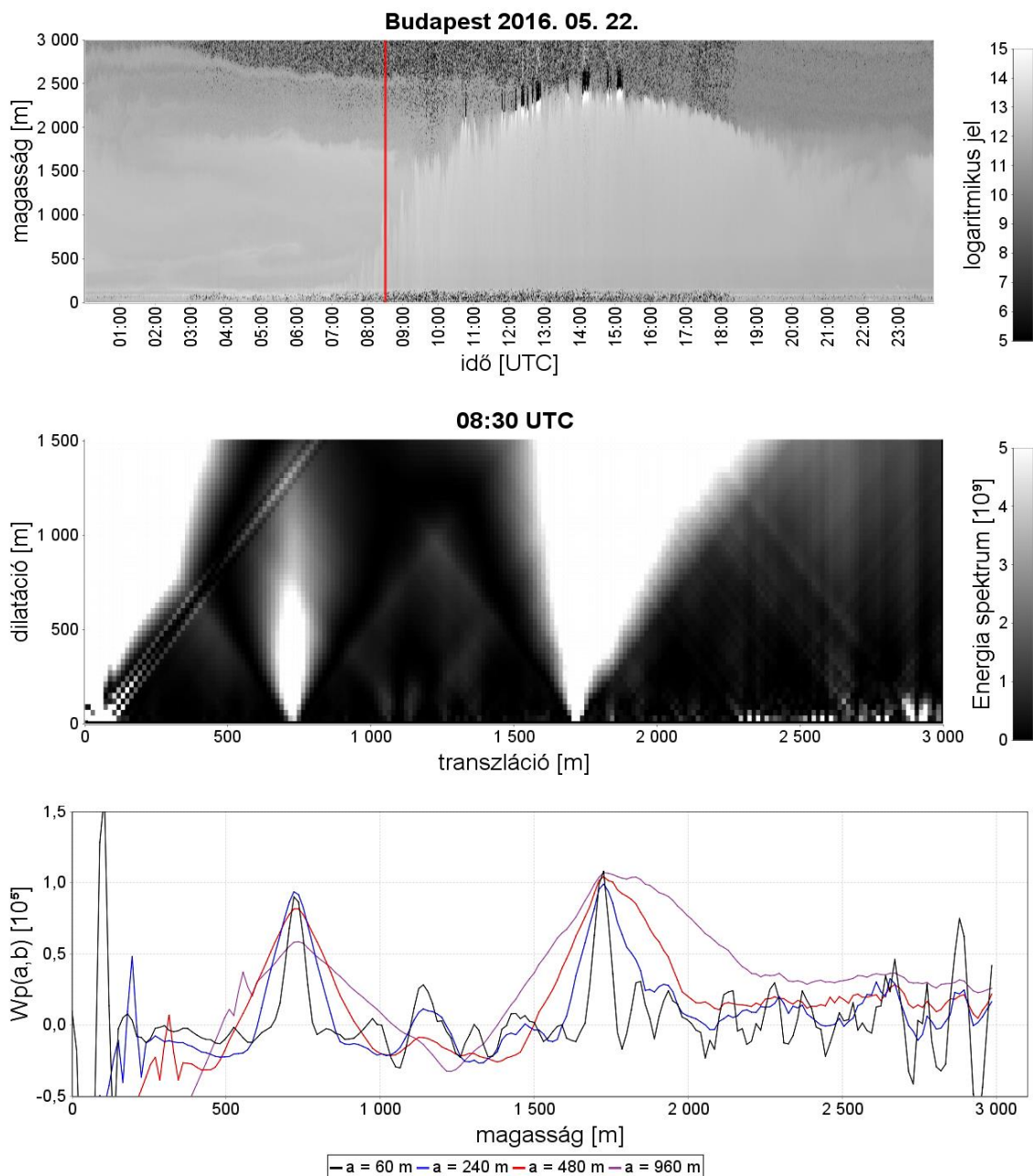
ahol z a detektálási magasság, $\beta(z)$ a visszaszóródási együttható, $\alpha(z)$ a kioltási együttható és C a ceilométer konstans (műszer-karakterisztika).

A műszer fotonszámlálásos módszerrel dolgozik, ennek köszönhető a nagy detektálási pontosság és érzékenység. Ez azt is jelenti, hogy ha éppen „nincs mit detektálni” (felhőmentes, alacsony aeroszol- és nedvességtartalmú rétegben) jelentősen felerősödhet pl. a háttérsugárzásból eredő zaj. A felhőalap-mérő 5–15 000 m-es magasságintervallumban végez méréseket. A mérések idő és térbeli felbontása állítható. Alap beállításként a műszer 15 m-es és 15 s-os felbontással dolgozik. A lézer 1–5 ns hosszúságú impulzusokat bocsát ki, 1064 nm-es hullámhosszon. A kimenő adatok NetCDF fájlformátumban kerülnek rögzítésre. Az ebben szereplő visszaszóródási adatsor normalizált (várható értéke 0, szórása 1), továbbá – a zaj csökkentésének érdekében – időbeli mozgóátlagolást is tartalmaz. A másodperces mérések 2016 augusztusáig 15 másodpercre átlagolva, 15 m-es vertikális felbontással, 2016 augusztusától egy percre átlagolva, 10 m-es vertikális felbontással kerültek tárolásra.

A műszerek Budapesten a 2016-os év elejétől, Szegeden az év közepétől végzik méréseket. Az első műszer Budapesten 2016. február közepétől mér. A második műszer ezzel párhuzamosan május közepétől került tesztelésre, júniustól ez végzi a folyamatos mérést. Később az első felhőalap-mérő átkerült Szegedre, ahol 2016. június közepétől végzik folyamatos detektálást. A továbbiakban a budapesti adatsorral foglalkozunk. Az 1. táblázatban látható a 2016. március-szeptemberi időszakból rendelkezésre álló napok száma. A keveredési réteg detektálására azok a napok alkalmasak, amikor nem volt markáns frontátvonulás és tartós csapadék.

Hónap:	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	Összes	Alkalmos
Napok száma:	31	20	27	30	31	27	30	194	165

1. táblázat A rendelkezésre álló és detektálásra alkalmas napok száma az egyes hónapokban Budapesten, 2016 márciusa és szeptembere között



2. ábra A dilatació megválasztásának hatása. Fent a 2016. 05. 22-i, budapesti visszaszóródási idősort (a piros vonal a vizsgált profilt jelzi), középen a 08:30 UTC-s profilhoz tartozó energiaspektrum (a dilatació két mérési magasságonkénti léptetésével), lent $W_p(a, b)$ menetei 60, 240, 480 és 960 m-es dilataciókra

A Haar wavelet transzformáción alapuló módszer

A Haar wavelet transzformációs módszer alkalmazhatóságában döntő jelentőséggel bír a megfelelő dilatació megválasztása. A 2. ábrán fent a május 22-ei nap visszaszóródási idősort, középen a 08:30 UTC-s profilra számított energia spektrum, lent a különböző dilataciók (a) esetén kapott $W_p(a, b)$ kovariancia függvény értékek láthatóak. Az energia spektrumon jól látszik az

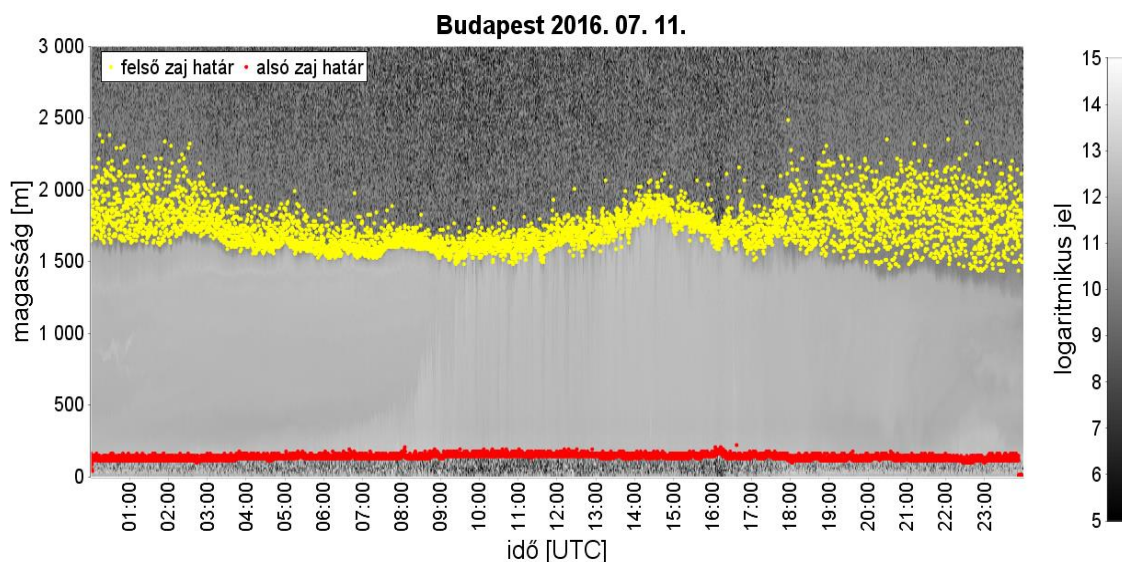
alsó zajhoz, a konvektív határréteghez, valamint az átmeneti réteghez tartozó energia maximum. Ez utóbbi az esetek többségében jóval erőteljesebb, mint az emelkedő konvektív határréteg, ez pedig megnehezíti a fejlődő PHR detektálását. A zaj kiemelkedő értéke jelzi, hogy zajszűrés szükséges. A 2. ábrán alul látható, hogy a dilatáció (a) növelésével jelentősen csökken a zaj dominanciája. A nagy dilatáció problémája, hogy nem csak a zaj, de sok esetben a korai szakaszban még gyenge jelintenzitású keveredési réteg is elveszhet.

