

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM  
REPÜLŐTISZTI INTÉZET

---

REPÜLÉSTUDOMÁNYI  
KÖZLEMÉNYEK



XI. ÉVFOLYAM 26.SZÁM

1999/1.





**REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK**  
**XI. ÉVFOLYAM 26. SZÁM**  
**1999/1.**

**A ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM  
TUDOMÁNYOS LAPJA**

**Felelős kiadó:**

Dr. Szabó Miklós rektor

**Felelős szerkesztő:**

Dr. Hadnagy Imre alezredes

**A szerkesztőség címe:**

Szolnok, Killián út 1.

Telefon: 56-343-422 (48-75 mell.)

**Szerkesztőbizottság:**

Dr. Péter Tamás, Dr. Pokorádi László, Varga Béla, Dr. Szántai Tamás  
Bottyán Zsolt, Dr. Pintér István, Dr. Óvári Gyula, Kovács József, Békési Bertold  
Dr. Rohács József, Dr. Németh Miklós, Eszes János, Dr. Gedeon József  
Dr. Szabó László, Dr. Szabolcsi Róbert, Vörös Miklós, Timár Szilárd.

**Lektorai Bizottság:**

Dr. Péter Tamás, Dr. Pokorádi László, Dr. Szántai Tamás, Dr. Óvári Gyula  
Dr. Rohács József, Dr. Németh Miklós, Dr. Gedeon József, Dr. Szekeres István  
Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Horváth János, Dr. Gausz Tamás, Dr. Sánta Imre  
Dr. Pásztor Endre, Dr. Kurutz Károly, Dr. Nagy Tibor, Dr. Ludányi Lajos  
Dr. Kuba Attila, Dr. Jakab László.

Készült a ZMNE Repülőtisztai Intézet Nyomdájában,  
200 példányban

Felelős vezető: Szepesi János

ISSN 1417-0604

**A "KIHÍVÁSOK A REPÜLÉSTUDOMÁNYBAN A  
3. ÉVEZRED KÜSZÖBÉN" TUDOMÁNYOS  
KONFERENCIA KIADVÁNYA**

**I. RÉSZ**

**A KONFERENCIA VÉDNÖKEI:**

Prof. Dr. Szabó Miklós ny. vezérőrmagy,  
a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem rektora

Dr. Szabó József ny. vezérőrmagy,  
a Magyar Hadtudományi Társaság elnöke

Talla István vezérőrmagy  
mb. Légierő Vezérkari főnök

**A KONFERENCIA HELYE:**

ZMNE Repülőtiszti Intézet, Szolnok

**A KONFERENCIA IDEJE:**

1999. április 17.

**A KONFERENCIA TÁMOGATÓI:**

**RAIFFEISEN BANK**

**RICO-SZOL KFT**

**HBI PARTNER KFT**

A konferencia szervezésében és lebonyolításában a támogatók által nyújtott segítséget a Szervezőbizottság ezúton köszöni meg.

### **A KONFERENCIA PROGRAMBIZOTTSÁGA:**

Dr. Németh Miklós, ZMNE Repülőtiszt Intézet, intézet igazgató  
Dr. Habil. Óvári Gyula, tanszékvezető, egyetemi docens  
Dr. Habil. Pintér István, egyetemi docens, tanszékvezető-helyettes  
Dr. Szabolcsi Róbert, tanszékvezető, egyetemi docens  
Dr. Szilágyi Tivadar, tudományos rektorhelyettes  
Dr. Turcsányi Károly, tanszékvezető, egyetemi tanár, tudományos dékánhelyettes  
Dr. Csűrös János, tanszékvezető, egyetemi tanár, kari dékán  
Dr. Pokorádi László, egyetemi docens, tanszékvezető-helyettes  
Dr. Gausz Tamás, BME, egyetemi docens  
Dr. Sánta Imre, BME, egyetemi docens, tanszékvezető-helyettes  
Dr. Rohács József, BME, tanszékvezető, egyetemi tanár  
Dr. Pásztor Endre, BME, tudományos főmunkatárs  
Dr. Gedeon József, BME, tudományos főmunkatárs  
Dr. Ludányi Lajos, egyetemi adjunktus.

### **A KONFERENCIA SZERVEZŐBIZOTTSÁGA:**

Dr. Szabolcsi Róbert, ZMNE VSZTK, Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
Békési Bertold, ZMNE VSZTK, Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
Kavas László, ZMNE VSZTK, Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék  
Varga Béla, ZMNE VSZTK, Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék.

### **A KONFERENCIA SZERVEZŐI:**

Magyar Hadtudományi Társaság, Légierő Szakosztály,  
Repüléstudományi Csoport, Szolnok,  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Fedélzeti Rendszerek Tanszék,  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék.

### **A KONFERENCIA KIADVÁNYÁNAK SZERKESZTŐI:**

Dr. Szabolcsi Róbert mérnök alezredes, tanszékvezető, egyetemi docens,  
Békési Bertold mérnök százados, egyetemi tanársegéd,

## A KONFERENCIA PROGRAMJA

### PLENÁRIS ÜLÉS

A plenáris ülés elnöke: **Dr. Németh Miklós**  
Társelnök: **Dr. Habil. Pintér István**

**10<sup>00</sup> Megnyitó - Dr. Németh Miklós**

**10<sup>05</sup>-10<sup>20</sup> Prof. Dr. Szabó János**

„Katonai repülés humánerőforrás gazdálkodása a következő évezredben.”

**10<sup>20</sup>-10<sup>35</sup> Talla István**

„A légierő feladatai a NATO csatlakozás tükrében.

**10<sup>35</sup>-10<sup>50</sup> Dr. Horváth János - Dr. Kormos László**

„A légierő repülőszakember képzésének koncepciója 2000 után”

**10<sup>50</sup>-11<sup>05</sup> Dr. Szilágyi Tivadar**

„A doktori képzés jövője”

**11<sup>05</sup>-11<sup>20</sup> Dr. Szabó József**

„A légierő fejlődésének története napjainkig”

### 11<sup>20</sup>-11<sup>35</sup> SZÜNET

Elnök: **Dr. Szilágyi Tivadar**  
Társelnök: **Dr. Szabolcsi Róbert**

**11<sup>35</sup>-11<sup>50</sup> Dr. Rohács József**

„Tolóerőirány szabályozás repülőgépeken”

**11<sup>50</sup>-12<sup>05</sup> Dr. Óvári Gyula - Keszthelyi Gyula**

„A tudományos technikai forradalom hatása a XXI. század katonai repülésére”

**12<sup>05</sup>-12<sup>20</sup> Dr. Gedeon József**

„Sztochasztikus módszerek a repüléstudományban”

**12<sup>20</sup>-12<sup>35</sup> Dr. Sánta Imre**

„Gázturbinás repülőgép hajtóművek fejlesztési tendenciái, a várható jövő”

**12<sup>35</sup>-12<sup>50</sup> Dr. Gausz Tamás**

„Helikopter rotorok működésének integrált szimulációja”

### 13<sup>00</sup>-13<sup>30</sup> EBÉD

**„A” SZEKCIÓ  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK I.**

**A szekció elnöke: Dr. Gedeon József  
Társelnök: Bottyán Zsolt**

**13<sup>30</sup>-13<sup>45</sup> Dr. Péter Tamás**

„Repülőgépek sztochasztikus földetérési folyamatait modellező nemlineáris lengőrendszerek ekvivalencia osztályozása”

**13<sup>45</sup>-14<sup>00</sup> Bottyán Zsolt**

„A CFIT típusú repülőgép katasztrófák túlélési arányának alakulása néhány földrajzi paraméter függvényében”

**14<sup>00</sup>-14<sup>15</sup> Dr. Péter Tamás - Dr. Zibolen Endre**

„Modern computer-algebrai módszerek alkalmazása a mérnöki tervezésben”

**14<sup>15</sup>-14<sup>30</sup> Domján Károly**

„Légi járművek sárkányrendszerei”

**14<sup>30</sup>-14<sup>45</sup> Bottyán Zsolt - Sárközi Szilárd**

„Az alacsonyszintű orkáncsatorna, mint repülésre veszélyes időjárási tényező. Egy repülőgép katasztrófa lehetséges magyarázata”

**„B” SZEKCIÓ  
INTERDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK I.**

**A szekció elnöke: Dr. Szilágyi Tivadar  
Társelnök: Dr. Pokorádi László**

**13<sup>30</sup>-13<sup>45</sup> Dr. Pokorádi László**

„Kockázatkezelés a repülésben”

**13<sup>45</sup>-14<sup>00</sup> Dr. Szabó László - Kavas László - Szilágyi Mihály**

„Az FSM-29 szimulátor gyakorlati alkalmazásának lehetősége a MÍG-29-es pilóták kiképzésében a Magyar Honvédségnél”

**14<sup>00</sup>-14<sup>15</sup> Dr. Pokorádi László - Madarász László**

„A repülőműszaki menedzsment és a kockázatkezelés”

**14<sup>15</sup>-14<sup>30</sup> Dr. Peták György**

„A vadászrepülőgépek korszerűsítése, harci hatékonyságuk, túlélő képességük és fenntartási költségeik néhány összefüggése”

**14<sup>30</sup>-14<sup>45</sup> Dr. Pokorádi László - Bera József**

„A jövő század repülésének környezeti kihívása”

## **„C” SZEKCIÓ OKTATÁS, KIKÉPZÉS**

**A szekció elnöke: Dr. Csűrös János  
Társelnök: Dr. Szabolcsi Róbert**

- 13<sup>30</sup>-13<sup>45</sup> Dr. Szabolcsi Róbert - Kovács József**  
„Új szakok a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Fedélzeti Rendszerek Tanszékén”
- 13<sup>45</sup>-14<sup>00</sup> Békési László**  
„A multimédia alkalmazási lehetőségei a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelése érdekében”
- 14<sup>00</sup>-14<sup>15</sup> Kavas László**  
„Számítógépes oktatóprogramok a hallgatók gépészmérnök képzésében”
- 14<sup>15</sup>-14<sup>30</sup> Békési László**  
„A működő modellek alkalmazási lehetőségei az aerodinamika tantárgy oktatása során”
- 14<sup>30</sup>-14<sup>45</sup> Tóth Tivadar**  
„WAN-ok (Nagy kiterjedésű számítógépes hálózat) kialakulása, jelene, jövője”

## **„D” SZEKCIÓ MŰSZAKI TUDOMÁNYOK II.**

**A szekció elnöke: Dr. Turcsányi Károly  
Társelnök: Dr. Ludányi Lajos**

- 13<sup>30</sup>-13<sup>45</sup> Kovács Klára**  
„A Delphi programrendszer alkalmazásának lehetőségei a repülőeszközök üzemeltetése során alkalmazott anyagok raktározásában és tárolásában”
- 13<sup>45</sup>-14<sup>00</sup> Dr. Ludányi Lajos**  
"A radarjelek detektálása neurális hálózat alkalmazásával."
- 14<sup>00</sup>-14<sup>15</sup> Dr. Szabolcsi Róbert**  
„Solution of Control Problems Using MATLAB®”
- 14<sup>15</sup>-14<sup>30</sup> Szaniszló Zsolt - Burján Tamás**  
"Rezgésvizsgálat gyakorlati alkalmazási lehetőségei a Magyar Honvédség repülőcsapatainál."
- 14<sup>30</sup>-14<sup>45</sup> Ailer Piroska**  
"Kisteljesítményű gázturbina szabályozásának matematikai modellezése"

**14<sup>45</sup> - 15<sup>00</sup> SZÜNET**



**"E" SZEKCIÓ**  
**TÁRSADALMI KIHÍVÁSOK ÉS ÚTKERESÉS A REPÜLÉSTUDOMÁNY**  
**ÉS VEZETÉS-SZERVEZÉS KAPCSOLATÁBAN**

**A szekció elnöke: Mráz István**  
**Társelnök: Dr. Habil. Pintér István**

**15<sup>00</sup>-15<sup>15</sup> Tóth Sándor**

"A katonai szemlélet és militáns elvárások helyének, szerepének változása az ezredfordulón a politikai rendszerben és hatása a repülések vezetésére és szervezésére."

**15<sup>15</sup>-15<sup>30</sup> Mráz István**

"Az MH informatikai rendszere fejlesztését akadályozó humán tényezők az évezred küszöbén a NATO elvárások tükrében, különös tekintettel a repülés igényeire."

**15<sup>30</sup>-15<sup>45</sup> Dr. Habil. Pintér István**

"A katonai vezetés elmélete és gyakorlata fejlődésének tendenciája a NATO csatlakozás tükrében az ezredfordulón, és hatása a repülőalakulatokra."

**15<sup>45</sup>-16<sup>00</sup> Tóth Zoltán**

"A katonai vezetési módszerek fejlődésének dinamikája és kritikus területei, a NATO vezetésfelfogása és az MH alegységei tényleges állapota alapján. A csoportos munkavégzés vezetés-módszertani problémái a repülőcsapatok életében."

**"F" SZEKCIÓ**  
**MŰSZAKI TUDOMÁNYOK III.**

**A szekció elnöke: Dr. Gausz Tamás**  
**Társelnök: Békési Bertold**

**15<sup>00</sup>-15<sup>15</sup> Békési Bertold**

"Lézergiroszkópok elméleti alapjai"

**15<sup>15</sup>-15<sup>30</sup> Szilvássy László - Békési Bertold**

"Rakéta hajtóművek"

**15<sup>30</sup>-15<sup>45</sup> Varga Béla**

"Egyforgószárnnyas faroklégcsavaros helikopterek súlypont vándorlási tartománya"

**15<sup>45</sup>-16<sup>00</sup> Békési Bertold**

"Mechanikai és optikai lézergiroszkópok"

**16<sup>00</sup>-16<sup>15</sup> Abdesselam, Aomar**

"Effects of the Hydraulic Servo-Actuator Anomalies on the Aircraft and Control System"



**"G" SZEKCIÓ  
INTERDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK II.**

**A szekció elnöke: Dr. Németh Miklós  
Társelnök: Palik Mátyás**

**15<sup>00</sup>-15<sup>15</sup> Dr. Czövek László**

"A TESZTER típusú fedélzeti adatrögzítő rendszer új típusú gyorskiértékelő berendezésének fejlesztése."

**15<sup>15</sup>-15<sup>30</sup> Kiss Gyula**

"Teljesen automatikus, digitális repülésvezérlő rendszerek a gyakorlatban."

**15<sup>30</sup>-15<sup>45</sup> Jánosi Krisztina**

"Változások a magyar katonai repülésirányításban."

**15<sup>45</sup>-16<sup>00</sup> Palik Mátyás**

"A pilóta nélküli repülőkkal megoldható feladatok a NATO harcászati Légierő alkalmazási formái keretében."

**16<sup>20</sup> ZÁRÓ PLENÁRIS ÜLÉS**

**A plenáris ülés levezető elnöke:  
DR. SZABÓ JÓZSEF, az MHTT elnöke**



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Dr. Óvári Gyula - Keszthelyi Gyula</b> A MÍG-29 típusú repülőgépek logisztikai rendszere a NATO tagság tükrében (Gondolatok, javaslatok a típus jövőjéről).	15
<b>Dr. Gausz Tamás</b> Helikopter rotorok működésének integrált szimulációja	25
<b>Bottyán Zsolt</b> A CFIT típusú repülőgép katasztrófák túlélési arányának alakulása néhány földrajzi paraméter függvényében	41
<b>Bottyán Zsolt - Sárközi Szilárd</b> Az alacsonyszintű „orkáncsatoma”, mint repülésre veszélyes időjárási tényező. Egy repülőgép katasztrófa lehetséges magyarázata	53
<b>Dr. Pokorádi László</b> Kockázatkezelés a repülésben	65
<b>Dr. Szabó László - Kavas László - Szilágyi Mihály</b> Az FSM-29 szimulátor gyakorlati alkalmazásának lehetősége a MÍG-29-es pilóták kiképzésében a Magyar Honvédségnél	79
<b>Dr. Pokorádi László - Madarász László</b> A repülőműszaki menedzsment és a kockázatkezelés	95
<b>Dr. Peták György</b> A vadászrepülőgépek korszerűsítése, harci hatékonyságuk, túlélő képességük és fenntartási költségeik néhány összefüggése	105
<b>Dr. Pokorádi László - Bera József</b> A jövő század repülésének környezeti kihívása	121
<b>Békési László</b> A multimédia alkalmazási lehetőségei a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelésében	133
<b>Kavas László</b> Számítógépes oktatóprogramok a hallgatók gépészmérnök képzésében	143

<b>Békési László</b> A működő modellek alkalmazási lehetőségei az aerodinamika tantárgy oktatása során	153
<b>Kovács Klára</b> A Delphi programrendszer alkalmazásának lehetőségei a repülőeszközök üzemeltetése során alkalmazott anyagok raktározásában és tárolásában	163
<b>Dr. Ludányi Lajos</b> A radarjelek detektálása neurális hálózat alkalmazásával	171
<b>Dr. Szabolcsi Róbert</b> Solution of Control Problems Using MATLAB®	187
<b>Szaniszló Zsolt - Burján Tamás</b> Rezgésvizsgálat gyakorlati alkalmazási lehetőségei a Magyar Honvédség repülőcsapatainál	225
<b>Ailer Piroska</b> Kisteljesítményű gázturbina szabályozásának matematikai modellezése	239
<b>Békési Bertold</b> Theoretical Backgrounds of the Ring Laser Gyros	253
<b>Szilvássy László - Békési Bertold</b> Rakéta hajtóművek	263
<b>Varga Béla</b> Egyforgósármvas íaroklégcsavaros helikopterek súlypontvándorlási tartománya	273
<b>Békési Bertold</b> Mechanical and Optical Laser Gyros	285
<b>Jánosi Krisztina</b> Változások a magyar katonai repülésirányításban	293
<b>Palik Mátyás</b> A pilóta nélküli repülőekkel megoldható feladatok a NATO harcászati légierő alkalmazási formái keretében	307

## **PLENÁRIS ÜLÉS**

**ELNÖK: DR. SZILÁGYI TIVADAR**

**TÁRSELNÖK: DR. SZABOLCSI RÓBERT**



## **A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEK LOGISZTIKAI RENDSZERE A NATO TAGSÁG TÜKRÉBEN (GONDOLATOK, JAVASLATOK A TÍPUS JÖVŐJÉRŐL)**

**Keszthelyi Gyula mérnök ezredes  
MH Logisztikai Főigazgató helyettes  
Dr. Óvári Gyula mérnök alezredes  
tanszékvezető, egyetemi docens  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék**

*A legkiválóbb harcászati-technikai jellemzőkkel rendelkező repülőeszköz is csak akkor képes harckészültségi és együttműködési feladatait magas színvonalon ellátni, ha tökéletesen illeszkedik az őt befogadó katonai repülés rendszerébe, melynek kulcsfontosságú eleme a logisztikai biztosítás. Ennek néhány – a légierőnk gerincét képező MÍG-29-esre vonatkozó – sajátosságát kívánjuk az alábbiakban bemutatni, figyelembe véve a NATO-csatlakozásunk nyomán megjelenő új követelményeket is.*

### **ELŐZMÉNYEK**

1993 elején a Magyar Köztársaság kormánya úgy döntött, hogy a repülőcsapatok harcászati-műszaki korszerűsítésének érdekében elfogadja az Orosz Föderáció kormányának ajánlatát és a két ország közötti adósságállomány részbeni kompenzációjaként átvesz 28 darab MiG-29 típusú vadászrepülőgépet, a hozzátartozó logisztikai rendszerekkel együtt. A kormány döntésének már kezdettől számos ellenzője, kritikusa volt, akik különböző politikai, gazdasági, sőt repüléstechnikai megfontolásokra hivatkozva helytelenítették a típus beszerzését, helyette az akkori idők egyik legmodernebb légvédelmi fegyverrendszerét az Sz-300-as komplexumot javasolták rendszerbe állítani. A kibontakozó szakmai, politikai vitára hamar pontot tett az az orosz közlés, mely szerint ez az eszköz csak készpénzért kapható.

A Magyar Honvédségnek ugyanakkor égetően szüksége volt a légtér védelmét megfelelő szinten biztosító új, korszerű vadászpilóta gépekre, mivel a rendszeresített típusok közül a MiG-21 harcászati szempontból teljesen elavult, a MiG-23 pedig élettartamának végéhez közeledett. Új vagy használt nyugati típusú vadászpilóta gépek beszerezése, átvétele ugyan már ekkor szóba került, azonban az Egyesült Államok kormánya a 90-es évek elején még nem járult hozzá korszerű, magas technikai színvonalú termékek exportjához az egykori szocialista országokba.

Ilyen körülmények között született meg a MiG-29-es beszerezésére vonatkozó döntés, amely több szempontból is rendkívül előnyös volt a Magyar Köztársaság számára. Először sikerült az orosz államadóságot számottevően, mintegy 800 millió USD értékben, egy korszerű termék behozatalával csökkenteni, amely az orosz gazdaság akkori színvonalát, kínálatát és lehetőségeit tekintve az egyik legelőnyösebb megoldás volt. Másfelől a MiG-29 rendszerbeállítása jelentős mértékben megnövelte a Magyar Honvédség harci lehetőségeit, műszaki színvonalát és, viszonylagos paritást biztosított a környező országok légierőjével.

A típus napjainkig megfelelően szolgálta a Magyar Köztársaság légtérének védelmét és az évről-évre romló finanszírozási feltételek ellenére is képes volt kielégíteni a vele szemben támasztott követelményeket. Ez a helyzet 1999. március 12-én alapjaiban megváltozott. Hazánk NATO tagságának pillanatától a MiG-29 részévé vált a szövetség közös védelmi rendszerének, ebből adódóan számos új követelménynek is meg kell felelnie. Ezek legtöbbször számunkra már hosszabb ideje ismert, azonban a légierő korábbi alkalmazási körülményei egyrészt nem igényelték, másrészt a pénzügyi lehetőségek nem tették lehetővé a pilóta gépek ez irányú felkészítését. Ugyanakkor a titkos adattovábbítással kapcsolatos előírások az MH számára a NATO-csatlakozás pillanatáig elérhetetlenek voltak, így ezek adaptálása a közeljövő sürgős feladata lesz.

## A KORSZERŰSÍTÉS ÚTVESZTŐI

A fentiekből kiindulva, napjainkban alapvető szükségletként jelentkezik a pilóta gép korszerűsítése. Mielőtt azonban bármilyen koncepció kidolgozásához hozzákezdene, meg kell válaszolnunk egy alapvető kérdést, nevezetesen mennyi ideig és milyen feladatra kívánjuk alkalmazni a típust? A kérdésre adandó válasz fontos támpontot nyújthat a korszerűsítés tartalmára. Amennyiben hitelesnek fogadjuk el a MiG-29-es – a gyártó által prognosztizált, jelenleg 16 csupán különböző informális hírcsatornán ismerté vált - 40 éves teljes naptári



*A MiG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEK LOGISZTIKAI RENDSZERE  
A NATO TAGSÁG TÜKRÉBEN*

üzemidejét egy sor, a továbbiakban részletesen elemzett feltételt kielégítésére kell alkalmassá tenni. Mindezekhez kapcsolódóan az üzemeltetés napjainkig neuralgikus elemére az alkatrészellátásra, hosszú távú, megbízható megoldást szükséges találni.

A műszaki feltételeken alapuló távlati elképzelések kialakítása előtt célszerű politikailag is mérlegelni, hogy mennyire építhetnek a NATO-tagok egy, a szövetséggel alapvetően ellenérzéseket tápláló és a típus ellátása tekintetében monopolhelyzetben lévő államra? Annál is inkább fontos kérdés ez, mert napjainkban nem kizárólag a Magyar Köztársaság alkalmaz MiG-29-est, a típus megtalálható mind a német, mind a lengyel légierőnél. Jövőjük azonban országonként különböző. A német légierőnél a MiG-29-es hiánypótló, az Eurofighter megjelenésével kivonásra kerül, a mellette hadrendben tartott Tornádo típus teljes mértékben kielégíti a NATO követelményeket. A lengyel légierő ezzel szemben jelentős erőfeszítéseket tesz korszerű, „nyugati” származású vadászgépek beszerzésére, amellyel német mintára részlegesen ki kívánja váltani a típust. Hosszabb távú alkalmazás esetén azonban ők sem tudják elkerülni a modernizációt. A MiG-29-es jövőbeni alkalmazhatóságának megítélése a NATO szempontjából messze nem egyértelmű, mivel nemcsak a magyar és a lengyel, hanem számos perspektivikus NATO tagságra aspiráló állam hadrendjében megtalálható, valamennyinél a légierő legmodernebb haditechnikai eszközét képviselve.

A probléma kezelése magyar szempontból jelenleg bizonytalan. A szakma évek óta vitatkozik, érvel egy alapvetően új „nyugati” vadászrepülőgép típus beszerzése mellett, ugyanakkor a gazdasági és a politikai vezetés egy része ettől mereven elzárkózik és az ország teherbíró képességére hivatkozva elveti a költségvetést jelentősen megterhelő haditechnika beszerzését. Így, ha a jövőben elmarad az új vagy használt, de „többfeladatú” harcászati repülőgép beszerzése, a MiG-29-es tisztán elfogó szerepét újra kell értékelni, mivel a többcélúság elérésére nemcsak öncélú törekvés, de szövetségesi ajánlás-elvárás is lehet. Ebben a bizonytalan helyzetben a repülőgép további sorsára vonatkozó minden ajánlás megkérdőjelezhető, sőt ismerve a „hozzáértők” széles körét, mivel nem található egy mindenki számára egyaránt elfogadható megoldás, meglehetősen hosszú, helyenként parttalan vitákra lehet számítani. Mindezek ellenére az utóbbi hónapokban az MH Repülőműszaki Főnökség által kidolgozott elgondolás a MiG-29 típus korszerűsítésére megfelelő alapot nyújthat a döntéselőkészítéshez. Amikor a következőkben a korszerűsítés logisztikai problémáival foglalkozunk ezt az anyagot tekintjük kiindulási forrásnak.

## MŰSZAKI FEJLESZTÉS, KORSZERŰSÍTÉS

A MiG-29 típus korszerűsítését szakmai körökben három lépcsőben tartják kivitelezhetőnek. Ezek a fázisok természetesen nem áthatolhatatlan falakkal vannak egymástól elválasztva, hanem az adott célú alkalmazás érdekében ajánlott, utómunkálatokkal kialakított minimális képességek elérésére irányulnak

Az első fázis az interoperabilitás követelményeinek kielégítése. A korszerűsítés ezen szakaszán el kell érni, hogy a Washingtoni szerződés V. cikkelye alapján a hazánk ellen irányuló támadás elhárítása, visszaverése során a segítségünkre érkező szövetséges légierőkkel képesek legyünk együttműködni. A cél elérésének érdekében tovább kell fejleszteni a rádiókommunikációs és a sajátidegen felismerő rendszereket. A feladat viszonylag egyszerű, azonban az elért eredmény egy rövidtávú szemléletet tükröz és feltételezi a repülőgép záros határidőn belüli kivonását, vagy egy korszerű, „nyugati” repülőgép rendszerbe állítását követően a repülőgép kizárólagos légtérvédelmi feladatokra történő korlátozását a honi terület felett.

Ez a következtetés az európai környezet biztonsági elemzésén alapszik, ahol megszűnt a katonai szövetségek közötti szembenállás, a katonai összecsapás valószínűsége a NATO és Oroszország között gyakorlatilag valószínűtlen. Ilyen körülmények között a NATO-nak a szövetségi célok megvalósítása érdekében nincs szüksége csak „air-policing” képességekkel rendelkező vadászrepülőgépekre. Ez persze nem zárja ki, hogy országunk légterének védelméhez továbbra is rendszerben tartsuk a MiG-29-est, mivel a nemzeti légtér védelme béke időszakban - a szövetségi elvek szerint - továbbra is nemzeti felelősség marad. E célra az első fázis szerint korszerűsített MiG-29-es úgy rövid, mint hosszútávon maradéktalanul megfelelő. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a NATO elvárja tagállamaitól a szövetség tevékenységében való aktív szerepvállalást, ami rendszerint nemcsak egy, az erre a célra létrehozott műszaki kontingens felszerelését jelentheti.

Az európai biztonság utóbbi években bekövetkezett javulása ellenére a politikai környezetre jellemző, hogy a nagyméretű összecsapások helyett egyre jobban megnövekedett az etnikai és/vagy területi alapokra visszavezethető helyi háborúk valószínűsége. Az ilyen konfliktusok állandóan magukban hordozzák a kiszélesedés veszélyét, ezért a megelőzésük illetve lokalizálásuk jelenti a jelenkor legfőbb kihívását. A konfliktus-kezelésben a különböző nemzetközi szervezetek mellett a NATO is tevékeny részt vállalt és vállal a jövőben is. A békefenntartás és béketeremtés szerves része a háborús térség légterének felügyelete, a repülési korlátozások betartásának kikényszerítése. Erre a feladatra az első fázis szerint korszerűsített MiG-29-es már alkalmatlan, ezért az úgyne-

*A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEK LOGISZTIKAI RENDSZERE  
A NATO TAGSÁG TÜKRÉBEN*

vezett nem háborús jellegű katonai műveletek felvállalása érdekében a repülőgépen egy sor további modernizálás, átalakítás végrehajtása válik szükségessé.