Zajszűrés

A zajszűréshez a jel-zaj arány (SNR) a következőképpen definiálható:

$$SNR = \frac{P(z)}{\bar{P} + \sigma_P} \quad (9)$$

ahol $P(z)$ a visszaszóródási jel intenzitása adott magasságon, \bar{P} az átlagos jel a teljes vizsgált magasságtartományra, σ_P a jel szórása a vizsgált intervallumon. Adott kritikus SNR érték alatt zajról beszélünk [6]. Az adatsor vizsgálatát az alsó zaj szűréséhez alulról fölfelé, 260 m-ig, a felső zaj szűréséhez felülről lefelé, a legalacsonyabb felhőalapig, vagy az alsó zajhatárig végezzük.



3. ábra A zajszűrő algoritmus által kijelölt alsó és felső zajhatár

Alsó zaj esetén – mivel itt kifejezetten nagy, akár az adott profilon belüli maximális érték is megjelenhet – a kritikus érték $SNR = 1$ lesz. Ha az ezt meghaladó érték fölött van olyan jel, ami kisebb, mint az aktuális érték 70%-a, akkor a zajhatárt feljebb léptetjük erre a szintre. Ezután a kapott magasság értékek magasság szerint súlyozott, tízperces mozgóátlagait vesszük, s ahol az eredeti érték az átlagnál magasabb, ott megtartjuk az eredeti magasságot, mint alsó zajhatárt. A felső zaj szűrésénél jóval kisebb értékeket kell kiszűrni, ezért a kritikus érték $SNR = 0,1$ lesz. Az előbbihez hasonlóan, ha az SNR által kijelölt határ alatt van olyan érték, ami kisebb, mint az aktuális 30%-a, akkor ott lesz az új felső zaj határ. A zajszűrés eredménye a 3. ábrán látható. A két zajhatár között megjelenő zajos pontok szűrésére 3×3 -as medián filtert alkalmazunk [20].

A konvektív határréteg magasság detektálása

A Haar függvény transzformációt az alsó zajhatár és a 3000 m-es magassági szint között végezzük, a mediánszűrt jellel, 240 m-es dilatációval. Azért nem a felső határ alatt, mert a felső

zaj eltűnésével a kapott függvény „nagy” lokális maximumai sok esetben a keveredési rétegen belül jelennének meg, így könnyen eltéríthetnék a határréteget kijelölő algoritmust. Ahogyan korábban említettük a konvektív határréteg teteje $W_p(a, b)$ egy lokális maximumához fog tartozni. A lokális maximumok keresését két részre bontjuk:

- 00 UTC-től a napkelte és napnyugta közötti időszak első harmadáig a lokális maximumokat a felső zajhatár alatt keressük, így jobban kiemelkedik a keveredési réteg, sokszor kevésbé kontrasztos, emelkedő szakasza.
- a napkelte és napnyugta közötti időszak első harmadától már 3000 m-es magasságig végezzük a lokális maximum-keresést. Ekkor a keveredési réteg teteje a legtöbb esetben már elég markánsan kirajzolódik ahhoz, hogy a felső zajhoz tartozó maximumok ne jelentsenek problémát.

A lokális maximumok ismeretében már elindíthatjuk a detektáló algoritmust:

- a detektálás az alsó zajhatár tetejéről indul és keresi a legnagyobb lokális maximumot egy megengedett D távolságon belül, de még 300 m alatt.

A D értékkel kapcsolatban meg kell említenünk a határréteg tetején elhelyezkedő, úgynevezett beszívási zónát. Itt a nagy energiával rendelkező termikék a határréteg tetején túlfutva belépnek a szabad légkörbe, visszasüllyedve pedig annak szárazabb levegőjét hozzák magukkal (keverik le), tehát ebben a zónában megy végbe a konvektív réteg és a szabad légkör keveredése [6]. A zóna kiterjedése általában a konvektív határréteg 20%-a, de bizonyos esetekben elérheti a 90–95%-os kiterjedést is [21]. A detektáló algoritmusnak kezelnie kell ezt a fluktuációt. A vizsgált adatsorokon végzett tesztek alapján, a konvektív határréteg magasságának (amely, esetünkben az előző 10 percben detektált keveredési réteg magasságok átlaga lesz) harmada, mint megengedett fluktuáció, bizonyult célravezetőnek a határréteg detektálás során. Így az egyes időpontok közötti megengedett magasságkülönbség (D) a következőképpen számolható (az előző 10 perc kijelölt értékei közötti átlagos különbség) + (az előző 10 perc kijelölt értékeinek átlagos magassága/3):

- napkelte után 300 m fölé engedjük a keresést. Az algoritmus a legnagyobb olyan lokális maximumot választja ki, amelyik i) a megengedett távolságon belül van, ii) nem felhőalaphoz tartozik és iii) magasabban van, mint az előző 10 perc átlagos magasságának 60%-a;
- ha az algoritmus nem talál a kritériumoknak megfelelő lokális maximumot, vagy azt a felső zajhatár felett találja meg, akkor az aktuális magasság az előző 10 perc átlagos magassága lesz;
- előfordulhat, hogy az emelkedés annyira intenzív, hogy az egymást követő két időpontbeli határréteg magasság egymástól távolabb van a megengedett D értéknél, így emelkedés helyett a kijelölt értékek visszazuhannak a zajhatárig;
- ennek kiküszöbölésére, amikor az algoritmus eléri a 10 UTC-s időpontot, ellenőrzést végez. Ha a 10 perces átlag magasság nem haladja meg a napkelte előtti átlagos érték másfélszeresét, az algoritmus visszaugrik a napkelte utáni második órához és a korábbi feltételek szerint indul újra a számítás. Amikor elér egy olyan ponthoz, ahol nem talál az előző időpontbeli magasságértékhez elég közeli lokális maximumot, akkor az előző 1 órában detektált maximális magassághoz viszonyítva végzi el a keresést. Az algoritmus 12 UTC után visszatér a korábbi módszerre.

A fenti lépéseket minden, a műszer által jelentett időpontra (2016 augusztusáig minden 15 másodpercre, augusztustól minden percre) elvégezzük. A simítás érdekében az így kapott határréteg magasságok ötperces mozgóátlagai kerülnek megjelenítésre.

ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLAT ÉS AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az algoritmus, a vizsgált időszakban, a detektálásra alkalmas napok (1. táblázat) 60%-ában volt sikeres, azaz sikeresen kijelölte a konvektív határréteg magasságának változását a napnyugta időpontjáig. A határréteg leépülése az aeroszol koncentráció változásában sokszor nem egyértelmű módon, inkább széteső jelleggel jelenik meg, ezért nyomon követésére sok esetben nincs lehetőség. A sikertelen detektálások jellemző okai:

- az emelkedő keveredési réteghez tartozó lokális maximum jóval gyengébb, mint az átmeneti, vagy a záró réteghez tartozó érték, így amikor az emelkedő réteg megközelíti a magasban lévő, előfordul, hogy az algoritmus „felugrik”;
- az emelkedő szakasz nem jelenik meg az alsó 300–500 m-en, így az alsó zajhatárról induló réteg nem tudja megkezdeni az emelkedést;
- nem teljesül az a feltétel, hogy a keveredési rétegben magasabb az aeroszol koncentráció (így nagyobb a visszaszóródási jel), majd fölötté hirtelen visszaesik, pl.: ha jelentős mennyiségű szaharai por kerül a légkörbe.

A kapott eredményeket összevetettük a korábban bemutatott két módszer, a részecske módszer és a régi PHR szabvány [16] eredményeivel. A számszerű összehasonlítást a nyári hónapokra (június, július, augusztus) végeztük el. Azokat a napokat vizsgáltuk, amelyeken teljesültek a két módszer alkalmazhatóságára korábban tett kritériumok (27 eset). Az összehasonlítást 12 és 16 UTC között végezzük.

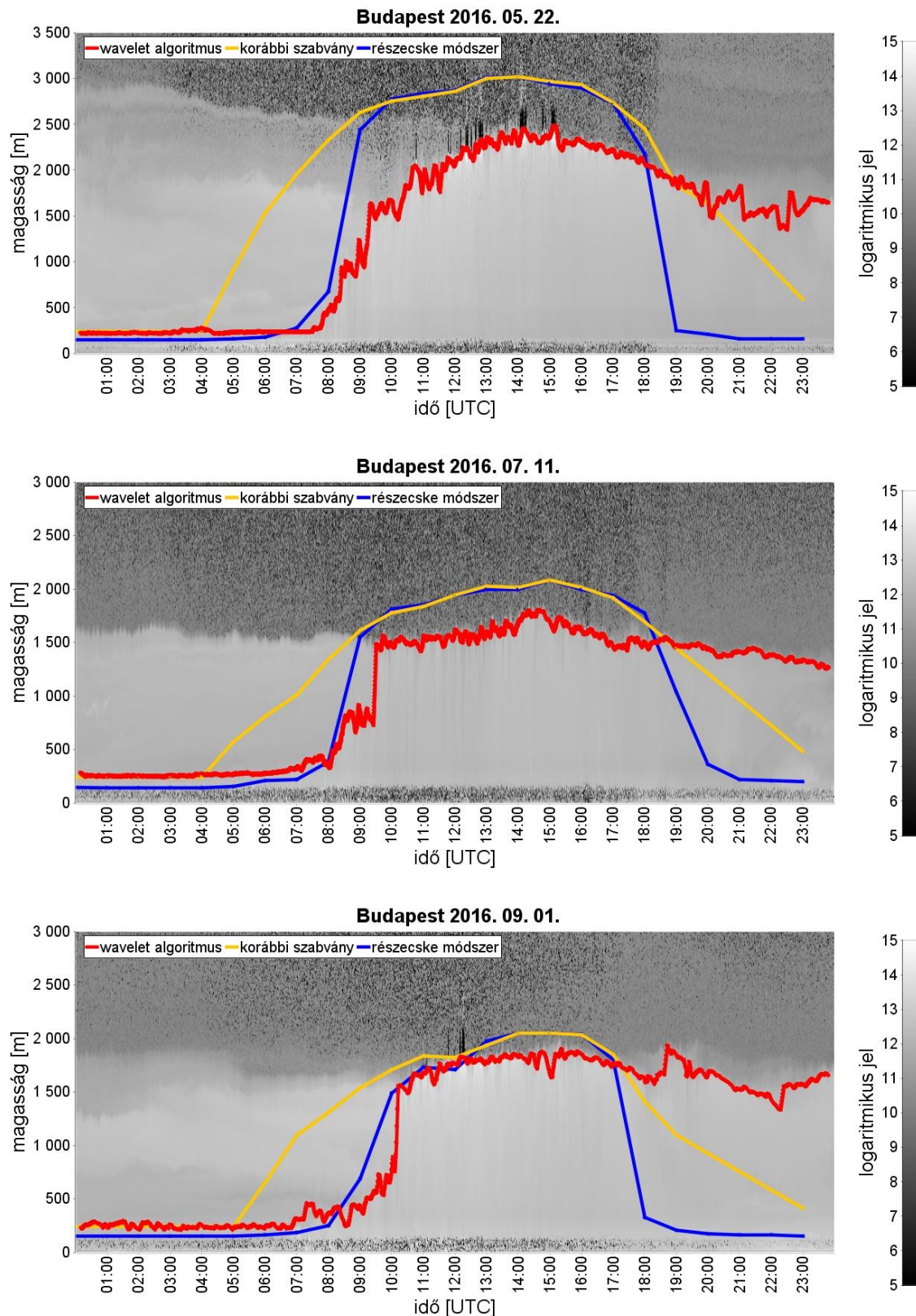
A detektált magasság és a két módszer közti eltéréseket háromféle módon vizsgáltuk. Az adott órára megnéztük az előjeles eltérések átlagát (D_e), az abszolút eltérések átlagát (D_a) és az átlagos négyzetes hibát ($RMSE$).

$$D_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_m - H_d) \quad (10)$$

$$D_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_m - H_d| \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_m - H_d)^2} \quad (12)$$

ahol H_m az adott módszer (részecske, vagy régi szabvány) által számolt határréteg magasság, H_d a felhőalap-mérővel detektált magasságérték, N a vizsgált napok száma. Az eredmények a 2. és 3. táblázatban láthatók.



4. ábra Az algoritmus által detektált keveredési réteg ötperces mozgóátlagolással, a korábbi magyar határreteg szabványból [12] és a részecske módszerrel számolt keveredési réteg magasságok

Óra [UTC]	Átlag [m]			Szórás [m]		
	Részecske	Szabvány	Algoritmus	Részecske	Szabvány	Algoritmus
12	1981	2024	1721	427	340	377
13	2064	2081	1803	369	346	367
14	2154	2151	1922	399	379	365
15	2064	2104	1959	383	362	346
16	2015	2050	1933	534	399	331

2. táblázat A detektált, a régi magyar határreteg szabványból [12] számolt és a részecske módszerrel kapott átlagos keveredési réteg magasságok valamint a magasságok szórása az egyes órákban, a 12 és 16 UTC közötti időszakban, június, július és augusztus hónapokra

A felhőalap-mérő alapján meghatározott magasságértékekhez az emelkedő szakaszon a részecske módszer eredményei állnak közelebb (a korábbi szabvány általában jelentősen felülbecsli az emelkedő szakaszt). A maximális határreteg vastagság tekintetében a két módszer hasonlóan viselkedett, általában felülbecsülve a felhőalap-mérő által detektált magasságot. A magas nappali eltérések egy része az éjféli rádiószondás észlelés, mint kiindulási profil alkalmazásából származik (sugárzási hűlés elhanyagolása).

Óra [UTC]	Előjeles eltérés [m]		Abszolút eltérés [m]		RMSE [m]	
	Részecske	Szabvány	Részecske	Szabvány	Részecske	Szabvány
12	261	304	435	381	492	454
13	261	278	384	366	468	455
14	232	228	371	364	440	434
15	106	146	323	308	392	376
16	82	118	412	340	578	409

3. táblázat A detektált keveredési réteg magasság egyes módszerektől vett átlagos előjeles eltérései (az adott módszerrel kapott magasságból kivonva a detektált értéket), átlagos abszolút eltérései, valamint az RMSE (az átlagos négyzetes hibák négyzetgyökei) értékek a 12 és 16 UTC közötti időszakban, június, július, augusztus hónapokra

4. ábrán, példaként, három olyan nap látható, ahol a konvektív határreteg zavartalan emelkedéséhez, így szabályos napi menetéhez kedvező időjárási feltételek uralkodtak. Mindhárom napon anticiklon alakította időjárásunkat. Május 22-én és július 11-én már ciklon előoldalhoz tartozó gyenge melegadvekción is jelen van. Bár a hőmérsékleti advekción mértéke 850 hPa-on 00 és 12 UTC között nem haladta meg az 1 °C-ot, mégis elegendő volt ahhoz, hogy a 00 UTC-s profiltól számoló módszerek jelentősen felülbecsüljék a keveredési réteg magasságát. Szeptember 1-jén, 00 és 12 UTC között, elhanyagolható volt a hőmérsékleti advekción mértéke, így ezen a napon, a maximális határreteg magasságot mindkét módszer pontosabban közelítette.

KITEKINTÉS

Módszert dolgoztunk ki a keveredési rétegvastagság napi menetének nyomon követésére, az OMSZ mérőrendszerében alkalmazott korszerű Jenoptik CHM 15-k típusú felhőalap-mérő adataira támaszkodva, a Haar wavelet transzformáció alkalmazásával. A 2016. április-szeptemberi budapesti (12843) mérések feldolgozásából kitűnik, hogy a műszer az esetek több mint 85%-ában volt alkalmas a határreteg folytonos detektálására, míg e napok hozzávetőlegesen 60%-ában volt sikeres a konvektív határreteg fejlődésének nyomon követése. A felszíni meteorológiai és az éjféli rádiószondás méréseken alapuló egyszerű becslési technikák (részecske módszer, korábbi hazai szabványmódszer [9]) fölé becsülik a koradélutáni maximális keveredési

rétegvastagságot, amit figyelembe kell venni levegőkörnyezeti és repülésmeteorológiai becsléseknél. Nem használhatók viszont a délelőtti konvektív határréteg fejlődésnek leírására. Sokkal erősebb kezdeti növekedést (harang görbeszerű változást) adnak, mint a mérések.

A kapott eredmények alapján szükség van a keveredési réteget detektáló – Haar wavelet transzformáción alapuló – algoritmus további fejlesztésére is (zajszűrés, a wavelet paraméterek időjárási helyzetek szerinti optimalizálása, stb.). A távlati célok között szerepel a keveredési réteg magasság, felhőalap-mérő adatsoron alapuló, ultrarövid-távú előrejelzése, így fontos kutatási cél a délelőtti emelkedő konvektív szakasz pontosabb detektálása. A PHR tetején megjelenő felhőzet (St, Sc) előrejelzéséhez a várható maximális határréteg magasság a legfontosabb. E területen is tervezünk további módszerfejlesztést.

Vizsgálataink alapján, az egyszerűen használható módszerek nem bizonyulnak elég megbízhatónak (különösen a reggeli és a délelőtti órákban), ugyanakkor nagy a valószínűsége, hogy a valós határréteg magasság nem fogja meghaladni az így becsült értékeket, tehát a számítási módszerek (részecske, régi hazai szabvány [9]) felső korlátot adnak a további keveredési rétegvastagság vizsgálatokhoz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Garratt, J.R., 1994: Review: the atmospheric boundary layer. *Earth-Science Reviews*, 37 89–134.
- [2] Jacobs, A.J.M. and Maat, N., 2005: Numerical Guidance Methods for Decision Support in Aviation Meteorological Forecasting. *Weather and Forecasting*, 20, 82–100.
- [3] Sándor V. és Wantuch F., 2005: Repülésmeteorológia. Könyv, Kiadja az Országos Meteorológiai Szolgálat, 272 p.
- [4] Hadobács, K., Tuba Z., Wantuch F., Bottyán Zs. és Vidnyánszky Z., 2013: A pilóta nélküli léggépjárművek meteorológiai támogató rendszerének kialakítása és alkalmazhatóságának bemutatása esettanulmányokon keresztül. *Repüléstudományi Közlemények XXV. évf. 2. szám*, 405–421.
- [5] Stull, R.B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, 666 p.
- [6] de Haij, M., Wauben, W. and Baltink, H.K., 2007: Continuous mixing layer height determination using the LD-40 ceilometer: a feasibility study. *Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt*, 102 p.
- [7] Matyasovszky I. and Weidinger T., 1998: Characterizing air pollution potential over Budapest using macro-circulation types. *Időjárás*, 102(4), 219–238.
- [8] Mona T, Ács F. és Horváth Á., 2016: Jellegzetes planetáris határréteg-magasság napi menetek a Kárpát-medence nyári időszakában. *Meteorológiai Tudományos Napok, Előadások összefoglalói*.
- [9] Fekete K., Popovics M., Szepesi D., 1983: Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása. *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest*, 168 p.
- [10] Davis, K.J., Gamage, N., Hagelberg, C.R., Kiemle, C., Lenschow, D.H. and Sullivan, P.P., 2000: An objective method for deriving atmospheric structures from airborne lidar observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17, 1455–1468.
- [11] Baars, H., 2007: Continuous monitoring of the planetary boundary-layer depth with lidar. MSc Thesis (Supervisors: Heintzenberg, J., Tetzlaff, G.), University of Leipzig, Faculty of Physics and Earth Sciences, Leipzig, 77 p.
- [12] Gamage, N. and Hagelberg, C., 1993: Detection and analysis of microfronts and associated coherent events using localized transforms. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50, 750–756.
- [13] Granados-Muñoz, M.J., Navas-Guzmán, F., Bravo-Aranda, J.A., Guerrero-Rascado, J.L., Lyamani, H., Fernández-Gálvez, J. and Alados-Arboledas, L., 2012: Automatic determination of the planetary boundary layer height using lidar: One-year analysis over southeastern Spain. *Journal of Geophysical Research*, 117, D18208.
- [14] Csáki, A., 2013: Az AROME modell által előrejelzett planetáris határréteg magasság összevetése rádiószondás mérésekkel. Diplomamunka, (témavezető: Szintai B., konzulens: Weidinger T.), Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 56 p.
- [15] Munkácsi Zs., Muntag A., Pávó Gy., Weidinger T., Szarvas G., 2010: A légiközlekedési zaj tulajdonságai és terjedésének vizsgálata Budapest-Ferihegy nemzetközi repülőtér környezetében. *Repüléstudományi Közlemények (2), VII/2. 24 p.*