Legfontosabb az aktív önvédelmi rendszer beépítése, emellett korszerűsíteni kell a rádió navigációs-, a precíziós leszállást biztosító-, illetve a tűzvezérlő és besugárzást jelző rendszereket valamint fontos lehet a hatótávolság növelése is. Ezekon túlmenően megfontolásra érdemes a levegő-föld adatvonal és a repülést tervező rendszerek beépítése. A második fázis eredménye egy a NATO országok légierijével teljes mértékig interoperabilis alapvetően vadász célú alkalmazásra specializált repülőgép, amely képes a szövetséges erőkkel együttműködni már nemcsak országhatáron belül, hanem azon kívül is.

A harmadik, az elérhető legfejlettebb modernizálási átalakítás során az egyfeladatú repülőgépből egy többcélú, a földi célok elleni precíziós csapásmérésre, illetve alapvetően a kétüléses repülőgépek vonatkozásában felderítésre is alkalmas harci repülőgép alakítható ki. Két alapvető és rendkívül költségigényes beruházást kell ebben a fázisban megvalósítani, az egyik: a tűzvezérlő lokátor cseréje, a másik pedig a megsemmisítő eszközpark kiváltása, megújítása. Ez utóbbi tulajdonképpen a modernizálási szándékunktól függetlenül is meg fog jelenni a második évezred első évtizedében, amikor a jelenleg rendelkezésünkre álló rakéták üzemideje a legtakarékosabb gazdálkodás ellenére is el fogja érni a felhasználhatósága végső határidejét.

A kérdés az, hogy megengedhető-e újabb orosz megsemmisítő eszközök beszerzése, vagy legalább rakéták tekintetében fel kívánjuk számolni az egyoldalú függőséget? Jelenleg nincs olyan korszerű, nyugati fegyverzetet, amely minden jelentősebb illesztés vagy fedélzeti átalakítás nélkül alkalmazható a MiG-29-es fedélzetéről, azonban nem zárható ki, hogy éppen az új NATO országok miatt a jövőben a piacon széles körben jelennek meg ilyenek. A perspektívikus üzemeltetés és felhasználás szempontjából optimális megoldást egy, a tűzvezérlő lokátorral kombinált átalakítás jelentené. E tételen belül azonban csak a lokátor költségei megközelítenék a 2 millió USD-t.

## **KARBANTARTÁS ÉS JAVÍTÁS**

Az előzőekben elemzett fázisok alapvetően alkalmazói oldalról kerültek bemutatásra. Ezen kívül a modernizálásnak ki kell terjednie a repülés biztonságát javító és a fenntartási költségeket csökkentő módosításokra is. Repülésbiztonsági szempontból egyik legfontosabb korszerűsítés az összeütközésre figyelmeztető fények beépítése, amellyel már jelenleg is késésben vagyunk. Ennek évek óta elhúzódó megvalósítása annál inkább



érthetetlen, mivel a velejáró munka nem követel elviselhetetlen anyagi ráfordításokat, illetve csapatszinten, minden különösebb felkészülés nélkül végrehajtható. Az összeütközés elleni fények mellett, éppen a géppár kötelék alkalmazás miatt felmerülhet a kötelékfény alkalmazásának szükségessége is. Az erre vonatkozó döntés a végrehajtások összehangolása miatt egyre sürgetőbb.

A korszerűsítés másik területe az üzembentartás hatékonyságának növelése, az élettartam költségek csökkentése. A repülőgép jelenleg hatályos naptári üzemidős előírások alapján az első ipari javításokat - a 9. év letelte miatt - 2002-ig be kellene fejezni. A 27 gépünk javítása 12 hónap alatt gyakorlatilag kivitelezhetetlen, mivel a gépenkénti javítási költség, 4 millió USD-nek megfelelő forintösszeg. Ennek egy költségvetési éven belüli előteremtése a nemzetgazdaság részére elviselhetetlen terhet jelentene, a probléma megoldására más módszert kell kidolgozni. A német légierő – orosz háttértámogatással - áttért a lépcsőzetes üzemidő hosszabbítás módszerére, mely során 200 óránkénti ellenőrzéssel ki tudják tolni az első ipari javítás végrehajtásának idejét 1500 reptől óráig. Adaptálva a német légierő részére kidolgozott módszert, a magyar gépek nagyjavítására is elég ha 2005-2006-ben kerül sor, amely időben nagyjából egybeesik a hagyományos karbantartási filozófia szerint végrehajtandó második nagyjavítás idejével.

Amennyiben csak az üzemidő hosszabbítások és a nagyjavítások költségeinek összevetésére szorítkozunk úgy megállapítható, hogy a gépenkénti, illetve alkalmankénti 600 000 USD-os üzemidő hosszabbítás és a 4 millió nagyjavítási ár különbsége közel 2 millió USD megtakarítást jelent egy gépre kivetítve. Azaz három év alatt, a teljes gépparkra számítva mintegy 54 millió USD-t lehet takarítani meg. Ez a jelenlegi 230 Ft/USD árfolyamot figyelembe véve 12 milliárd forintot jelent. Költségvetési szempontból vizsgálva szemléletesebb kép kapható ha a felhasználói oldalról optimalizáljuk a javítási ciklust. Ebben az esetben három év alatt végigfuttatva a teljes gépmennyiséget, a legfeszítettebb évben 8 repülőgép finanszírozását kell biztosítani. Ez a 4 millió dolláros javítási árat számítva 32 millió USD (7,3 milliárd forint) költségvetési támogatást igényelne, ellentétben az üzemidő hosszabbítás 1,1 milliárd forintos igényével.

Tekintettel a költségvetési realitásokra, a GDP várható növekedésére valamint a kormány NATO felé vállalt kötelezettségére, a honvédelmi költségvetés növekedése nagy valószínűséggel nem biztosítja az ipari javításokhoz szükséges összeget, amelyt természetesen kiegészítendő a repülőgép különböző szintű korszerűsítésének járulékos költségeivel is. Az előzőek alapján egyértelműen levonható következtetés, hogy a típus gazdaságos fenntartására csak az üzemidő hosszabbítás módszere ajánl reális perspektívát, amely folyamán a tervezett korszerűsítéseket a profilaktikus ellenőrzésekhez igazítva kell megvalósítani..

## ELLÁTÁS

Az üzemidő gazdálkodás mellett a repülőeszköz logisztika másik fontos területe a tartalék alkatrészekkel történő ellátás, a raktári készletgazdálkodás problémája. Sajnálatos módon e típusra jelenleg alkalmazott és a perspektívikus ellátási rendszer messze elmarad a korszerű struktúráktól. A korábban elemzett politikai környezet miatt a raktárkészlet minimalizálásra irányuló törekvés valószínűleg vágyálom marad, azaz fel kell készülni a készletek túlbiztosítására. A jelenlegi „béke” állapotban sem egyszerű feladat az üzemképesség fenntartásához szükséges anyagféleségek beszerzése. Ez egyrészt az orosz hadiipari komplexum évek óta húzódo válságára, másrészt a Magyar Honvédségnél meghonosított beszerzési gyakorlatra vezethető vissza.

Az orosz gazdasági összeomlás következményeit elsősorban a hadiipari vállalatok kénytelenek elviselni. Az exportlehetőségek beszűkülése, a hazai kereslet fizetéképtelensége együttesen a hadiipari üzemek bezárásához, a meglévő kapacitások visszafogásához vezettek, mely mellett a gazdaság nem volt képes a katonai termelést, sem finansiális, sem egyéb piaci eszközökkel polgári termékekre átállítani. A folyamat végeredménye, hogy a termelés szűkülése miatt a hidegháború során felhalmozott raktári készletek kiürültek és az anyagellátás orosz oldalról gyakorlatilag kiszámíthatatlanná vált, mely mellett a gyártó monopól helyzete tovább súlyosbítja a kialakult helyzetet. A többcsatornára való építkezést érdekében a piackutatást ki kellene szélesíteni az indiai piacra is, ahol a gép licence gyártása folyik.

Sajnálatos módon a hazánkban alkalmazott beszerzési módszerek, eljárások nem vesznek tudomást a fennálló helyzetről. Közbeszerzési eljárásokkal próbálunk megfelelni a törvényes előírásoknak, holott tudván tudjuk, hogy egy adott speciális termék szállítására jelenleg a világon csak egy vállalat képes. Mi az eredmény? Mondvacsinált közbeszerzési eljárások, kétes eredetű, származású, tulajdonú anyagok megjelenése és elhúzódó végrehajtás. A hatályos törvényi szabályozás sem segíti elő a probléma megoldását, mivel megtiltja a költségvetési szervezetek részéről előleg kifizetését. Ez patt helyzetet eredményez, mivel a gyártó cégnek nincs pénze alapanyagra, ezért nem képes a gyártás beindítására, a felhasználó pedig nem tudja hasznosan elkölteni az adott eszköz fenntartására szánt fedezetét. Kérdés csak az, hogy kinek jó ez?

Mindezek mellett felhasználói szempontból meglehetősen nehéz pozitívan értékelni a tárca beszerzésre szakosodott szervezetének tevékenységét.

Logisztikusi körökben az általánosan uralkodó vélemény szerint az erre a célra létrehozott hivatalnak nem célja a megrendelői igények minél gyorsabb és minél teljesebb kielégítése. A hivatalnál meghonosodott munkamódszer célja annak dokumentálása, hogy részükről mulasztás nem történt, a beszerzésre kísérletet tettek. Ezt a fajta, minden korszerű piackezelési módszert nélkülöző munkastílus kiválóan érvényesülhet, mivel az ellenőrzésre hivatott szervek által rendszeresen végrehajtott számonkérés és értékelés nem a tevékenység hatékonyságának értékelésére irányul, hanem a költségvetési pénzek felhasználásának tisztán bürokratikus ellenőrzésére. Ha a megrendelő részére a beszerzés teljes mértékben meghiúsult, de papíron dokumentálva van a beszerzésre tett kísérlet szabályszerűsége, a hivatal tevékenysége ez ellenőrzés szerint kiváló. Igaz a Magyar Honvédség nem tudja megoldani még azon a problémáit sem, amelyekre a szűkös anyagi lehetőségei mellett forrásokat különített el, ez azonban már a hivatal érdekszférán kívül esik.

Mi lenne a megoldás? A válasz nagyon egyszerű, ugyanis nem kell egyebet tenni, mint helyreállítani a logisztikai rendszer eredeti struktúráját, mely közismerten magában foglalja a műszaki fejlesztést, beszerzést, fenntartást, ellátást, szállítást és rendszerből történő kivonást. Csak a teljes logisztikai rendszerért viselt egyszemélyi felelősség képes visszaterelni a megfelelő mederbe az önálló életet élő szervezeteket és megteremteni az erővel és eszközökkel történő optimális gazdálkodás alapjait.

A MiG-29 logisztikai rendszerének, hatékonyságát az is számottevően befolyásolja, hogy hazánkban mindössze 27 gépet támogat. E géplétszámot a környező országoké sem haladja meg, ami felveti egy nemzetközi együttműködés létrehozásának szükségességét. A DASA német vállalat korábban törekedett és jelenleg is munkálkodik egy úgynevezett MiG-29 felhasználói klub létrehozásán, ami megfontolást érdemelne magyar koordinációval is. Erre több szempontból is alkalmasak vagyunk. Először is a kelet-európai térségben mi rendelkezünk a legnagyobb gépparkkal, továbbá az ország földrajzi elhelyezkedése egyaránt előnyös úgy a déli, mint az északi terület üzemeltetői számára. Emellett a típus rendszerben tartása - még kedvezőtlen hosszú távú döntés esetén is - jelentősen meghaladja a német alkalmazási terveket. Egy ilyen fegyverzet-partnerségi program lényegesen lecsökkenthetné a biztonságos üzemeltetés érdekében országonként felhalmozandó raktárkészleteket, megnövelné a tárolt berendezések mobilitását, valamint csökkentené az előírt hadrafoghatóság szint biztosításának költségigényét. A beszerzések volumenének nemzetközi összehangolása ugyanakkor kedvezően befolyásolná a szállítónál elérhető árakat. A program további előnye, hogy elősegítené a korábbi időkből megmaradt túlzott hadiipari kapacitások „áramvonalasítását” illetve azok hatékonyabb felhasználását.

## **HOGYAN TOVÁBB?**

Összegezve, a MiG-29 típusú repülőgép logisztikai rendszere jelenleg nem teszi lehetővé a NATO erővel történő zavartalan együttműködést, ezért haladéktalan döntéseket kell hozni a fejlesztési irányokról, a követendő üzemeltetési stratégiáról és az ellátási rendszer korszerűsítéséről. A hosszú távú alkalmazás jelentős kockázatot hordoz magában, azonban rövidtávon nincs egyéb alternatívája a hatékony légtérvédelemnek. Amennyiben a közeli jövőben „nyugati” típus kerül rendszeresítésre megfontolandó, hogy mi legyen a MiG-29 további sorsa. Az ország légtérének biztonságos védelmét 20-30 új, vagy használt „nyugati” repülőgép, tekintettel az oltalmazandó területre, már a földrajzi kiterjedés miatt sem képes hatékonyan megoldani. Egy ilyen szintre csökkentett harcászati repülőgép parkkal ugyanakkor csak nagy nehézségekkel biztosítható a NATO normáknak megfelelő kiképzés, mivel a készütségi illetve karbantartási igények miatt a folyamatos kiképzéshez rendelkezésre álló gépmennyiség csak 50-60% áll rendelkezésre.

Ezek után jogosan merül fel az a kérdés, hogy megengedhetjük-e magunknak a MiG-29-es park kivonását. Az a tény nem vitatható, hogy a MiG-29-es élettartam költségei jelentősen meghaladják a negyedik generációs „többcélú” vadászgépek hasonló gazdaságossági jellemzőit, azonban nem szabad elfelejteni, hogy ezek a költségek két részből állnak. Egy korszerű, új típusnál általában a költségek 50%-át a beszerzés, 50%-át a fenntartás teszi ki. A MiG-29-nél ez az arány valószínűleg 35-40% beszerzés, 60-65% fenntartás között mozog, azonban bármilyen gazdaságossági összevetésnél van egy tény, amit soha nem szabad figyelmen kívül hagyni, mégpedig hogy a MiG-29-es élettartam költségének beszerzési hányadát egyszer már kifizettük.