- [16] Kovács, R., 2002: A keveredési rétegvastagság számítása az új magyar transzmissziós szabványban. Diplomamunka, (témavezetők: Baranka Gy. és Weidinger T.), Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 72 p.
- [17] Weidinger, T., Baranka, Gy. and Bordás, Á., 2008: Comparison study in mixing height determination for dispersion models. *Időjárás* 112(2), 113–123.
- [18] Bordás, Á., Weidinger T., Gyöngyösi A.Z., Bottyán Z. és Istenes Z., 2013: A planetáris határréteg szerkezetének vizsgálata 1D modell segítségével. *Repüléstudományi Közlemények (1997-től)* 25(2), 556–569.
- [19] Kovalev, V.A. and Eichinger, W.E., 2004: *Elastic Lidar: Theory, Practice, and Analysis Methods*. John Wiley & Sons, 615 p.
- [20] Szeliski, R., 2010: *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media, 957 p.
- [21] Deardorff, J.W., Willis G.E. and Stockton, B.H., 1980: Laboratory studies of the entrainment zone of a convectively mixed layer. *Journal of Fluid Mechanics*, 100, 41–64.

MIXING LAYER HEIGHT DETERMINATION BASED ON CELIOMETER BACKSCATTER DATA

Knowing the height of the planetary boundary layer (PBL), also known as the mixing layer, is an important factor for the aviation meteorology as well (beside pollutant dispersion modeling or air quality monitoring) since it determines the height of the low-level cloud base related to the boundary layer. Due to the aerosol concentration difference between the planetary boundary layer and the free troposphere, it is possible to continuously detect the height of the mixing layer (with a sufficiently sensitive ceilometer), which can help in achieving better clouds nowcasting. Information regarding the thickness of the PBL is particularly important for aircraft takeoff and landing. We shall review the methods used for determining the thickness of the mixing layer. Then we shall provide the data measured at Budapest (12843) and compare them to the radiosonde detections and the formerly nationally used standard method. The results support the suitability of the Jenoptik CHM 15 ceilometers (used at the OMSZ stations) for PBL research and airport information providing services.

Keywords: planetary boundary layer, mixing layer height, convection, aerosol, ceilometer

Timár Ágnes
MSc hallgató
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék
timar.a@met.hu
orcid.org/0000-0003-0613-4977

Timár Ágnes
MSc student
Eötvös Loránd University
Department of Meteorology
timar.a@met.hu
orcid.org/0000-0003-0613-4977

Szabó Zoltán Attila
okl. meteorológus
szabo.z.attila@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1113-2116

Szabó Zoltán Attila
Meteorologist, MSc
szabo.z.attila@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1113-2116

Dr. Weidinger Tamás, PhD
egyetemi docens
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék
weidi@caesar.elte.hu
orcid.org/0000-0001-7500-6579

Dr. Weidinger Tamás, PhD
Associate Professor
Eötvös Loránd University
Department of Meteorology
weidi@caesar.elte.hu
orcid.org/0000-0001-7500-6579

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak az OMSZ-nak a Jenoptik CHM 15-k típusú felhőalap-mérő adatainak rendelkezésre bocsátásáért és az adatfeldolgozásban nyújtott segítségért. A kutatás az OTKA NK101356 és a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 program támogatásával folyt.

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

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



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-15-0387_Timar_A-Szabo_Z_A-Weidinger_T.pdf

Wantuch Ferenc, Szaniszló Zsolt, Bujdosó Bence

A KATONAI EJTŐERNYŐZÉS METEOROLÓGIAI TÁMOGATÁSA

A katonai ejtőernyőzés nagymértékben függ a meteorológiai körülményektől. Az időjárást jellemző paraméterek közül legjobban a szélesebség, a felhőzet alapja és a látástávolság befolyásolja. Az ejtőernyős ugráskor az egyik legfontosabb tényező, hogy az ejtőernyőst a szél iránya és sebessége milyen mértékben sodorja el, hol lesz a földetérés pontos helye. Ennek az előrejelzése jelenleg nem megoldott. Munkánk során egy olyan módszert dolgoztunk ki, amellyel előre jelezhető az elsodródás. Egy általunk fejlesztett program segítségével meghatároztuk az elsodródás nagyságát és irányát. Ezáltal lehetőség nyílik az ejtőernyősök számára minimális hibával a földetérés helyének meghatározása.

Kulcsszavak: katonai ejtőernyőzés, elsodródás, előrejelzés, időjárási feltételek

BEVEZETÉS

Publikációnkat abból a célból írtuk, hogy megmutassuk: már a katonai ejtőernyős tevékenység tervezése során is van lehetőség annak előzetes meteorológiai támogatására, biztosítására. Ez alatt azt értjük: képesek vagyunk a Magyar Honvédség ejtőernyőseinek tevékenységét egy olyan programmal segíteni, amellyel pontosan előre lehet jelezni, hogy a tervezett ejtőernyős dobási területen és időszakban az időjárási helyzet alkalmas lesz-e az ejtőernyős tevékenység biztonságos végrehajtására.

Erre a feladatra egy olyan módszert dolgoztunk ki, amely eddig ezen a területen, ilyen formában még nem volt megoldott: egy ún. C program megírásával. A módszert több esetben teszteltük, majd végeztünk egy komplex, részletes esettanulmányt is, a Magyar Honvédség egyik személyi ejtőernyős dobási feladatának végrehajtásával kapcsolatosan, amelynek eredményét jelen publikációban közöljük. Az eredményből megállapítható, hogy az általunk kitalált módszer jól működik, és ez alapján megfelelően használható az ejtőernyős tevékenység előzetes meteorológiai biztosítása során.

A KATONAI EJTŐERNYŐS TEVÉKENYSÉG JELLEMZŐI

A Magyar Honvédség ejtőernyős tevékenységének végrehajtását szabályozó előírások a polgári (sport) ejtőernyős tevékenységet meghatározó szabályoknál jóval szigorúbbak: ez a két tevékenység eltérő célkitűzéseivel magyarázható. Ez a kijelentés még abban az esetben is igaz, ha mind a katonai, mind a polgári (sport) ejtőernyős tevékenység végrehajtására ugyanazt az ejtőernyőtípust, esetenként az ejtőernyős dobásra még ugyanazt a típusú repülőeszközt is alkalmazták mind a katonai ejtőernyősök, mind a polgári (sport) ejtőernyős kollégák.

A kétféle tevékenység között az a mérvadó különbség, hogy – bár mindkettő alapfeltétele a biztonságos, sérülésmentes földetérés, – amíg a sport ejtőernyős azonnali ismételt ugrásra készít(het)i elő ejtőernyőjét, addig a katonai ejtőernyős tevékenysége korántsem öncélú: előre megtervezett harc feladatát csak ezt követően kezdheti meg, így esetében az ejtőernyős tevékenység kvázi „csak egy adott kijuttatási mód”-ként is aposztrofálható.

Az ejtőernyő, mint közlekedési eszköz értelmezése

Hazánkban az ejtőernyő meghatározott jogszabályi kategóriába sorolásának módosítása, az elmúlt két és fél évtized alatt több esetben is felmerült az alkalmazó szempontjából.

Kezdetben az ejtőernyő a légijárművek csoportjába tartozott, és ennek megfelelően definiálták, az alábbiak szerint:

„Az ejtőernyő olyan légijármű, amely működésekor (működésbe lépésekor) összezsugorított (hajtogatott) állapotból olyan felületű és alakú lesz, amely biztosítja a használója szükséges mértékben csökkentett földetérési sebességét.” [1]

Ezt a definíciót a magasszintű követelményeknek is megfelelni képes ejtőernyő-technológiával szembeni elvárások tették szükségessé, amely a gyártási körülmények felügyelete mellett az ejtőernyő, mint légijármű, a felügyeleti (légügyi) hatóság által jóváhagyottan engedélyezett alkalmazási körülmények közötti biztonságos felhasználhatóságot célozta meg. Később, alapvetően a polgári (sport) ejtőernyőzés területén ez a tevékenység éppen a bonyolult, kevés szabadságfokkal bíró követelmény-lista okán vált kezelhetetlenné.