A MiG-29 típus további sorsára vonatkozó stratégiai döntés meghozatalának most jött el az ideje, az tovább súlyos, milliárdos negatív következmények nélkül nem halogathat. Egyöntetű elismerést váltana ki, nemcsak szakmai körökben, de széles társadalmi méretekben is, ha az erre a döntésre feljogosított személyek, intézmények és fórumok a politikai, a gazdaságossági környezet megfelelő elemzése alapján megtalálnák a megfelelő konszenzust és felvállalnák a döntés felelősségét.

*KESZTHELYI GYULA – DR. ÓVÁRI GYULA*



Vajon megéri a 75. évfordulót?

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

[1] KESZTHELYI GYULA: GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK REZGÉS-DIAGNOSZTIKÁJA, A XI. MAGYAR REOŰLÉSTUDOMÁNYI NAPOK KIADVÁNYA BUDAPEST 1996. P 31-42.

[2] MH LÉGIERŐ DOKTRINA TERVEZET (KÉLZIRAT)

[3] ÓVÁRI GYULA, DR.:KORSZERŰ HARCÁSZATI REPŰLŐGÉPEK MŰSZAKI ÜZEMELTETÉSÉNEK SAJÁTOSÁGAI ÉS GAZDASÁGOS-SÁGI-HATÉKONYSÁGI KÉRDÉSEI, „A HARCÁSZATI REPŰLŐK FEJLESZTÉSÉNEK SZÜKSÉGESSÉGE” C. MHTT KIADVÁNY, BUDAPEST 1998; P. 33-69.



# HELIKOPTER ROTOROK MŰKÖDÉSÉNEK INTEGRÁLT SZIMULÁCIÓJA

**Dr. (PhD) Gausz Tamás**  
**egyetemi docens**  
**Budapesti Műszaki Egyetem**  
**Közlekedésmérnöki Kar**  
**Repülőgépek és Hajók Tanszék**

A cikkben bemutatott előadás a helikopter rotorlapátok aerodinamikájával és dinamikájával foglalkozik, figyelembe véve az instacionárius viszonyokat és a rotorlapát rugalmasságát is. Az aerodinamikai számítások alapja a lapelem és az impulzus elmélet általános átáramlási irány esetére is érvényes egyesítése, az instacionárius hatásokat az ONERA féle szemi-empirikus modell segítségével vizsgáljuk.

A rotorlapátok csapkodó mozgását leíró differenciál-egyenletet a hajlító lengéseket leíró differenciál-egyenletekkel együtt oldjuk meg. A megoldás egy egyenesvonalú, egyenletes sebességű repülési állapotra érvényes, mivel a kezdeti feltételek nem ismertek, az általánosított egyensúlyi állapotot mint aszimptotikus megoldást kapjuk meg.

Az általánosított egyensúlyi állapothoz tartozóan kiszámítjuk az indukált sebesség eloszlást, a rotorlapátok csapkodó mozgását és a hajlító lengését és meghatározzuk a hajlító lengések okozta dinamikai terheléseket is.

## 1. BEVEZETÉS

Jelen cikkben a rotor és a rotorlapátok működését a helikopter egyenesvonalú, egyenletes sebességű repülése közben vizsgáljuk. Ennek oka az, hogy a számítási eljárás első felépítése és tesztelése így a legegyszerűbb. Egyébként a repülési állapot változtatása elvileg és gyakorlatilag nem lehetetlen, de ehhez ki kell dolgozni a részletesebb egyenleteket. A rotorerők felhasználása a teljes helikopter mozgásának vizsgálatához egyébként éppen az egyik lehetséges távlati célunk. Ebben a cikkben azonban megmaradunk a rotor és rotorlapátok vizsgálatánál; a cél egy olyan, integrált matematikai-fizikai modell kialakítása, amely alkalmas az általános (instacionárius) aerodinamikai hatások és a rotorlapát merev (csapkodó) valamint rugalmas (hajlító lengés) mozgásának együttes vizsgálatára. Ez azt jelenti, hogy a rotorlapátok merev és rugalmas mozgásával egyidejűleg meghatározzuk a rotoron keletkező légerő - és indukált sebesség eloszlást.

Mivel az erők (megoszló terhelések) meghatározzák a mozgást és másik oldalról a mozgás pedig meghatározó tényezője az erőknek - a merev és rugalmas mozgásokat és a kialakuló erőket együtt kell vizsgálni. A folyamat elemzése - természetesen - a rotorlapát irányításának figyelembe vételét is megköveteli.

A rotorlapátokon a gravitáció, a centrifugális erőter és a légerők miatt alakulnak ki megoszló terhelések. Az első két terhelés - a merev illetve a rugalmas testek mechanikájának alapján felírt differenciál egyenletek megoldásával határozható meg.

A légerők számítása az impulzus és lapelem elmélet egyesítése alapján lehetséges. Mivel azonban a rotorlapátok működésére jellemző a nagymérvű instacioneritás, a számításba be kell vonni egy, e jelenségcsoport vizsgálatára alkalmas eljárást. Az erre szolgáló eljárások közül az ONERA féle szemempirikus differenciál egyenletet választottuk - mivel ez számos, előnyös sajátossággal bír.

A rotorlapátok csapkodó mozgását a klasszikus, csapkodó mozgást leíró differenciál egyenlet alapján vizsgáljuk. A rugalmas (hajlító lengés) számítására az általános tömegek és általános erők segítségével levezetett differenciál egyenlet rendszert használjuk.

A rotorlapátok mozgásának irányítására a hagyományos, kollektív és ciklikus beállítási szög szabályozó tárcsa szolgál. E szerkezeti elem megfelelő működtetésével biztosítjuk, hogy a példaként vizsgált HUGHES MD 500 E típusú helikopter egyenes vonal mentén, egyenletes sebességgel, vízszintesen repüljön.

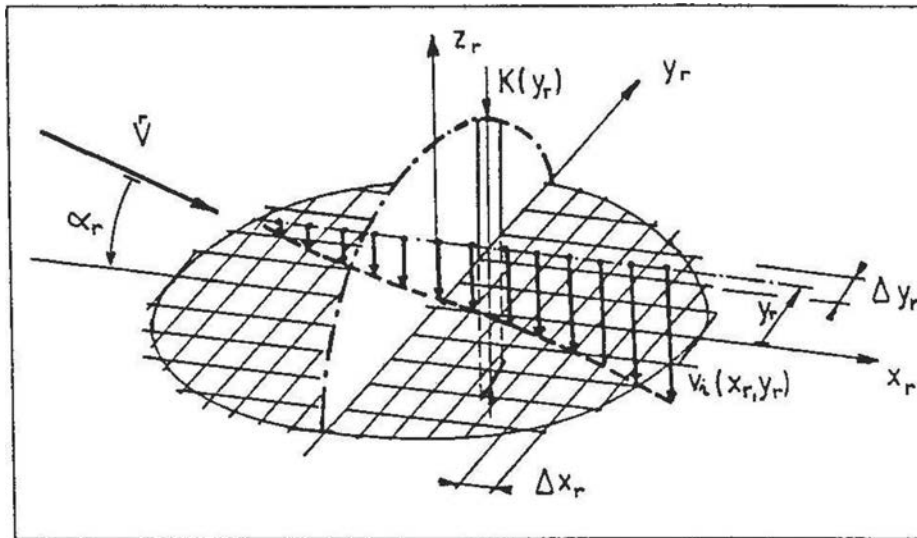
A fentiekben vázolt eljárást azért nevezzük integrált szimulációnak, mert az aerodinamikai, szerkezet-dinamikai és a vezérlő rendszer vizsgálata összevontan, azaz integráltan történik.

## 2. AZ IMPULZUS ELMÉLET

Az impulzus tételt helikopter rotorok működésének vizsgálatára Glauert alkalmazta először. Eszerint a helikopter rotor egy áramcsőben áramló levegő pályáját módosítja; az áramcső keresztmetszete éppen az áramlással szembe fordított rotor felület. E feltételezést egyébként más esetekben is alkalmazták - pl. kétfedelű repülőgépek esetén az alsó és a felső szárny működését is ilyen módon lehet közelíteni.

Az eredeti feltételezést a [8]-ban leírt, alkalmazott örvény elmélet segítségével pontosítottuk: meghatároztunk egy olyan függvényt {a függvény görbéjét a  $K(y, r)$  egyenlet adja meg}, amely függvény által meghatározott keresztmetszeten keresztülhaladó tömegáram azonos az eredeti tömegárammal,

függvény az 1. ábrán látható. A rotor körül kialakuló légáramlást szeletekre bontjuk, és e szeletkeben vizsgáljuk az indukált sebesség alakulását.



1. ábra  
Légáramlás a rotor felett

Az 1. ábrán is látható, hogy a rotor folyamatosan módosítja az áramlás irányát, azaz az indukált sebesség a "belépő él"-től folytonosan változik. A "belépő él" azért került idéző jelek közé, mert ez a rotor mint körszárny belépő élét jelenti (nem pedig a rotorlapátokét). Az ábra jelöléseivel írható, hogy az indukált sebesség a körszárny egyes szeletei mentén a következő módon változik:

$$v_i(x_r, y_r) = \int_{x''}^{x_r} \frac{P(x_r, y_r)}{2 \rho V_r K(y_r)} dx_r; \quad (1)$$

ahol, (a HUGHES MD500 E helikopter esetében):

$$K(y_r) = 3.3053 \left[ 1 - \left( \frac{y_r}{R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{12}}.$$





és a [9] - nek megfelelően:

$$\dot{\Theta} = \frac{\dot{P}}{f} + \dot{\beta}_1 \left[ \frac{r_0 - e}{f} \right] - \text{a rotorlapát profil}$$

szögsebessége;

$$\ddot{\Theta} = \frac{\ddot{P}}{f} + \ddot{\beta}_1 \left[ \frac{r_0 - e}{f} \right] - \text{a rotorlapát profil szöggyorsulása;}$$

továbbá:

$c_L$  - felhajtóerő tényező;

$\lambda = 0.25 - 0.15M^2$  (ONERA empirikus tényező);

$M$  - Mach szám;

$c$  - a profil húrhossza;

$s = \frac{180}{\pi^2} \left[ 0.08 (1 - M^2) \right]$  (ONERA empirikus tényező);

$\Theta$  - a rotorlapát metszet beállítási szöge;

$\sigma = \frac{180}{\pi^2} (0.105 + 0.1 \Delta c_L - 0.08M) - \lambda s$  (ONERA empirikus tényező);

$\Delta c_L = 0.12 \alpha - c_{L,stat}$  (az adott profilra érvényes ONERA tényező);

$x_1$  - rotorlapát hossza menti koordináta;

$\beta_1$  - a merev rotorlapát csapkodási szöge;

$r_0, e, f$  - a rotorlapát vezérlő rendszerének geometriai méretei.

A rotorlapát beállítási szög vezérlésének törvénye:

$$P = P_0 + P_1 \cos(\psi_r) + P_2 \sin(\psi_r);$$

$$\dot{P} = \Omega (-P_1 \sin(\psi_r) + P_2 \cos(\psi_r));$$

$$\ddot{P} = \Omega^2 (-P_1 \cos(\psi_r) - P_2 \sin(\psi_r));$$

ahol:

$P_0$  - a kollektív beállítási szöget jellemző paraméter;

$P_1$  és  $P_2$  - a ciklikus beállítási szöget jellemző paraméterek.

Megjegyzendő, hogy az ONERA modell tényezői a NACA 0012 profilra érvényesek, mivel azonban a különbség a 0012 és a 0015 profil között kicsi, használhatók a vizsgált rotorlapát esetén is.

A profil sebességeinek ismeretében az állásszög és így a felhajtóerő és az ellenállás tényező is számítható. Ebből pedig, a fent részletezett elsőrendű differenciál egyenlet segítségével a felhajtóerő tényező időfüggő értéke is meghatározható. A számításban a stacionárius érték és az idő szerinti változás összege adja a teljes felhajtóerő tényezőt. Ez a differenciál egyenlet szemi empirikus, mivel az egyes tagjai fizikai alapon nyugszanak, de a tagok együtthatói mérések eredményeként adódnak. Más modellekkel - különösen a frekvencia tartományban működőkkel - összehasonlítva ez a modell jól kezelhető és nem okoz problémát az eseteleges komplex számok fizikai értelmezése sem.

A klasszikus elméletek szerint célszerű vonóerő- és forgatással szembeni ellenállás tényezőt bevezetni:

$$c_T = c_L \cos(\beta_s) - c_D \sin(\beta_s); \quad (4)$$

$$c_Q = -c_L \sin(\beta_s) - c_D \cos(\beta_s). \quad (5)$$

E tényezők felhasználásával számítható a rotorlapát metszeten keletkező tangenciális és normális irányú erő összetevő.

#### 4. A MEGOSZLÓ TERHELÉS ÉS A CSAPKODÓ MOZGÁS

A megoszló terhelés eloszlása a rotor felett a következő:

$$\Delta T = \left(\frac{\rho}{2}\right) W^2 c_T c \Delta r; \quad (6)$$

ahol:

$$W = \sqrt{U_p^2 + U_t^2} - \text{a lapátmetszet eredő sebessége};$$

Az indukált sebesség eloszlásának számításában használt megoszló terhelés, a fenti erő ismeretében, a  $2\pi r \Delta r$  felületet véve figyelembe:

$$p(x_r, y_r) = \frac{\Delta T}{\Delta A} = \frac{\rho}{2} W^2 c_T \frac{z c}{2\pi r}; \quad (7)$$

A rotorlapátok csapkodó mozgását egyrészt a rotorlapátokon keletkező, megoszló légerő csapkodó csuklóra vett nyomatéka, másrészt a rotorlapátok beállítási szögét vezérlő szerkezet határozza meg. E vezérlő szerkezet - a kollektív és ciklikus beállítási szög vezérlő berendezés - működését leíró egyenletet ( $P = P(\psi_r)$ ) korábban már ismertettük. A csapkodó mozgás hatását a rotorlapát beállítási szögére a következő egyenlet írja le:

$$\Theta = \frac{P}{f} + \left( \frac{r_0 - e}{f} \right) \beta_l;$$

ahol is a jobboldal első tagja a tényleges vezérlés, a második tag pedig a csapkodás csillapítás. A rotorlapát csapkodási szöge a következő, másodrendű differenciál egyenletből számítható:

$$\beta_l'' + (1 + \varepsilon) \beta_l = \frac{M_{Ay} + x_s g m}{\Theta_y \Omega^2}; \quad (8)$$

ahol:

- $M_{Ay}$  - a légerők nyomatéka a csapkodó csuklóra;
- $x_s$  - a rotorlapát súlypontjának helye;
- $m$  - a rotorlapát tömege;
- $\Theta_y$  - a rotorlapát csapkodó csuklóra vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka;
- $\varepsilon = \frac{x_s m e}{\Theta_y}$  - a rotorlapát un. Lock száma.