Ez kényszerítette ki a Magyar Köztársaság légterében végrehajtható repülő tevékenység engedélyezésére vonatkozó jogszabály felülvizsgálatát, amely a következő eredményre¹ vezetett:

„(3) Az Lt. 71. § 39. pontja helyébe a következő rendelkezés lép:

(A törvény alkalmazásában)

„39. repülőeszköz: siklórepülő eszköznek, ejtőernyőnek és a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet II. Melléklet e) pontjában meghatározott egyszemélyes vagy 300 kg legnagyobb felszálló tömeget el nem érő repülőgépnél minősülő légijármű;” [2]

Ennek megfelelően a továbbiakban az alábbiak szerint definiálták az ejtőernyő fogalmát:

„2 § 5. ejtőernyő: olyan repülőeszköz, amelynek kormányzása aerodinamikai módon történik, a szárny vagy a kupola alakját az áramlás biztosítja, alkalmas szabadesésben történő nyitásra és rendeltetészerű használata során a vezetője a szárnyon vagy a kupolán több felfüggesztési ponthoz csatlakozik.” [3]

Noha a légiközlekedésről szóló törvény alapesetben jelentősen befolyásol(hat)ná a katonai ejtőernyős tevékenységre vonatkozó jogi szabályozókban foglaltakat, a Magyar Honvédség – alapvetően repülésbiztonsági megfontolásból – a továbbiakban is légijárműként kezeli azt az ejtőernyőt, amelyet használója „előre megfontolt szándékkal”, vagyis az ejtőernyős ugrás végrehajtásának céljából visel magán a repülőeszköz fedélzetére történő lépése pillanatában.

Természetesen lehetne folytatni a fentieket ..., de érdemes elgondolkodni a következő gondolaton! Kezeljük bármilyen kategóriában, bármilyen definícióval meghatározva az ejtőernyőt, a lényeg nem változhat: az adott típussal csak olyan módon, és csak olyan körülmények között szabad ejtőernyős ugrást végrehajtani, amely használója számára biztonságos földetérést garantál, amennyiben az adott személy a teljes, komplex légi tevékenységét – a gépelhagyástól a földetérésig – a vonatkozó előírások szerint hajtja végre.

¹ 2016. évi CXXXVI. törvény a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény módosításáról.

A meteorológia általános befolyása az ejtőernyős tevékenységre

Az ejtőernyős tevékenység során – legyen az katonai vagy polgári (sport) tevékenység – a legtöbb sérülés földetéréskor, vagy közvetlenül azt megelőzően érheti az ejtőernyős ugrót. Ezek általában szoros kapcsolatban vannak a nem tervezett földetérési helyen „végrehajtott” ejtőernyős „talajfogás”-sal.

Éppen ezért (is) fontos, hogy az adott, tervezett földetérési területen már jó előre, viszonylag pontosan meg tudjuk határozni a szél jellemzőit, hiszen enélkül könnyen következhet be az azon kívüli landolás, amely esetlegesen akadályra – pl. villanyvezeték, forgalmas vasút vagy műút, telepített szőlőskert stb. –, illetve nem tervezett vízbe érkezéssel párosulhat. A szél erőssége földetérés pillanatában, illetve közvetlen utána sem elhanyagolható tényező: 5 m/s-os érték fölött könnyen előfordulhat az ún. „kutyázás”² jelensége is ...

A szélhez, vagyis a különböző nyomású légtömegek troposzférában bekövetkező elmozdulásához kapcsolódik a másik „alattomos” jelenség: a turbulencia. Ez elsősorban a talajközeli légretgben számottevő, ugyanis a fák, dombok, épületek környezetében a szél iránya hirtelen jelentősen megváltozhat, és ugyanez jellemző lehet a szél erősségére is. A turbulencia következtében az ejtőernyő kupoláján belül olyan nyomásváltozás is képes kialakulni, melynek hatására az ejtőernyő instabillá, ebből kifolyólag pedig igen nehezen irányíthatóvá válik. Erősségét a szél sebessége, a levegő sűrűsége, valamint a szél útjában elhelyezkedő akadályok mérete és formája is befolyásolja. Ha a szélesebesség 6–8 m/s-os értékre nő, a turbulencia hatása olyan komoly is lehet, amely konvencionális kialakítású ejtőernyők esetében akár a kupola összeomlását is előidézheti. Ha a szél sebessége meghaladja a 9 m/s-os értéket, akkor bármilyen kiemelkedő tereptárgy hátszeles oldalán képes erős turbulencia kialakulni.

Magától értetődő, hogy zivatarban tilos az ejtőernyős tevékenység folytatása. Ez a kijelentés azon gyakorlati tapasztalaton alapul, miszerint a zivatarfelhő (Cumulonimbus) belsejében a rossz látási viszonyok és lélegektromos-jelenségek mellett igen erős légmozgások, turbulens áramlatok fordulhatnak elő, komoly veszélyt jelentve a beléje került ejtőernyősre, nem véletlen, hogy a zivatarfelhőket a repülőknak is messziről kerülni kell!

Ejtőernyősök szempontjából nem hanyagolhatóak el az ún. termikék sem, amelyeknek alapvetően két fajtáját különböztetjük meg: az ún. kémény-, illetve az ún. buborék-termiket. Létrejöttükben nagy szerepet játszik a földfelszín különböző minősége, amely –, mivel a talaj színe, nedvessége, növényzete már kis területeken belül is igen eltérő lehet, és így különbözik a felszín sugárzása, hőháztartása és felmelegedése –, igencsak befolyásolhatja az ejtőernyővel történő földetérés helyét.

Az ejtőernyő alkalmazási területei katonai tevékenység szempontjából

Katonai területen az ejtőernyőket leggyakrabban az alábbi két feladatkörben alkalmazzák:

1. ejtőernyős személyi- és teherdeszant feladatok technikai biztosítására – személyi légi-deszant- és teherdeszant ejtőernyő-típusok (rendszerek) alkalmazásával;

² Ejtőernyős zsargonban így nevezik azt, amikor földetérését követően a légideszantos katona kutya galoppozására emlékeztető ugrabugráló mozdulatokkal próbálja utolérni a talajszél hatására belobbant, őt a földön vonszoló ejtőernyőjének kupoláját, bajtársai általános derültsége közepette.

2. légijárművek repülő-hajózó szak személyzete mentési feladatainak technikai biztosítására – személyi légijármű mentőejtőernyő-típusok (rendszerek) alkalmazásával.

A fenti feladatköröket vizsgálva egyértelműen adódik a különbség.

Az első alkalmazási területet egy – komolyabb harcászati, esetlegesen hadműveleti cél elérése érdekében megtervezett és előkészített – ejtőernyős deszant akció testesít(het) meg, ahol a meteorológiai adatok tudatos felhasználására való törekvés nemcsak opcionális, de szükséges is(!) már a tervezés során, amely a siker előfeltételét jelent(het)i.

A második alkalmazási terület „csak” az ún. „bonyolult helyzetbe került” légijármű szak személyzete számára kell, hogy lehetőséget adjon a túlélésre, amennyiben az ejtőernyős vészelhagyást az adott körülmények függvényében és az adott légijármű-típusra vonatkozó előírások szerint időben hajtják végre. Ebben az esetben az ejtőernyő alkalmazásának meteorológiai körülményei már nem relevánsak: a cél a személyzet saját életének megmentése, amely nem tűrhet halasztást! Így nincs lehetőség mérlegelni, hogy az ejtőernyős vészelhagyás utolsó fázisát jelentő ejtőernyős földetérés biztonságos végrehajtását milyen szinten befolyásolja a föld felszínén fújó szél nagysága és iránya.

Mivel a fenti két feladatkör közül kizárólagosan a légideszant-akció lehet és kell is, hogy előre tervezett legyen, így a tanulmány célkitűzése okán, a továbbiakban csak ezt vizsgáljuk, de már speciálisan a Magyar Honvédség vonatkozásában.

A MAGYAR HONVÉDSÉG EJTŐERNYŐS DESZANT FELADATAINAK SAJÁTOSÁGAI

A Magyar Honvédség ejtőernyő-technikai eszközei, valamint az ejtőernyős dobást biztosító repülőeszközeinek lehetőségei révén az általa végrehajtható ejtőernyős deszant-feladatok a következők lehetnek:

1. személyi ejtőernyős deszant feladat kis magasságból³, egységkötelékben (század, zászlóalj), bekötött nyitási rendszerrel, konvencionális (hagyományos felépítésű), irányítható vagy nem irányítható személyi légideszant ejtőernyő-típussal;
2. személyi ejtőernyős deszant feladat közepes⁴ vagy nagy magasságból⁵, kis létszámú alegység kötelékben/műveleti csoportban, bekötött vagy kézi nyitási rendszerrel azonali⁶, illetve kézi nyitási rendszerrel késleltetett nyitású⁷ légcéllás személyi légideszant ejtőernyő-típussal;
3. teher ejtőernyős deszant feladat végrehajtása közepes magasságból, bekötött, illetve kényszerkioldásos nyitási rendszerrel, konvencionális (hagyományos felépítésű), nem irányítható teherdeszant ejtőernyő-típussal.

³ Kis magasságú ugrás: a kiugrás terep domborzat feletti magassága 400 m/1300 láb (AGL)-nál nem magasabb. Az AGL (ang. „Above Ground Level”) a földfelszín feletti magasságot jelenti.

⁴ Közepes magasságú ugrás: a kiugrás magassága 400-4000 m/1300-13200 láb (AMSL) között van; (helikopterből történő kiképzési ugrások során, a kiugrás terep feletti magassága minimum 400 m/1300 láb (AGL) lehet). Az AMSL (ang. „Above Mean Sea Level”) a közepes tengerszint feletti magasságot jelenti.

⁵ Nagy magasságú ugrás: a kiugrás magassága 4000 m/13200 láb (AMSL) felett van.

⁶ Ez az ún. HAHO (ang. „High Altitude High Opening”)-ugrás, amely távrepülési célokra is felhasználható.

⁷ Ez az ún. HALO (ang. „High Altitude Low Opening”)-ugrás.

A Magyar Honvédség ejtőernyős tevékenységének meteorológiai feltételei

A Magyar Honvédség szervezésében végrehajtásra tervezett kiképzési/gyakorló célú ejtőernyős ugrások meteorológiai feltételeit a vonatkozó előírás az alábbiak szerint határozza meg:

„2.13 *Az ejtőernyős ugrás meteorológiai feltételei*

Az ejtőernyős ugrást – a vézsuigrások kivételével – az alábbi meteorológiai körülmények megléte esetén lehet végrehajtani:

2.13.1 *Függőleges látás*

Az ugrási területen olyan függőleges látás legyen, hogy a kiugrás pontját az ugrás biztonságos végrehajtása szempontjából meg lehessen határozni, valamint ereszkedés közben lássák egymást az ugrók. Amennyiben a repülőeszköz rendelkezik GPS berendezéssel, az ugrásvezető meghatározhatja letről a dobási pontot az elsodrás mértékének figyelembe vételével, úgy hogy a nyitási magasságon már nem lehet felhőben az ugró.

2.13.2 *Vízszintes látás*

Minimum a nyitási magasság kétszerese. Távrepülés esetén minimálisan 500 m a kiugrás és földetérés helyszínén.

2.13.3 *Talaj menti szélsébség*

Nyílt területen, a talaj felett 2 méter magasságban mérve nem haladhatja meg:

a. *A legelső bevezető ugrásnál az 5 m/s értéket.*

b. *Körkupolás ejtőernyőnél, figyelembe véve az ugrók képzettségét és az ejtőernyő paraméterei által meghatározott sebességet, de max. 8 m/s értéket.*

c. *Légcellás ejtőernyőnél, figyelembe véve az ugrók képzettségét és az ejtőernyő paraméterei által meghatározott sebességet, de max. 10 m/s értéket.*

d. *Gyorsernyőknél, figyelembe véve az ugrók képzettségét és az ejtőernyő paraméterei által meghatározott sebességet, de max. 12 m/s értéket.*

e. *Tandemernyőknél, figyelembe véve az ugrók képzettségét és az ejtőernyő paraméterei által meghatározott sebességet, de max. 12 m/s értéket.*

f. *Vízi ugrásnál minden állománykategóriának, az ejtőernyő típusától függetlenül: 10 m/s értéket.*

g. *Éjszakai ejtőernyős ugrásnál, körkupolás ejtőernyőnél 5m/s, légcellás ejtőernyőnél a 8 m/s értéket.*

h. *Fagyott talajra való ejtőernyős ugrásnál (20 cm-nél kisebb hótakaró esetén) körkupolás ejtőernyővel az 5m/s, légcellás ejtőernyővel a 8 m/s értéket.*

i. *Széllokések esetén akkor lehet megkezdeni az ejtőernyős ugrást, ha 30 percig a legmagasabb talajmenti szél nem haladja meg az adott ejtőernyőre előírt maximális értéket, vagy pedig a szél fokozatosan csökkenő tendenciát mutat.*

2.13.4 *Szélelsodrás*

A távrepülés kivételével az ejtőernyő nyitási magasságától a földig a szélelsodrás nagysága nem haladhatja meg a célszalag dobási magasságának kétszeresét.

2.13.5 *Hőmérséklet*

Ejtőernyős ugrás az alkalmazott ejtőernyő rendszer és nyitóműszer technikai leírásában meghatározott paramétereken belül hajtható végre. Speciális ruházat alkalmazása nélkül végrehajtott vízi ugrás minimum 16 °C – os vízhőmérséklet esetén hajtható végre.

2.13.6 Termik

Nyári időszakban az ejtőernyős alapképzésen résztvevő állomány ejtőernyős ugrásainak végrehajtasát lehetőség szerint a reggeli, kora délelőtti időszakban, vagy közvetlenül napnyugta előtt kell tervezni, elkerülve az intenzíven termikes időjárási viszonyokat a kezdő állomány ejtőernyős ugrásai során.” [4].

FELHASZNÁLT ADATOK

Szondázási adatok

Vizsgálatunkhoz felhasználtuk a Wyomingi Egyetem által közzétett rádiószondás felszállási adatokat, valamint a szegedi állomás⁸ 00:00 UTC és 12:00 UTC időpontra vonatkozó szondázási adatait.

SODAR adatok

A SODAR⁹ azon aktív távérzékelési módszerek egyike, amely hanghullámokat bocsát ki a légkörbe és ezek szóródását vizsgálja. A hőmérséklet és a szél függvényében ugyanis megváltozik a földi légkör különböző rétegeinek törésmutatója, emiatt pedig szóródás lép fel. A SODAR a szórt és a visszavert hanghullámokat egyaránt detektálja [5].

Magyarországon két darab METEK¹⁰ gyártmányú SODAR végez méréseket, az egyik az Országos Meteorológiai Szolgálat Marczell György Főobszervatóriumában (Budapest Pestszentlőrinc), a másik a Debreceni Egyetem Debrecen-Kismacs Agrometeorológiai Obszervatóriumában található, amely által szolgáltatott adatokat használtuk fel munkánk során. A mérés 20 méteres magasságtól kezdődik és 10 méteres lépésközzel 400 méterig tart. A mérési ciklus 6 másodpercenként fut, amiből 10 perces átlagok készülnek.

Modell adatok

A bemenő adatok 3 óránként 0,25 fokos GFS¹¹ inputok, inicializálva 00:00 UTC-kor, a talaj adatbázis DKSIS, a felszín borítottsága CORINE¹² alapú [6], a talajfizikai paraméterek a MARTHA¹³ adatbázis [7] szerint kerültek módosításra, a talajnedvességi karakterisztikák nem

⁸ Magyarországon Budapesten és Szegeden folytatnak magaslégköri méréseket.

⁹ A SODAR (ang. „Sonic Detection And Ranging”) hanghullámokat kibocsátó távérzékelési eszköz.

¹⁰ A METEK (ném. „Meteorologische Messtechnik”) egy olyan vállalat, amely különböző – elsősorban távérzékelési – mérőműszerek gyártásával, forgalmazásával foglalkozik.

¹¹ A GFS (ang. „Global Forecast System”) egy numerikus időjárás előrejelző számítógépes modell az amerikai NOAA (ang. „National Oceanic and Atmospheric Administration”) futtatásában.

¹² A CORINE (ang. „Coordination of Information on the Environment”) az egységesedő Európa környezeti információrendszer.

¹³ A MARTHA („Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis”) adatbázis a hazai talajfizikai laboratóriumokban mért talajfizikai és vízgazdálkodási mérési eredmények egységes rendszerbe szervezett gyűjteménye.

lettek korrigálva az eltérő talajtípusokra. A 9000 méteres felbontású d01 tartományba d02 beágyazott tartomány felbontása 3000 méter. A modell 44 vertikális szinten kerül integrálásra.

Az ejtőernyős üzem végrehajtásakor mért helyszíni adatok

Noha a földetérési területet is magába foglaló ugrásterületen szolgálati feladatot ellátó ejtőernyős ugrásvezető METAR-adatokkal kell, hogy rendelkezzen az adott ugrásterület vonatkozásában, a dobás megkezdése előtt ezek az adatok – vizuálisan – gyakorlatilag is ellenőrzésre kerülnek.

A talajfelszín és az ugrási magasság közötti légrétegben uralkodó szélviszonyokat (magassági szél) célszalaggal vizsgálják meg, amelyet a dobást végrehajtó repülőeszköz fedélzetén tartózkodó ugratóparancsnok (1. ábra) juttat ki a légterbe, a földetérési terület középpontjában elhelyezett célkereszt felett.



1. ábra Bujkó István főtörzsőrmester célszalagot dob teher deszant feladat végrehajtása előtt a Magyar Honvédség An-26 típusú könnyű szállító repülőgépének fedélzetéről [8]

Mivel a krepp-papírból készült célszalag süllyedési sebessége megközelítőleg az átlagos ejtőernyős ereszkedési sebesség értékével egyezik meg, annak elsodródása vizuálisan is segít a szél irányának és sebességének megállapításában, megmutatja, hogy az ejtőernyős ugrókat a szél hova fogja elsodorni, azok hová fognak földetérni. Illetve segít annak eldöntésében, hogy érdemes-e megkezdni az ejtőernyős feladat végrehajtását, vagy le kell tiltani a dobást.

ESETTANULMÁNY

2016. szeptember 28-án Hajdúszoboszló repülőtéren (LHHO) a „Strong Will 2016” magyar-francia nemzetközi felderítő gyakorlat keretén belül került sor bekötött nyitási rendszerű ejtőernyős ugrások végrehajtására a Magyar Honvédség egy Mi-8 típusú helikopteréből (2. ábra).

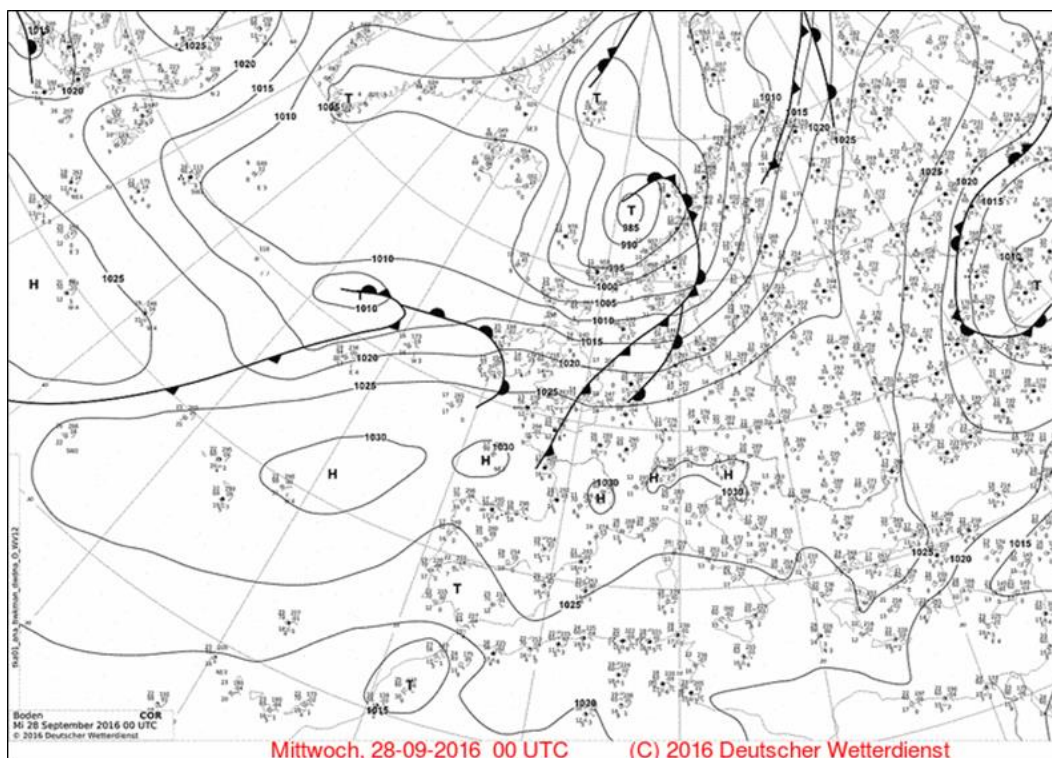


2. ábra Az esettanulmányban főszerepet kapott Mi-8 típusú helikopter a hajdúszoboszlói repülőtéren [9]

A következőkben bemutatjuk az ugrás időpontjában fennálló időjárási helyzetet.