Az eddig ismertettek alapján az indukált sebesség eloszlása és a rotorlapát csapkodó mozgása és rugalmas deformációja - figyelembe véve a vezérlést is - számítható.

## 5. A ROTORLAPÁT RUGALMASSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

A helikopter rotorok lapátjainak, működés közben igen jelentős rugalmas deformációi vannak. Alapvetően hajlító és csavaró deformáció jön létre - jelen munkában csak a hajlító deformációt vesszük figyelembe. Ennek oka a számítás viszonylagos egyszerűségén túl az, hogy a csavaró deformációra nincsenek

mérési adataink, így annak tulajdonságai (lengésképek és sajátkörfrekvenciák) csak viszonylag pontatlanul lennének megállapíthatók.

Egy hajlított tartó rugalmas deformációit az Euler-Bernoulli egyenlet alapján számíthatjuk:

$$\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} \left( IE \frac{\partial^2 z_1}{\partial x_1^2} - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( C \frac{\partial z_1}{\partial x_1} \right) \right) + \tilde{m} \frac{\partial^2 z_1}{\partial t^2} = p(x_1, t); \quad (9)$$

ahol:

$IE$  - a hajlító merevség - jelenleg a minimális hajlító merevség;

$C$  - az  $x_1$  lapát menti koordinátánál ható centrifugális erő;

$\tilde{m}$  - a rotorlapát tömegeloszlása;

$p$  - a rotorlapátra ható, megoszló légerő és súlyerő terhelés.

Ez egy negyedrendű, parciális differenciál egyenlet, melyet a sajátlengésképek alkalmazásával két, jóval egyszerűbb, közönséges differenciál egyenlet rendszerre választhatunk szét. A hajlító sajátkörfrekvenciákat és sajátlengésképeket a pont és szakasz-mátrixok módszerének segítségével számítottuk, illetve a centrifugális erő nélküli esetre rázóasztalon végzett mérés segítségével mértük is. A számításban az első és a második sajátlengésképet vesszük figyelembe. A sajátlengésképek ( $\eta_i$ ) és a hozzájuk tartozó sajátkörfrekvenciák ( $\omega_i$ ) felhasználásával írható:

$$M_i \ddot{\xi}_i + M_i \omega_i^2 \xi_i = Q_i; \quad (10)$$

ahol:

$$M_i = \int_0^R \tilde{m} \eta_i^2 dx_1; \quad \text{az } i\text{-edik általánosított tömeg;}$$

$$Q_i = \int_0^R p \eta_i dx_1; \quad \text{az } i\text{-edik általánosított erő.}$$

A hozzájuk tartozó sajátkörfrekvenciák, a rotor szögsebességével meghatározott formában:

$$\omega_1 = 3.04 \Omega; \quad \omega_2 = 7.11 \Omega.$$



A (10) egy közönséges differenciál egyenlet rendszer - a mi esetünkben ez éppen két differenciál egyenletet jelent - ezek megoldásaként adódik a  $(\xi_i(t))$  függvény, mely segítségével a rugalmas deformáció és annak sebessége is meghatározható:

$$z_e(t, x_i) = \sum_{i=1}^2 \xi_i(t) \eta_i(x_i);$$

$$\dot{z}_e(t, x_i) = \sum_{i=1}^2 \dot{\xi}_i(t) \eta_i(x_i).$$

Megjegyzendő, hogy a fentiek mellett a rotorlapát görbülete is meghatározható, ha a képletbe a sajátlengéskép második deriváltját helyettesítjük:

$$z_e''(t, x_i) = \sum_{i=1}^2 \xi_i(t) \eta_i''(x_i)$$

E görbület pedig - amely a hely és az idő függvénye - alkalmas a dinamikai terhelés számítására:

$$\sigma_{dn} = E z_e'' e$$

ahol:

$\sigma_{dn}$  - a dinamikai terhelésből származó hajlító feszültség;

$E$  - a rugalmassági modulusz;

$z_e''$  - a rotorlapát görbülete;

$e$  - a szélső szál távolsága.

Ez az egyenlet a Hooke törvény szerint azt mondja ki, hogy a feszültség a deformáció és a rugalmassági modulusz szorzataként számítható - lineáris esetben. A dinamikai terhelés számítása és vizsgálata egy viszonylag új szemléletmódot jelent: a hagyományos számításokban a feszültséget pl. a fenti esetben a nyomaték és a keresztmetszeti tényező hányadosa adná; a dinamikai terhelés ezzel szemben a tényleges deformációból származó feszültséget adja meg.

A dinamikai terhelés természetesen jóval közelebb van a valóságos igénybevételekhez és ráadásul a dinamikus tényezők miatti esetleges biztonsági tényező rész is csökkenthető vagy elhagyható.

## 6. A PÉLDASZÁMÍTÁS ÁTTEKINTŐ LEÍRÁSA

A numerikus példát a HUGHES MD 500E helikopter fő rotorjára dolgoztuk ki, mivel e típusra rendelkezünk egy teljesnek tekinthető adat-rendszerrel ([7]). A számítás konkrét elvégzése érdekében számítógépi programot dolgoztunk ki.

A program először a geometriai, aerodinamikai és egyéb adatokat olvassa be. A második lépésben Glauert elméletét felhasználva a közepes indukált sebességet számítjuk ki.

Ezután a program egy körülfordulásra numerikusan integrálja a csapkodó mozgás és a rugalmas mozgások differenciál egyenleteit. A számításban a légerőket az ONERA modell segítségével határozzuk meg. Ez a számolás a lapátokkal kapcsolatos, polár koordináta rendszerben történik. A számolásból a rotor feletti megoszló terhelés is következik.

A megoszló terhelés ismeretében számítható az indukált sebesség eloszlás, Descartes féle derékszögű koordináta rendszerben. E számolás eredményeként a teljes rotorra vonatkozó vízszintes, az oldal és a vonóerő továbbá az orsózó nyomaték is kiadódik. A rotor vezérlő rendszerét úgy kell működtetni ( $P_0, P_1, P_2$  választása), hogy az aszimptotikus megoldásként kapott rotor-jellemzők megfeleljenek az egyenesvonalú, egyenletes sebességű, vízszintes repülés feltételének.

Az aszimptotikus megoldást a rotorlapátok mintegy 10-15 fordulat után érik el. Ezután már elvileg tovább vezethető a helikopter, mivel a megoldástól indulva már fizikailag megfelelő esetek következnek.

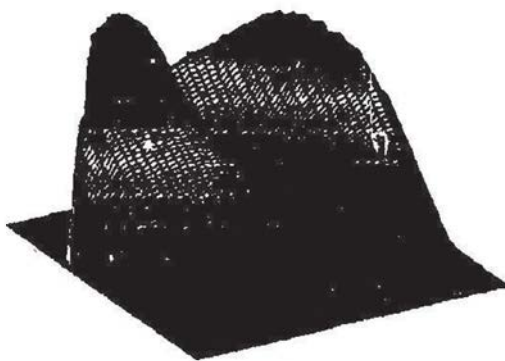
A számítás eredménye - jelenleg - az indukált sebesség eloszlás, a rotorlapátok csapkodó és rugalmas mozgása és a dinamikai terhelés.

## 7. A SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEI

A példaszámításban a repülési sebesség 70 csomó (~130 km/h) volt, mivel ez az egyik leggyakrabban használt utazó sebesség. A számított indukált sebesség eloszlás a 3. ábrán látható.

Ez az eloszlás valamelyes hasonlóságot mutat a Glauert féle "háromszög" indukált sebesség eloszláshoz, de létezik számos különbség is. Az előrehaladó oldalon, a laposabb, egyenletesebb - a hátrahaladó oldalon viszont csúcsosabb az indukált sebesség eloszlás. Ez következik a két oldal működési viszonyainak különbözőségéből, miközben a jobb és bal oldalon keletkező orsózó nyomaték megfelelően kicsit különbözik csak egymástól. Jól megfigyelhető a rotoragy környékén az indukált sebesség növekedésének szünetelése és a megfelelő régióban a csökkenése is.

A 3. ábrán az instacionárius hatásokat figyelembe vevő, rugalmas rotorlapát feltételezésével számított indukált sebesség eloszlás látható. Az indukált sebesség ugyan lefele irányul, de a jobb láthatóság kedvéért felfele irányítottan ábrázoltuk.



3. ábra  
Indukált sebesség eloszlás

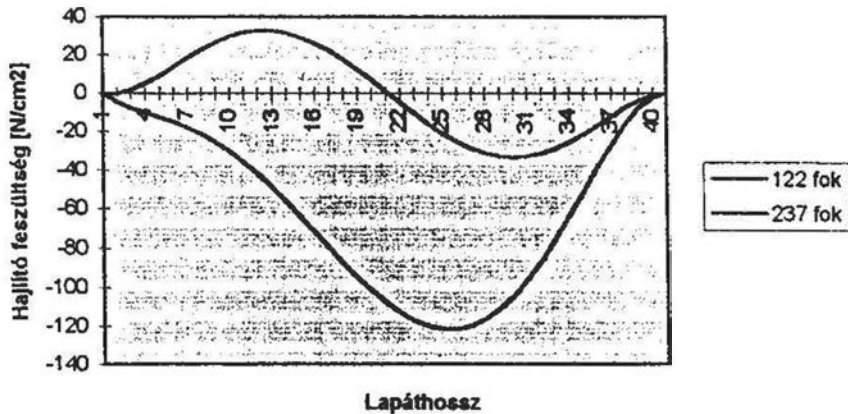
Kiszámítottuk ugyan a merev rotorlapát és a stacionárius légerőtenyezők alapján is az indukált sebességmezőt - ez azonban a fentitől olyan mértékben különbözik csak, ami az ilyen típusú ábrákon nem látható - lényegében a rugalmasság és az instacioneritás hatása helyileg nem nagy, jelentős viszont az egész rotorra nézve.

Az egész rotoron keletkező erőkről megállapítható, hogy a "T" vonóerő alig változik, az instacioneritás és a rugalmasság is csak viszonylag kis részt képvisel benne. Ezzel szemben a vízszintes erő ("H") értéke viszonylag nagy mértékben változik az instacioneritással és kevésbé a rugalmasság miatt.

Az indukált sebességek eloszlásánál már említettük, hogy a különbség az alapeset és az instacionárius valamint a rugalmas eset között helyileg nem túl jelentős. Ez látható a lapát menti terhelés-eloszlások vizsgálatából is, összehasonlítva a merev és stacionárius esetben számított megoszló terhelést az instacioner és a rugalmas eset terheléseivel, megállapítható, hogy az instacioneritás hatása általában a rotorlapát mentén végig megjelenik, a rugalmasság azonban csak a külső lapátrészeken jelent eltérő terhelést, ezek az eltérések azonban általában 10%-on belül maradnak.



A lapátmenti dinamikai terhelés eloszlás - két azimut szögnél - látható az 5. ábrán (a felső görbe a 122 fokos, az alsó a 237 fokos azimut szöghöz tartozik):



5. ábra  
Rotorlapát dinamikai terhelése

A rotorlapát rugalmassága viszonylag jelentősen befolyásolja a rotorlapátvégek pályáját: az általunk vizsgált repülési esetben a merev lapátvégehez képest mintegy 100 mm-rel lejjebb illetve feljebb fut rugalmas lapát vége. Igen érdekes az a tény is (ezt pl. a [7]-ben foglalt mérések is megmutatják), hogy a rotorlapátok görbületi sugara általában a rotorlapátok alatt helyezkedik el - a rotorlapátokra ható centrifugális erő jóval nagyobb, mint a felhajtó erő - így a lapátok felülről domború alakot mutatnak. Ez mindig igaz a külső lapátrégióra és csak korlátozottan nem igaz a belső részekre.

## 8. KÖVETKEZTETÉSEK

A számítást elvégeztük mind dupla, mind kiterjesztett pontosságú számokkal. A számítási eredmények között a különbség nem volt jelentős, mindössze 4-6%. Mindazonáltal, tekintve, hogy egyes hatások (pl. a vízszintes erő-összetevő) kis változásokra is érzékenyek, javasolható a lehető legpontosabb számolás. Mindezzel együtt a dolgozat eredményei és a [7]-ben közölt eredmények közötti különbség elegendően kicsinek mondhatók.

Mind a rugalmasság, mind az instacioneritás helyileg viszonylag kis hatásokat ad, jelentőssé ezen hatások összegzett (integrált) eredője válik. Érdekes 30 rotorlapátvég pálya viszonylag erős módosulása.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Dat, R.:** Development of Basic Methods needed to Predict Helicopter Aeroelastic Behaviour; *Vertica*, Vol. 8. No. 2. pp. 209-228, 1984
- [2] **Bramwell, A. R. S.:** *Helicopter Dynamics*; Edward Arnold Ltd. London
- [3] **Bergh, H.-Wekken, A.J.P.:** Comparaison between Measured and Calculated Stall-Flutter Behaviour of a One-Bladed Model Rotor *Verica*, Vol. 11. No. 3. pp. 447-456, 1987
- [4] **Stepniewsky, W.Z.:** *Rotary-Wing Aerodynamics* Dover Publications, New York, 1979
- [5] **Etkin, B.:** *Flugmechanik und Flugregelung*; Berliner Union, Stuttgart
- [6] **Dommasch, D.O.:** *Elements of Propeller and Helicopter Aerodynamics* Pittman and Sons, London, 1960
- [7] **Öry, H.-Lindert, H.W.:** Calculation of Rotor Blade Air Loads from Measured Structural Response Data *Zeitschrift für Flugwissenschaften*, Vol. 17. No. 4. pp 225-234
- [8] **Gausz, T.:** Szármetszet, szárny és légsavár vizsgálata *Repülőgépek és Hajók Tanszék Közleményei*, Budapest, 1995
- [9] **Gausz, T.:** *Helikopterek*; BME Mémöktovábbképző Intézet, Budapest
- [10] **Gausz, T.:** Helikopter rotorok aerodinamikája és dinamikája XI. Magyar Repüléstudományi Napok, 1996 pp. 73-81
- [11] **Gausz, T.:** Helicopter Rotor Aerodynamics and Dynamics 5th Mini Conf. on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Nov. 11-13. 1996
- [12] **Gausz, T.:** The Effect of Rotor Blade Elasticity on the Rotor Dynamics First Int. Conference on Unconventional Flight Budapest, Oct. 13-15. 1997.