Európai szinoptikus helyzetkép

Európa időjárását gyakorlatilag két részre lehetett osztani (3. ábra).



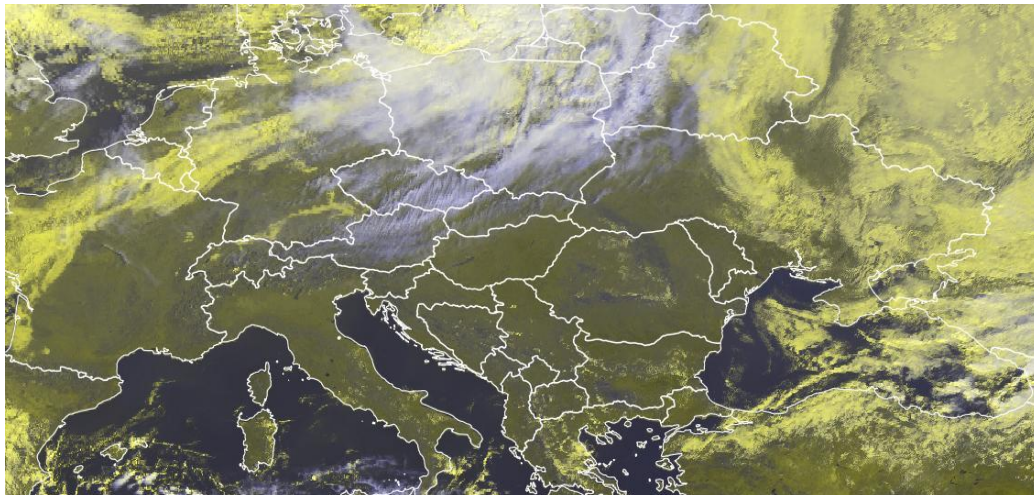
3. ábra Szinoptikus helyzetkép (2016.09.28. 00:00 UTC) [10]

A kontinens északi, északkeleti részén mozgalmass, változékony, míg Európa középső és déli területein nyugodt, csendes időjárás volt a jellemző. A Norvég-tenger feletti középponttal örvénylő ciklon, elsősorban Skandináviában okozott borongós, esős, szeles időjárást. A ciklon hidegfrontja mögött több helyen fújt viharos szél. A Brit-szigetektől nyugatra egy fiatal ciklon volt található, amely fokozatosan haladt kelet felé. Nagy területen borult volt az ég és esett többször az eső a

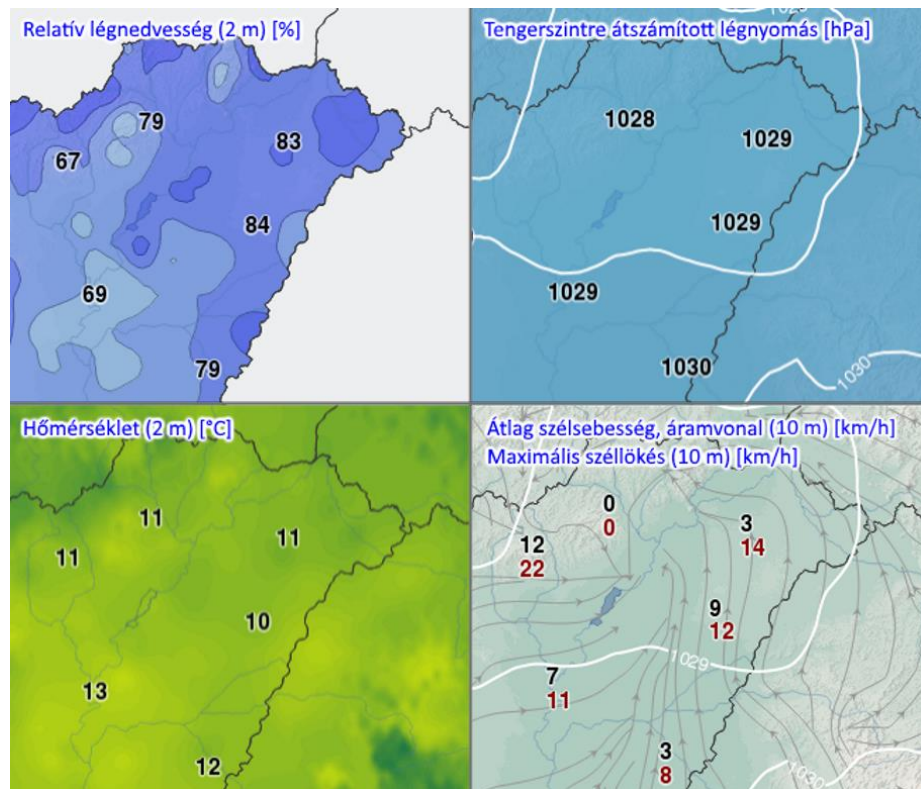
Kelet-európai-síkságon is, arrafelé ugyanis egy sekély ciklon és okklúziós frontja alakította az időjárást, emellett alacsonyszintű rétegfelhőzet is akadályozta a napsütést. Európa középső sávjában és a mediterrán térségben, az Atlanti-óceán felől benyúló anticiklonnak köszönhetően, általában kevés felhő volt az égen, sokat sütött a nap és az átlagosnál melegebb volt. Az ejtőernyős ugrás időpontjában a Kárpát-medence időjárását is anticiklonális hatások alakították.

Hajdúszoboszló térségének időjárása

A délelőtt folyamán derült volt az ég, 1 okta Cirrus felhőzettel. A 4. ábrán is jól kivehető, hogy Magyarország felett gyakorlatilag alig van felhő az égen. A látási viszonyok jók voltak (> 10 km).



4. ábra Európai műholdkép kivágat (2016.09.28. 07:00 UTC) [11]

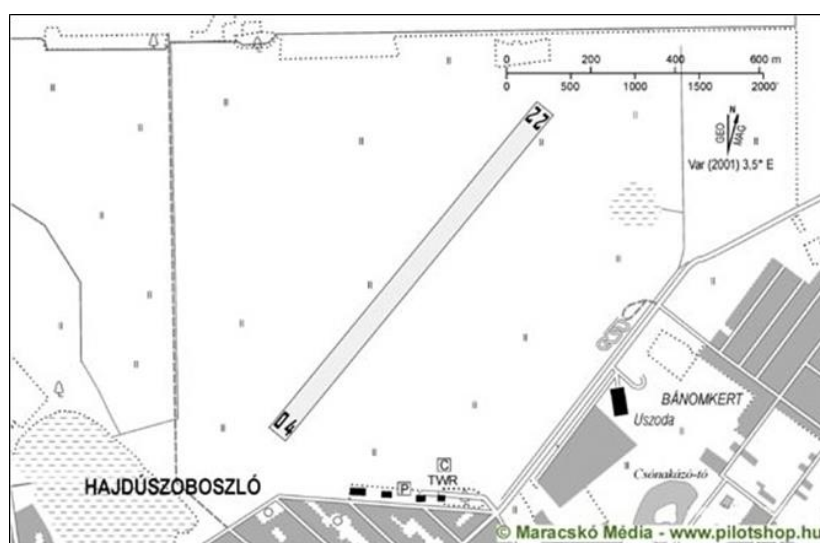


5. ábra Légnedvesség, légnyomás, hőmérséklet és széltérképek (2016.09.28. 07:00 UTC) [12]

Térségünk időjárását anticiklon alakította, melynek következtében a légnyomás értéke 1029 hPa körül alakult. A nap folyamán a légnedvességi viszonyok a következőképpen alakultak: az erőteljes éjszakai kisugárzás miatt a hajnali órákban 90% fölé emelkedett a levegő relatív nedvességtartalma, majd délelőttől az erős napsütés hatására fokozatosan csökkent. A déli, délnyugati irányból (200°) fújó szél gyenge volt (2 m/s). A legalacsonyabb éjszakai hőmérséklet a felhőtlen égbolt és a gyenge légmozgás következtében 6 °C köré süllyedt. Napfelkeltét követően a levegő gyors melegedésnek indult, az ugrás időpontjában 10 °C körüli hőmérsékletet mértek (5. ábra), a délutáni csúcshőmérséklet meghaladta a 20 °C-ot.

Hajdúszoboszló repülőtér fontosabb jellemzői

A Hajdúszoboszlói repülőtér a város északi részén található, füves kifutópályával rendelkező, nappali VFR repülés¹⁴ számára fenntartott repülőtér (6. ábra). [13]



6. ábra Hajdúszoboszló repülőtér térképe [13]

Hajdúszoboszló adatai:

- ICAO név: LHHO;
- Frekvencia: 124,200 MHz;
- Pálya iránya: 04–22;
- Pálya méret: 1000×30 m;
- Pálya felület: fű;
- Repülőtér magasság: 102 m (AMSL).