## ABSTRACT

The present method deals with rotor dynamics and aerodynamics including the bending deformation of the rotor blades. The combined blade element and momentum theory and the ONERA semi empirical model were applied in the aerodynamic calculations. The unsteady aerodynamic effects can be calculated by using of the ONERA model. The equation of the flapping motion was solved together with the equations of the bending motion. The generalised equilibrium path of the rotor blades was approximated with an asymptotic solution.



**„A” SZEKCIÓ  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK I.**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. GEDEON JÓZSEF**

**TÁRSELNÖK: BOTTYÁN ZSOLT**





## **A CFIT típusú repülőgép-katasztrófák túlélési arányának alakulása néhány földrajzi paraméter függvényében**

Bottyán Zsolt egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem VSZTK  
Természettudományi Tanszék

*A CFIT ( Controlled Flight Into Terrain ) repülőgép-katasztrófák közös tulajdonsága, hogy rendkívül kicsi a repülőgépen utazók túlélési esélye. Ennek oka, hogy a tragédiát megelőzően műszaki hiba nem fordul elő, így teljesen váratlanul történik a tereptárggyal való ütközés. Tanulmányunkban az elmúlt 11 év polgári repülésében történt ilyen típusú eseményeket vizsgáltuk néhány geográfiai aspektusból.*

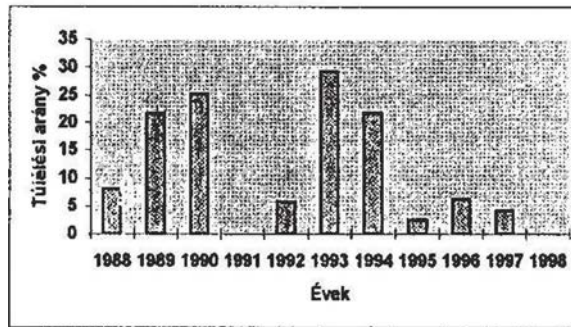
### **Bevezetés**

A repülésben bekövetkezett katasztrófák vizsgálati eredményeit tanulmányozva megállapítható, hogy a fedélzeten utazók életben maradási esélye – bár sok más tényező is befolyásolja alakulását – jelentősen növekszik, ha a személyzet a kialakult vészhelyzetet időben felismeri és megteszi a kellő lépéseket az utasok illetve a gép megmentése érdekében. Van azonban a repülőgép-katasztrófáknak egy olyan speciális osztálya, amelynél – szinte minden esetben – lehetetlen a preventív műveletek végrehajtása, következésképpen alacsony a túlélés esélye. A magas halálozási arány miatt az utóbbi években kiemelt szerepet kapott tanulmányozásuk.

Ezen katasztrófákat minden esetben valamilyen tereptárggyal való ütközés idézi elő oly módon, hogy a repülőgépen nem fordult elő műszaki hiba, markáns időjárási jelenség sem zavarta a repülést (pl. zivatar, extrém szélviszonyok, jegesedés stb.) és a repülőgép a baleset bekövetkeztéig a személyzet kontrollja alatt állt. Éppen ezért nevezik ezeket az ütközéses

baleseteket CFIT ( Controlled Flight Into Terrain, kormányzott repüléssel való tereptárgynak ütközés ) típusú katasztrófáknak.

Az igen alacsony túlélési arányszám (1.ábra ) egyrészt, az ütközés pillanatában a repülőgép óriási mozgási energiájának, másrészt, a tereptárgy észrevételétől az ütközésig eltelt igen rövid időnek – a legtöbb esetben néhány másodperc –tulajdonítható, melynek során már nincs lehetőség a kitérő manőver végrehajtására.



1.ábra A CFIT katasztrófák túlélési arányának alakulása

Annak illusztrálására, hogy a CFIT típusú balesetek tetemes részét jelentik az összes bekövetkezett katasztrófáknak, bemutatjuk az elmúlt 12 évben CFIT balesetben elhunytak számának alakulását, összehasonlítva az összes katasztrófákban történt halálozási értékekkel. ( 2. ábra )



2. ábra Összes áldozatok száma és a CFIT katasztrófák áldozatai

Miután a CFIT katasztrófák bekövetkezésében jelentős szerepe van a domborzatnak és a vizuális észlelést korlátozó időjárási tényezőknek, ( természetesen a humán faktor mellett ) tanulmányunkban megvizsgáltuk ezen katasztrófák globális eloszlásának alakulását és kapcsolatát a relieffel, valamint regionális sajátosságokra mutatunk rá. Minden esetben reflektorfénybe állítjuk a túlélési arány alakulását.

## **Adatbázis**

Munkánk során az elmúlt 11 évben, a polgári repülés során bekövetkezett CFIT katasztrófák adataira támaszkodtunk. Történt ez azért, mert 1988-tól kezdve állnak rendelkezésre megbízható globális adatok. A vizsgálatunkhoz felhasznált adatokat két nemzetközileg elismert szakirodalomból származtattuk:

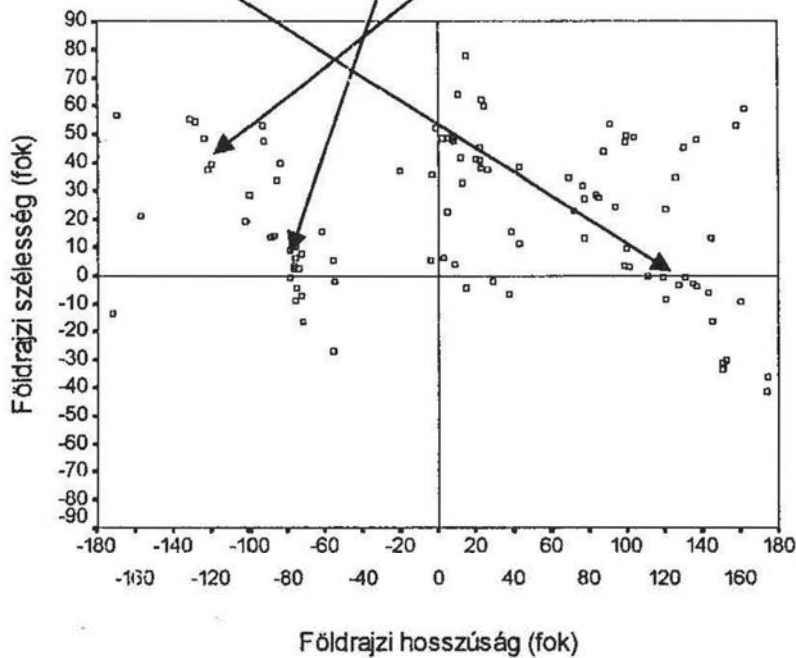
- egyrészt a Flight International c. szaklap Airline Safety Review évente megjelenő, az előző évi polgári repülőgép-katasztrófákról szóló, összefoglaló jelentéséből [1] – [12]
- másrészt a Flight Safety Digest CFIT katasztrófák vizsgálatával foglalkozó különszámából. [13]

E két forrás alapján a mi adatbázisunkba 134 CFIT katasztrófa adatai kerültek az 1988 és 1998 közötti időszakból. Az adatok nem minden esetben teljesekek, így a különféle vizsgálatok esetén a mintában szereplő esetek számát jelezzük.

## **CFIT balesetek földgömbi eloszlásának jellemzői**

A CFIT katasztrófák földrajzi elhelyezkedésének vizsgálatához először elkészítettük a jelzett időszak 103 bekövetkezett eseményének térképes ábrázolását ( 3. ábra ), melyből azonnal latható, hogy az ilyen típusú balesetek

rendkívül kötődnek a szárazföldek hegységeihez, a partvonalakhoz és a szigetvilágokhoz. Ebből mindenképpen következik, hogy a tereptárgynak ütközés jelensége a hirtelen reliefváltozással szoros kapcsolatban áll.

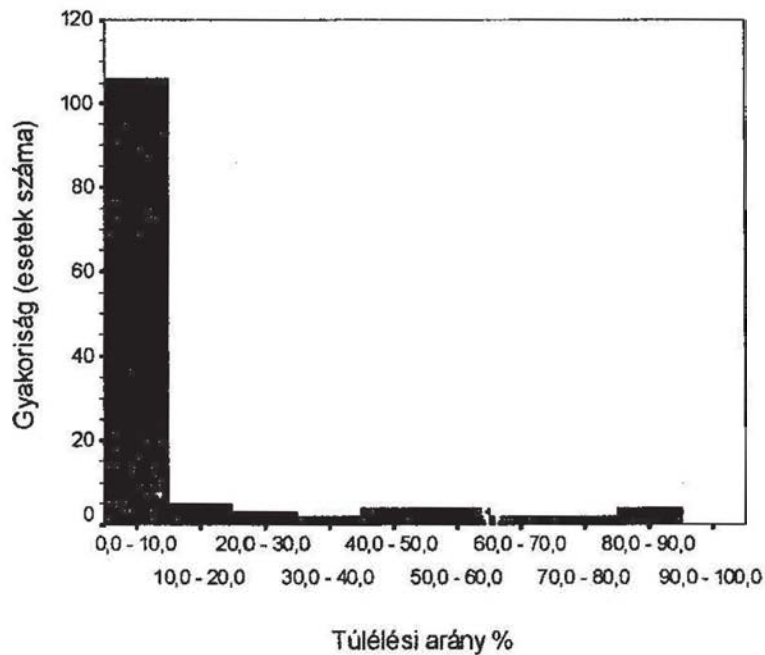


3. Ábra CFIT katasztrófák helyei 1988 és 1998 között a világon

Az ábrán a nyilak az Andok hegységet, Észak-Amerika tagolt partvonalát és az Indonéz szigetvilágot jelölik. Meg kell ugyanakkor jegyeznünk, hogy az északi hemiszféra dominanciája a balesetek gyakoriságában nem csak a szárazföldi területek nagyobb arányával magyarázható, hanem az ebből fakadó jóval nagyobb repülőgépes forgalommal is.

A globális vizsgálathoz elkészítettük a túlélési arány hisztogramját 132 esemény adatai alapján. ( 4. Ábra ) Jól látható, hogy az összes katasztrófa több, mint 80%-nál a túlélési arány kisebb mint 10%! Ez a tény azt jelenti, hogy a CFIT katasztrófák valóban az egyik LEGVESZÉLYESEBB csoportját alkotják a légi baleseteknek.

*A CFIT TÍPUSÚ REPÜLŐGÉP-KATASZTRÓFÁK TÚLÉLÉSI ARÁNYÁNAK ALAKULÁSA NÉHÁNY  
FÖLDRAJZI PARAMÉTER FÜGGVÉNYÉBEN*



4. ábra CFIT balesetek gyakorisága a túlélési arány függvényében

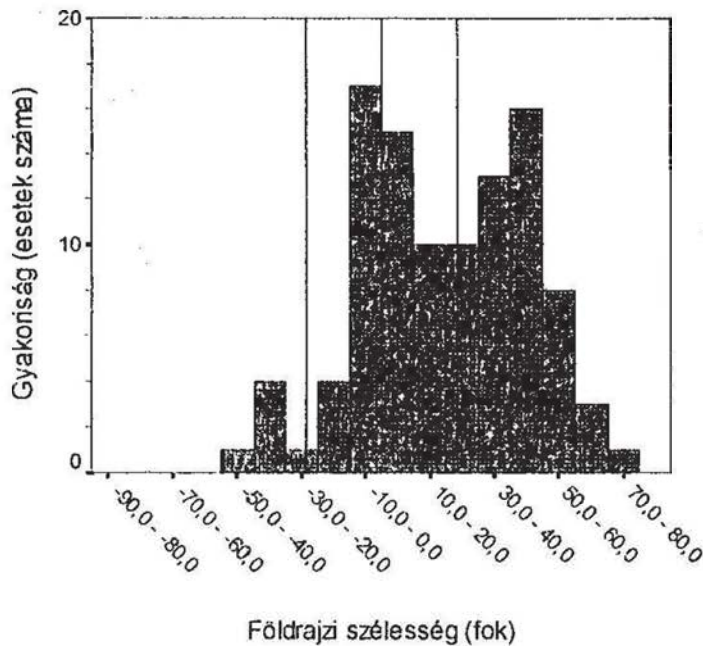
Ha a földrajzi szélesség függvényében vizsgáljuk a CFIT balesetek gyakoriságát (5. ábra), akkor két zónát tudunk megjelölni, mint gyakori baleseti területet. A legtöbb katasztrófa az Egyenlítő körüli trópusi gömbömben történt, de alig kevesebb CFIT eseményt regisztráltunk az északi közepes szélességi zónában.

Az egyenlítői területeknél a szárazföldek aránya (20–25%) ugyan kisebb, mint az északi magasabb szélességeken (45-60%), de itt gyakoriak a rendkívül tagolt szigetek (Pl. Indonéz szigetvilág), ebben a gömbömben húzódik az Andok hegység kiugróan magas relatív szintkülönbséget okozó vonulata és jelentős tényező - nem utolsósorban - a trópusi területek magas nedvességtartalma, ami a vizuális tájékozódást nehezíti.[14]

Az északi közepes szélességeken megjelenő kiugróan magas gyakoriság a szárazföldek tengerekhez viszonyított magas arányával – így a domborzati változékonysággal – magyarázható. Ebben az övben fekszik jórészt az Eurázsiai hegységrendszer, valamint a Pacifikus térség észak-déli irányú



vonulatai is. (Az átlagos tengerszint feletti magasság 350 és 600 méter között van.) [14] A két pólus felé a gyakoriság értéke csökken, hiszen ezeken a területeken a repülőjáratok száma lényegesen kevesebb már.



5. ábra. CFIT balesetek eloszlása földrajzi szélességenként

Azoknak a régióknak a kijelöléséhez, ahol gyakoriak a CFIT típusú katasztrófák, felhasználtuk még a földrajzi hosszúság szerinti gyakorisági eloszlást is. (6. ábra). Világosan elkülöníthető négy terület, melyeknél az előfordulási valószínűség magasabb az átlagosnál. (Az ábrán jelezve.) Kiugróan magas az ANDOK VONULATÁNÁL a CFIT balesetek gyakorisága, ami azt jelzi, hogy a tengerpart-szárazföld határon emelkedő, nagy relatív magasságnövekedésű hegységek jelentik az első számú veszélyt ezeknél a katasztrófáknál.

Az EURÓPAI-AFRIKAI RÉGIÓ esetében a parttagoltság és a hegységek jelentik a fő veszélyforrást.

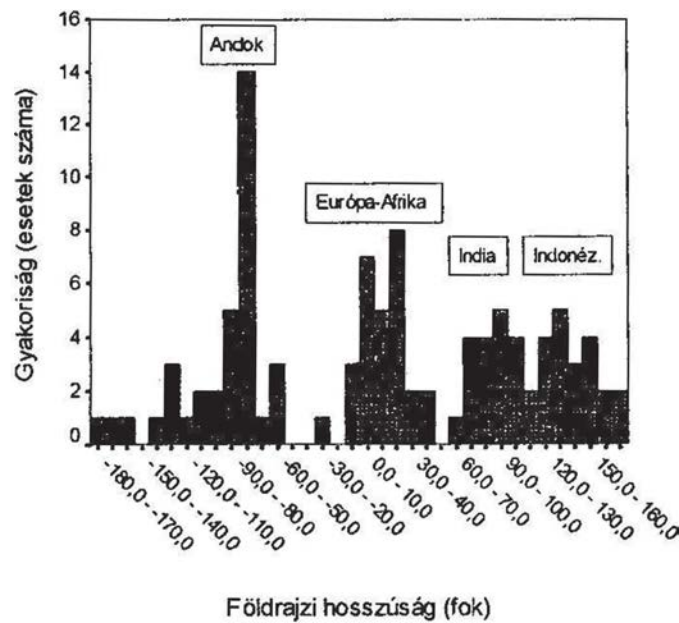
Az INDIA-HIMALÁJA RÉGIÓ esetén egyértelműen a Himalája gerince felelős a CFIT balesetek többségéért (természetesen nagy relatív szintkülönbségekkel és



*A CFIT TÍPUSÚ REPÜLŐGÉP-KATASZTRÓFÁK TÚLÉLÉSI ARÁNYÁNAK ALAKULÁSA NÉHÁNY FÖLDRAJZI PARAMÉTER FÜGGVÉNYÉBEN*

a medencejelleggel pl Belső Ázsia), de a monszun-hatásról sem szabad megfeledkeznünk.

Az INDONÉZ SZIGETVILÁG esetén az alacsony átlagmagasság ellenére magas CFIT baleset gyakoriság a magas nedvességtartalom és a szigetek tengerből való hirtelen kiemelkedésének számlájára írható (nagy relatív szintkülönbségek).[14]



6. ábra. CFIT balesetek eloszlása földrajzi hosszúságonként

### A túlélési arány alakulása régiónként

A globális vizsgálatok után elvégeztük a katasztrófák ICAO területek (l. táblázat) szerinti vizsgálatát is. [15] Összesen 131 esetet megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy a LEGKEDVEZŐBB TÚLÉLÉSI RÁTÁT AZ AFRIKAI TERÜLET mutatja. A LEGKISEBB ESÉLY A TÚLÉLÉSRE KÖZÉP- ÉS DÉL-AMERIKA FELETT VAN, amit a korábban leírtak mellett még az is ront, hogy az esetleges túlélők felkutatása és mentése is rendkívül nehéz és hosszadalmas

folyamat, sokszor extrém időjárási körülmények között.(Nagyon nagy napi hőmérsékleti ingás, ritka levegő, gyakori hóviharak)

ICAO Régió	CFIT esetszám	Áldozatok száma	Túlélési arány%	Utasok száma
UC(USA-Kanada)	13	283	8,4	309
SA(Dél-Amerika)	23	1102	5,5	1166
ME(Közép-Kelet)	2	140	13,0	161
IN(India)	7	597	9,2	658
EU(Európa)	20	777	8,6	850
CA(Közép-Amerika)	12	144	5,3	152
AP(Ázsia-Pacikus)	40	1121	13,7	1299
AF(Afrika)	14	319	36,2	500

I.táblázat. Túlélési arány ICAO régióként

A táblázat adatai arra is rámutatnak, hogy az IN és az SA régió magas halálozási száma relatíve alacsony esetszámmal mutatkozik, ami azt jelenti, hogy itt gyakoriak a nagyméretű utasszállító gépek CFIT katasztrófái. Ennek magyarázata részben az, hogy ezeken a területeken a hegységek magassága eléri és meghaladja a 6000 métert és ez a magasság már a nagyméretű utasszállító gépeknek is potenciális veszélyt jelent nemcsak közvetlen le- és felszálláskor.

A CFIT balesetek szempontjából kritikus helyek megjelöléséhez a már korábban jelzett négy terület pontosabb behatárolását is elkészítettük.

Az ANDOK RÉGIÓ: 70-80 fok Ny hosszúság, 30 fok D szélesség - 20 fok É szélesség.

Az EURÓPA-AFRIKA RÉGIÓ: 10 fok Ny hosszúság-40 fok K hosszúság, 30-60 fok É szélesség.

Az INDIA-HIMALÁJA RÉGIÓ: 70-110 K hosszúság, 10-40 fok É szélesség.

Az INDONÉZ SZIGETVILÁG RÉGIÓ: 90-150 K hosszúság, 10 fok D szélesség-10 fok É szélesség.

Az így kapott konkrét földrajzi helyeken bekövetkezett CFIT balesetek adatait a II. táblázat tartalmazza. Kiderült, hogy a túlélés esélye még a legkedvezőbb esetben(Európa) is alig haladja meg a 25%-ot, ugyanakkor az ANDOK ÉS AZ INDONÉZ SZIGETEK VIDÉKÉN SZINTE TÚLÉLHETETLEN A CFIT KATASZTRÓFA! A két teljesen eltérő domborzatú terület adataiból az is

*A CFIT TÍPUSÚ REPÜLŐGÉP-KATASZTRÓFÁK TÚLÉLÉSI ARÁNYÁNAK ALAKULÁSA NÉHÁNY  
FÖLDRAJZI PARAMÉTER FÜGGÉNYÉBEN*

kiolvasható, hogy az alacsonyabb magasságú ázsiai területen inkább kisebb vagy közepes méretű, míg a dél-amerikai régióban inkább nagyobb testű repülőgépek szenvedtek katasztrófát.

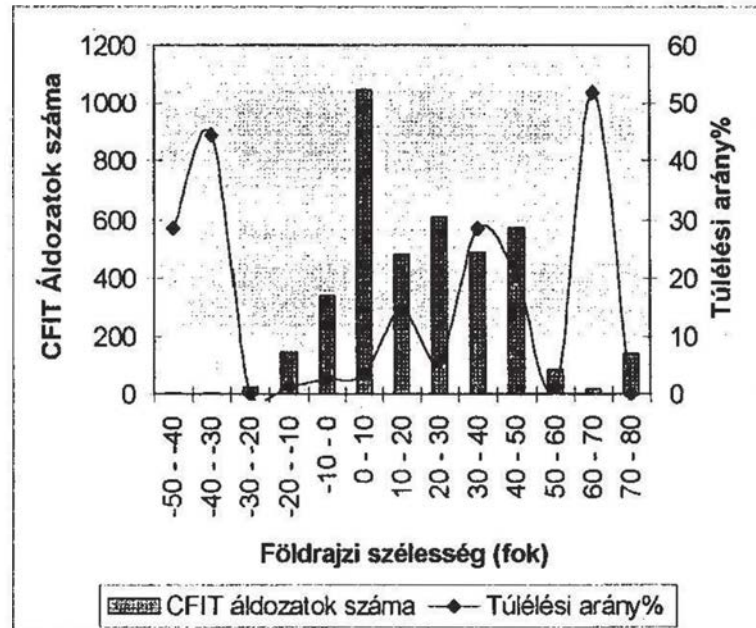
Ennek magyarázata az, hogy az indonéz területen jórészt alacsonyan repülő, regionális járatokat ért szerencsétlenség. (Ezeknek a felszereltsége sokszor nem kielégítő, így IFR repülés mellett nem tudnak a leselkedő veszélyről, ugyanakkor repülési magasságuk közel van a domborzatéhoz. Ehhez járul még az időjárás gyors napon belüli változása is!) Ezzel ellentétben az Andok magas vonulatai már a nagyméretű gépekre is veszélyes lehetnek, csakúgy, mint a Himalája, ahol szinte csak ilyen gépet ért CFIT katasztrófa.

Régió	Esetszám	Áldozatok	Utasszám	Túl. Arány%	Áld./Eset
Indonéz sz	12	469	477	1,7	39
India-Him.	8	597	658	9,3	75
Europa	13	491	656	25,2	38
Andok	13	772	781	1,2	59

II.táblázat. CFIT balesetek leggyakoribb területei a Földön

Utolsó lépésként megvizsgáltuk a túlélési arány és a halálos áldozatok számának alakulását földrajzi szélességek vonatkozásában is.(7. ábra)

Elmondhatjuk, hogy az alacsony szélességeken magas halálozási szám mellett alacsony a túlélés lehetősége, ami azt jelenti, hogy a trópusi területeken közlekedő repülőgépekre leselkedik a legnagyobb veszély CFIT katasztrófa szempontjából. Ugyanakkor a magasabb szélességeken a túlélhetőség nagyobb, kisebb halálozási mutató mellett. Ennek az is oka lehet, hogy a magasabb szélességeken közlekedő utasszállító repülőgépek nagyobb méretűknél fogva jobban felszereltek műszaki szempontból(GPWS) és személyzetük is képzettebb, továbbá ezen területen fekvő országokban a repülésbiztonságra jobban ügyelnek, mint a szegényebb trópusi országokban.



7. ábra. CFIT katasztrófák túlélési arányai és a földrajzi szélesség kapcsolata

## Összefoglalás

A CFIT típusú katasztrófák közös sajátossága a csekély túlélési valószínűség. Az elmúlt 11 év adatait vizsgálva kiderült, hogy a Földön a trópusi területeken, illetve az északi félgömb közepes szélességein a leggyakoribbak ezek a balesetek.

Globálisan elmondható, hogy elsősorban a jelentős magasság-változásokkal terhelt térszíneken gyakoriak az ütközések, így pl. tagolt partvonalakon, szigetcsoportoknál, fiatal magashegységek gerinceinél.

*A CFIT TÍPUSÚ REPÜLŐGÉP-KATASZTRÓFÁK TULÉLÉSI ARÁNYÁNAK ALAKULÁSA NÉHÁNY FÖLDRAJZI PARAMÉTER FÜGGVÉNYÉBEN*

A globális baleseti eloszlásból meghatározható négy régió, melyben az átlagosnál gyakoribb a katasztrófák száma és ezek közül az ALACSONY SZÉLESSÉGEKEN ELHELYEZKEDŐK KIUGRÓAN KICSI (2% ALATT) túlélési mutatóval rendelkeznek.

Ebben szerepet játszik a domborzat szélsőséges változékonysága, a látástávolságot befolyásoló időjárási paraméterek hirtelen megváltozása és az ottani repülőgéppark műszaki állapota, illetve üzemeltetési módja is.

A relief viszonyok ismeretében elmondható, hogy a magashegységek esetén inkább a nagyméretű, máshol pedig a kis és közepes méretű repülőgépek szenvedtek balesetet.

## **Felhasznált irodalom**

- [1] David Learmount: Commercial Flight Safety Flight International 1988. 30. January 35-39.
- [2] David Learmount Commercial Flight Safety Flight International 1989. 21. January 49-57
- [3] David Learmount Commercial Flight Safety Flight International 1990. 23. January 39-47
- [4] David Learmount World Airline Safety Flight International 1991. 22. January 32-38.
- [5] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1992. 04. February 20-26
- [6] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1993. 02. February 27-34
- [7] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1994. 25. January 42-48
- [8] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1995. 24. January 33-42
- [9] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1996. 23. January 20-26
- [10] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1997. 21. January 31-38
- [11] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1998. 21. January 35-46

[12] David Learmount Airline Safety Review Flight International 1999. 19. January 26-35

[13] An analysis of Controlled Flight Into Terrain (CFIT) Accidents of Commercial Operators 1988 through 1994. Flight Safety Digest Special Issue April – May 1996.

[14] Péczely György: A Föld éghajlata. Tankönyvkiadó Budapest 1986.

[15] US and Canada Had Disproportionately Low Number of Commercial Jet Transport Accidents in 1995. Flight Safety Digest November 1996. 7-10.

*The CFIT accidents have a common property: the survival rate of passengers is extremely low in this case. The low survival rate is due to absolutely unexpected airplane – terrain impact. In our study we examined such accidents in the civil aviation of the last 11 years with special regard to geographical aspects.*



## **AZ ALACSONYSZINTŰ “ORKÁNCSATORNA”, MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES IDŐJÁRÁSI TÉNYEZŐ. EGY REPÜLŐGÉPKATASZTRÓFA LEHETSÉGES MAGYARÁZATA.**

**Bottyán Zsolt adjunktus**  
**ZMNE VSzTK Természettudományi Tanszék**  
**Sárközi Szilárd**  
**Ferihegy Repülőtér, Repülésmeteorológiai Szolgálat**

*Az 1997 április 6-i Cessna F-150L típ. kisgépnél a Szegedhez közeli Deszk mellett kb. 10<sup>h</sup>LT-kor bekövetkezett halálos kimenetelű és gépmegsemmisüléssel járt katasztrófája a médiákban is nagy figyelmet keltett. A súlyos baleset bekövetkezéséért a hivatalos vélemények szerint több repülési szabály áthágása miatt egyértelműen a pilóta tehető felelőssé; mi az időjárási helyzet részletesebb rekonstrukciója alapján ezen felül gyanítjuk, hogy konkrétan magát az átesést egy ún. alacsonyszintű jet érkezésével járó, hirtelen viharos fokozatú hátszellőkés okozta. Véleményünk szerint a repülőesemények ilyen jellegű feldolgozása hasznos tanulságokkal szolgálhat a hajazók és repüléstan számára.*

### **EGY FONTOS LÉGKÖRI TULAJDONSÁG**

Légkörünk – s ez áll bármely, hidrodinamikai jellemzőkkel bíró közegre – legcsodálatosabb tulajdonsága, hogy egyszerűbb kényszer- és peremfeltételek esetén is összetettebb (ezért sokszor aztán kaotikusnak mutatkozó, “turbulens”), de szabályos struktúrákat alakít ki; s ezek továbbá a *fraktálönhasonlóságot* mutatják: azaz egy nagyságrendi lépcsővel lejjebb a *struktúra finomszerkezetében* is hasonló alaktani jegyeket ismerünk fel, mint magában a struktúrában – le egészen kvázi-tetszőleges szintig. Az időjárási örvényekben, áramlási csatornában ez több nagyságrendi lépcsőn keresztül is megfigyelhető (Fujita[3]). Ezért a *légköri változások, határok* – kiváltképp ha azok markánsak – sokszor nemcsak nagyléptékből, hanem *kisléptékben szemlélve is hirtelenszerűek ill. élesek.*

A repülésmeteorológiában különösen a 40–4km- (szakszóhasználatnál az ún. MEZO(-β)) és 4km–400m-es (az ún. MIZO(-α)) méretskáláknak nagy a jelentősége, ui. ebbe esnek az ember- ill. műtárgyleptékre közvetlen hatást gyakorló (azaz a ténylegesen “megélhető”), s így károkozó veszélyforrásként szóba jöhető jelenségek. Ez a nagyságrend azonban már többnyire *átelik*, ill. csak kivételes ritkasággal jelenik meg a *hazai operatív mérőrendszer* alkotta *hálózat*on, ezért kvázi-szinguláris mennyiségi jellemzőikről egy-egy ilyen esettanulmányon keresztül szerezhetünk csak tudomást.