EREDMÉNYEK

Munkánk során több ejtőernyős ugrás után is kiszámítottuk a program segítségével az elsodródást, azonban ezek a számítások a mérési adatok részleges hiánya miatt nem voltak teljesen pontosak, ugyanakkor az elsodródás irányát ezekben az esetekben is kiválóan leírta a program.

¹⁴ (ang. „Visual Flight Rules”), vagyis a repülőtér csak látás alapján történő repülést tesz lehetővé, mivel nincs ellátva műszeres bejövettel lehetővé tevő speciális berendezéssel, pl. rádió irányadóval.

Az általunk fejlesztett programba az előrejelzési modell adatait beírva, előre megmondható, hogy az adott ugrásterületet, a tervezett időben az időjárási körülmények alkalmassá teszik-e ejtőernyős tevékenység végrehajtására. Az elsodródást a program úgy számítja ki, hogy valamennyi szélvektort felbontja U és V komponensre, ezeket a komponenseket összeadja és az eredményül kapott U és V komponenseket elosztja a szél vektorok darabszámával. Ezt úgy definiálhatjuk, hogy ez az „átlagos elsodródási vektor”. Azt tudjuk ugyanis, hogy mekkora értékű az ejtőernyős süllyedése (ez RS-4/4 LA típusú személyi légideszant ejtőernyőrendszer (7. ábra) esetén, maximális hasznos terheléssel, földközépen: 4–4,5 m/s [14]).



6. ábra RS-4/4 LA típusú személyi légideszant ejtőernyők a levegőben, a „Strong Will 2016” magyar-francia nemzetközi felderítő gyakorlatra történő felkészítő ugrás során [15]

Az ejtőernyős dobás magasságából, illetve az ejtőernyős-ejtőernyő komplexum ejtőernyős süllyedési sebességéből, az ún. ejtőernyős ereszkedés időtartama könnyen kiszámítható. Ha tudjuk az ejtőernyős ereszkedés időtartamát, valamint az elsodródás nagyságát és irányát, az elsodródás távolságát ugyancsak könnyen ki tudjuk számolni.

Az általunk készített program alapján – már az előzetes tervezés során közelítő pontossággal sikeresen megbecsülhető, előrejelezhető – az ejtőernyősök szél általi elsodródása. A helikopterből közvetlen az ejtőernyős ugrást megelőzően kidobásra kerülő célszalag elsodródása ezt a számított értéket csak pontosíthatja.

A 2016. szeptember 28-ai hajdúszoboszlói ejtőernyőzéskor a gyenge déli, délnyugati irányból fújó szél a célkereszt felett kidobott célszalagot 150 méteres távolsáig térítette ki északkeleti irányba. A programba beírva a modell adatokat megkaptuk, hogy az elsodródás 131 méter északkelet felé. Ez gyakorlatilag megegyezik a valóságban bekövetkezett kitéréssel, amit a helikopterből az ejtőernyős dobás kezdetén kidobott célszalag is igazolt.

A minimális hibahatár természetesen abból adódik, hogy nincsen a léggör minden egyes méteréről, minden egyes percben adatunk. A programban beállításában egyszerűen megadható, hogy

„Hány méterig vizsgálódjunk?“, vagyis az, hogy milyen magasságból történik az ejtőernyős ugrás. Megadható továbbá, hogy mekkora maximális talajszél értékig lehet biztonságosan végrehajtani az ejtőernyős ugrást, mekkora lehet a felhőzetet jelentő kritikus nedvesség értéke, valamint a dobási magasság hányszorosa lehet a kritikus elsodródás értéke.

A program, a lefuttatása után a kiszámított adatokat egy fájlban jeleníti meg, az alábbiak szerint (6. ábra).

Allnév	év	ho	nap	ora	magass	Tszéli seb	sodr merre	sodrseb	maxirany	maxseb	maxrelhum	donnt1	dont2	dont3		
LHHO	2016	Sep	28	07Z	400.00	223	2	131	EK	2	256	4	84	0	1	1

2. ábra A program által adott eredmények [16]

A megjelenített adatok jelentése balról jobbra olvasva a következő:

- állomás neve: LHHO (Hajdúszoboszló);
- év, hónap, nap, óra: 2016. szeptember 28., 07:00 UTC;
- milyen magasságból történik az ejtőernyős ugrás a talajszinttől számítva: 400 méter;
- a talajszél iránya és sebessége: 223-ról 2 m/s;
- az elsodródás távolsága és iránya: 131 méter, ÉK felé;
- az elsodródás sebessége: 2 m/s;
- a talajszint és az ejtőernyős ugrási magasság közötti rétegben előforduló legerősebb szél iránya és sebessége: 256°-ról 4 m/s;
- A talajszint és az ejtőernyős ugrási magasság közötti rétegben előforduló maximális relatív légnedvesség értéke: 84%;
- alkalmas-e a helyzet a felhőzet/légnedvesség miatt: 0 – nem (a programban 80%-os limitet állítottunk be, szignifikáns felhőzet nem volt, mindössze a talaj közelében volt nedvesebb a levegő);
- alkalmas-e a helyzet a talajszél sebessége miatt: 1 – igen;
- alkalmas-e a helyzet a kritikus elsodródás miatt: 1 – igen;

TOVÁBBI CÉLKITŰZÉSEINK

A „Strong Will 2016” magyar-francia nemzetközi felderítő gyakorlat jó lehetőséget biztosított eddigi munkánk hasznosságának bizonyítására. Eredményei megmutatták, hogy a Magyar Honvédség által végrehajtásra tervezett ejtőernyős tevékenység során a meteorológiai biztosítás ezen speciális formájának igenis van létjogosultsága, már a tervezés során is.

Ezért munkánkat érdemes lesz tovább folytatni, újabb esettanulmányok keretében történő gyakorlati teszteléssel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 39. sz. LÉGÜGYI ELŐÍRÁS és végrehajtási utasítása az ejtőernyős tevékenységről és az ejtőernyők alkalmazásáról (454347/1984.)
- [2] 2016. évi CXXXVI. törvény a légitörvényről szóló 1995. évi XCVII. törvény módosításáról, a törvényt az Országgyűlés a 2016. november 22-i ülésnapján fogadta el.
- [3] A nemzeti fejlesztési miniszter 53/2016. (XII. 16.) NFM rendelete a légijármű és repülőeszköz személyzet, valamint a repülésüzemi tiszt képzéséről, vizsgáztatásáról, engedélyeiről és a képzésükben részt vevő szervezetek engedélyezéséről
- [4] 23/2/2007/HTF Szakutasítás az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott honvédelmi célú ejtőernyős ugrások és azokkal összefüggő tevékenységek szabályairól
- [5] http://ttktamop.elte.hu/online-tananyagok/meteorologiai_muszerek_es_merorendszerek/ch09s02.html
- [6] <http://www.fomi.hu/portal/index.php/termekeink/felszinboritas-corine>
- [7] <http://www.hajdufly.hu/node/1>
- [8] Készült Tatárszentgyörgy felett, 2009.05.13-án. Bánszki Tamás százados jóvoltából.
- [9] Az esettanulmány helyszínén, az ejtőernyős dobást végrehajtó Mi-8 típusú helikopterről a Szerzők által készített felvétel. (2016.09.28.)
- [10] www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html (2017.03.16.)
- [11] eumetview.eumetsat.int/mapviewer (2016.09.28.)
- [12] Országos Meteorológiai Szolgálat (www.met.hu), saját szerkesztés.
- [13] <http://www.hajdufly.hu/node/1>. (2017.01.12.)
- [14] Kézikönyv az RS - 4/4 LA típusú ejtőernyőhöz (hálóval) Cikkszám: 50 – 214 / 05 : 00 Kiadó: Sächsische Spezialkonfektion GmbH, Gewerbering 4 02782 Seifhennersdorf Kiadás: 3. Kiadás ideje: 2006. augusztus
- [15] <http://www.bocskaidandar.hu/new/index.php/hirek/dandar-hirek/787-a-celpont-felderitve> (2017.03.19.)
- [16] <http://real.mtak.hu/11603/>

THE METEOROLOGICAL SUPPORT OF THE MILITARY PARACHUTING

Military parachuting is highly depends on weather conditions. The most influencing weather parameters are wind speed, cloud cover and visibility. When paratrooper jumping out, one of the most important factor is how far sweep away him the wind direction and speed and where he will exactly touch the ground. This forecast is not resolved yet. In our work, we developed a method by the drift become predictable. With the program, which programmed by ourselves, we determined the degrees and direction of the drift. By this means, paratroopers have an opportunity to determine the landing point with minimal deficiency.

Keywords: *military parachuting, side drift, forecast, weather conditions*

Dr. Wantuch Ferenc, PhD Meteorológus Nemzeti Közlekedési Hatóság Állami Légügyi Főosztály wantuch.ferenc@nkh.gov.hu orcid.org/0000-0001-7618-1336	Dr. Wantuch Ferenc, PhD Meteorologist National Transport authority State Aviation Department wantuch.ferenc@nkh.gov.hu orcid.org/0000-0001-7618-1336
Szaniszló Zsolt okl. mk. őrnagy (MSc) repülésfelügyeleti (ejtőernyős) főoszt Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály sunnyboymi24@gmail.com orcid.org/0000-0003-0646-1505	Eng. Maj. Szaniszló Zsolt (MSc) Flight supervisor (parachutist) senior officer Ministry of Defence State Aviation Department sunnyboymi24@gmail.com orcid.org/0000-0003-0646-1505
Bujdosó Bence egyetemi hallgató Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék bence.bujdoso@gmail.com orcid.org/0000-0001-5195-753X	Bujdosó Bence Student National University of Debrecen Faculty of Meteorology bence.bujdoso@gmail.com orcid.org/0000-0001-5195-753X

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

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



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-16-0394_Wantuch_F-Szaniszlo_Zs-Bujdoso_B.pdf