A *szélmező tekintetében* (nem foglalkozva most a nem kevésbé fontosabb zivatartevékenység okozta szélvihar-formákkal) jelen gondolatmenetben az ún. “*jetesedési*” *hajlamról beszélhetünk*. Kontinentális léptékben ez a nagygépes repülésben ismeretes: a közepes földrajzi szélességeken meghatározó nyugati szelek energiájának nagy része a tropopauza és a frontfelület hegyesszögű összefutása mentén meanderező felsőléggkőri orkáncsatornában (JET-ben) koncentrálódik. A szélmaximum tengelye markánsan elkülönül, s különösen a csatorna déli széle éles: itt a legerősebb a szélnyírás, s éles az esetleges kísérő cirrus-felhőzet határa. Sajnos hazánkban – meg az operatív meteorológiai gyakorlatban is (!) – kevésbé ismert, hogy az alsóléggkőri intenzív légbetörések is ilyen struktúrákat formáznak, csak itt az áramlási csatorna két nagyságrenddel keskenyebb, s a szélesebbég általában kb. a harmada-fele. Ezeket a mezo-léptékű alacsonyszintű (LOW LEVEL) JET-eket magyarul – tulajdonságait tekintve – helyesebben

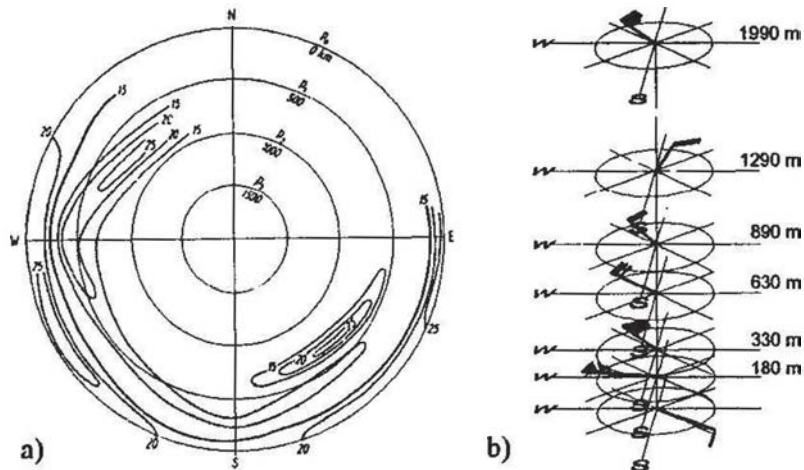
## 1. A VIHAROS EREJŰ SZÉLCSATORNA

névvel illelhetjük.

Leggyakrabban anticiklonok peremén, ill. ezen belül is azok előrenyomulási helyén, ún. ORRaiban fordulnak elő. E nagy területre kiterjedő, annak belső nagyobbik részében nyugodt légtömegeknek ui. – a felületen szétterülő folyadékhoz hasonlóan – a szélén nagyok a gradiensek (pl. sűrűiek az izobárok), s a benne kifelé és lefelé áramló levegő a középpontjától számított kb. 1000km-es távolságban folytonos felszínközeli szélszalagként (az É-i féltéken az óramutató járásával megegyező irányban) körbefújja az anticiklon területét. (ld 1.a ábrát) Ennek mezoléptékű áramlási tengelyei az alacsonyszintű jet-ek. Definíció szerint a *2000m alatti légrétegben észlelt 5m/s-nál erősebb kvázi-stacionér szélmaximumok, mely függőleges profiljában 600m-es szintnövekményen belül a szélesebbég ismét legalább a felére csökken*. Magja leggyakrabban 300-

AZ ALACSONYSZINTŰ "ORKÁNCSATORNA", MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES ...

600m közé esik, a szélmaximum erős vagy viharos fokozatú (12-17, 18-24m/s), de elérheti akár a 30m/s-ot is, s a szélnyírás értékei azonosak ill. olykor meg is haladhatják (pl. 5m/s /100m) a tropopauza orkáncsatornáéit (!). (Bodolai-Jakus[2]) Egy ilyen jellegzetes példa látható rá az 1.b ábrán: kevesebb, mint 200m-rel a felszín felett a mérsékelt talajmenti szél csaknem ellenkező irányba fordult és orkán erejűre fokozódott, majd a 250m vastag szélmaximum feletti 300m-en belül kevesebb mint felére csökkent vissza.



1.ábra:

- a) Szélerősség eloszlása anticiklonokban a középpontjához rögzített, s méretéhez arányított polárkoordináta-rendszerben készített izotacha-analízis alapján szegedi adatokból (Bodolai-Jakus [2] nyomán)
- b) Tipikus függőleges szélvektor-profil viharos erősségű szélcsatornában (1997 IV.04. 00 UTC-s szegedi rádiószonda mérésből)

Veszélye nem is elsősorban a benne uralkodó szél erősségéből, hanem egyrészt éles elkülönüléséből adódik: *magjába kerülve veszélyes nyírással hirtelen*, s – mivel viszonylagos kis méretéből adódóan ez a környező állomások méréseiben általában nem jelenik meg – egyben *váratlanul* még erős fokozatú szélben is *duplájára erősödhet a szél*.

Ilyen viharos erejű szélcsatornák Magyarországon legnagyobb valószínűséggel márciusban és októberben, azaz az átmeneti évszakok nagy időjárási átrendeződéseiben fordulnak elő. (Bodolai-Jakus[1]) Az éjszakai stabilitás – mellyel a talajmenti szél legyengülése és gyakran 90°-ot meghaladó balra fordulása jár – tovább élesíti azoknak alsó határfelületét (az 1.b ábra is



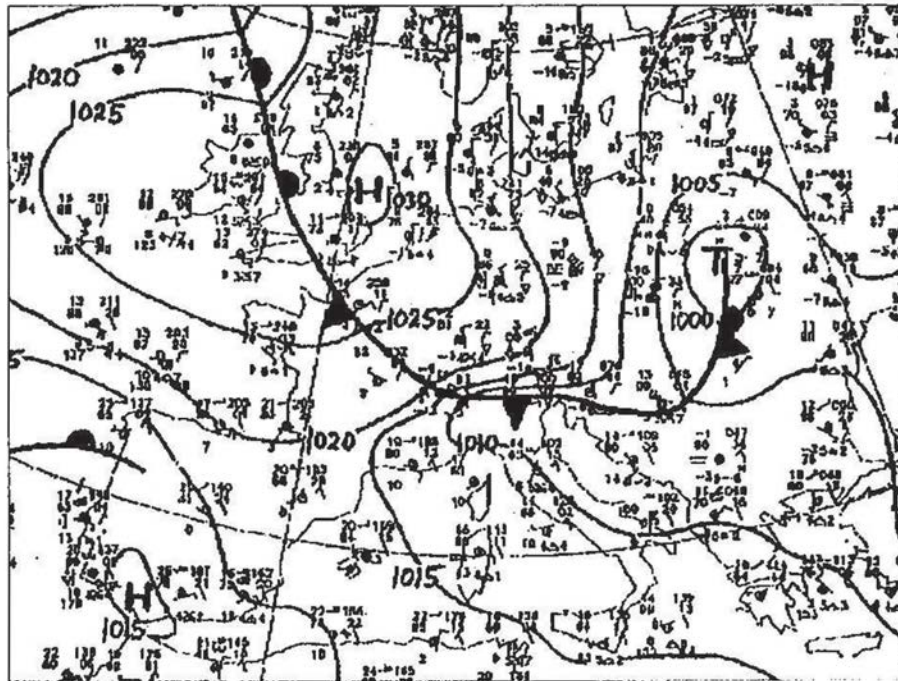
éjféli mérést mutat). A Kárpát-medence nevezetes szelei közül (pl. Kossava, Nemere) sok tkp. alacsonyszintű jet.

## 2. AZ IDŐPONT SZINOPTIKUS REKONSTRUKCIÓJA

### 2.1. Az időjárási helyzet és a Kárpát-medence hatása

1997 április 6-án délelőtt egy rendkívül *markáns, gyors hidegfront* vonult át Közép-Európán, s *hátoldalán rögtön* – azzal tkp. teljesen együtt – *anticiklonális orrosodás* következett. (2.ábra) A front 00UTC-kor még a Németalföld D-i szélén járt, de 06UTC-re már belépett a Kisalföldre, s nyomában az alsó 1km-es légrétegben viharos fokozatú átlagszéllel hideg, szárazabb levegő tört be a Kárpát-medencébe.

Nagyon fontos – eddig hazánkban még le nem írt – mezo-meteorológiai hatás, hogy a medencét körbefogó hegyvonulat ilyenkor feltartja, érkezése felől



2.ábra: 1997 IV. 06. 12 UTC-re készített európai felszíni izobár- és frontanalízis (a Deutscher Wetterdienst operatív produktuma nyomán)

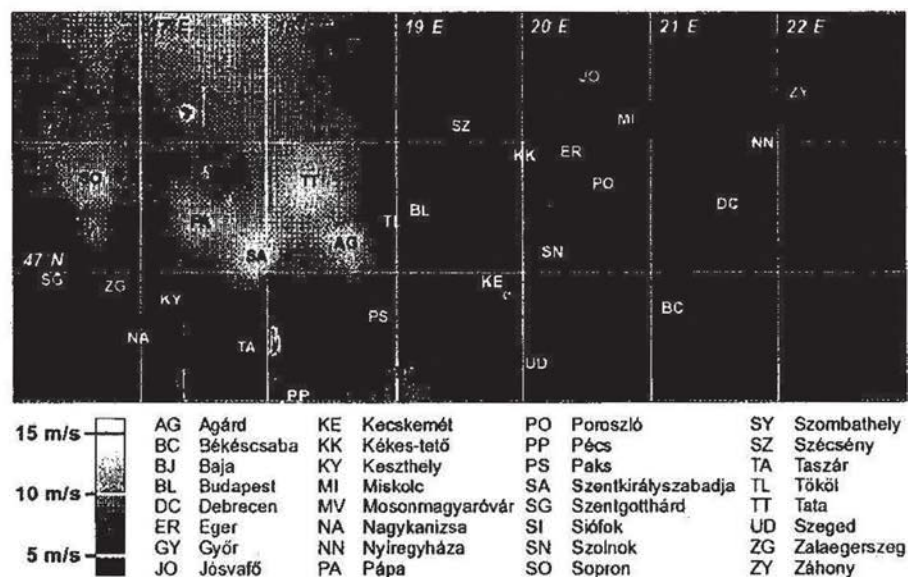
gerincével párhuzamosan elfekteti a fronthatást ill. orrosodást (az izobárok mintegy felfeküdnek a hegyvonulatra): jelen esetben az ÉNy-i-Kárpátok és a K-i-Alpok ívének ez – itt átmeneti – hatását még utólagosan is jól őrzi a szinoptikus analízis képe. Ám ez az effektus nem feltétlen veszi el a légáramlat mechanikai energiáját, sőt: a légtömeg a hegyvonulatnak mintegy *nekifeszülve* helyzeti energiaként akkumulálja mozgási energiáját, s – ha az utánpótlás nem szűnik meg – előbb-utóbb *egy hágóján átbukva* a felhalmozódásánál ráadásul rövidebb idő alatt realizálja azt, még *intenzívebbé* fokozva ezzel a *légbetörést*. A hágó forma ráadásul egy keskeny csatornát "vág ki" a légtömeg nélküle valószínűleg homogénebb betódulásából, ezzel *mezo-léptékben* is *elősegíti az áramlás jet-esedését*, s végül a hágó lejtő-oldalán levő völgy még fel is gyorsítja azt. Tehát a felfekvés átmeneti stagnálása után a szélárnyékban levő medencébe hirtelen egy alacsonyszintű jet süvit be.

Az 1.a ábra DK-i szektorának maximuma pontosan az ÉNy-Ny felől nyomuló anticiklonális orroknak a Dévénynéi történő ilyen betöréséről szól. (Hasonló, de még erősebb a Kelet-Európai-síkság Ny felé terjeszkedő anticiklonjainak kárpátaljai vagy vereckei betörése – ez előbbi volt, hogy Szabolcsban súlyos épületkárokkal járt (!).)

## 2.1. A magyarországi szélmező elemzése

céljából a hazai felszíni szinoptikus mérőállomások óránkénti tízperces szélátlagjaiból elkészítettük annak izotacha-analíziseit (3., 4.ábrák). Jól látható, hogy az ÉNy felől benyúló viharos fokozattal szeles terület 10LT-kor már a Bakonyt is átlépte (3.ábra). Az alacsonyszintű légbetörést igazolandó láthatjuk, hogy Kékes-tetőn végig mérsékelt maradt a szél, jóllehet ilyen szituációban nincs a Kárpátok szélárnyékában. A 2.1.-ben vázolt mechanizmust megfigyelhetjük a Dunántúli-középhegység viszonylatában is: ilyen szélirányban a Séd völgye (Bakony) és a Móri-árok a két fő átkelőhely (Szentkirályszabadján ill. Agárdon erősebb is a szél, mint a "szélnek kitett" Pápán ill. Tatán), valamint a *medence* ilyen *belső felszínformái* szintén *generálnak ill. továbbvezetik* a már kialakult *szélcsatornákat*. (Ugyanakkor pl. Paks látványosan a Tolnai-hegyhát szélárnyékában van.)

A vélelmezett jet-tengely rekonstrukciója végett a 11LT-s szélerősség mező deriváltját is elkészítettük (4.ábra fent). Tekintettel a jet-formák 0.pont alatt állított jellegzetességeire (nevezetesen, hogy szélük a legélesebb), ennek alapján rajzoltuk be – az ICAO SIGWX meteorológiai térképmodelljével analóg módon – a tengelyét, melynek mentén a széllesek viharos, csaknem



3.ábra: 10 LT-re vonatkozó felszíni tízperces átlagszél erősség magyarországi izotacha-analízise a szinoptikus mérőállomások adatai alapján

orkán fokozatúak (4.ábra lent). Tehát a kérdéses időpontban a jet már elkezdett kifújni a Torontál felé. A szél erősségeknek a tengelymenti relatív csökkenése ez irányban az Alföldre való kitéréssel járó divergencia természetes velejárója – a szellőkések azért még ott is viharos fokozatúak.

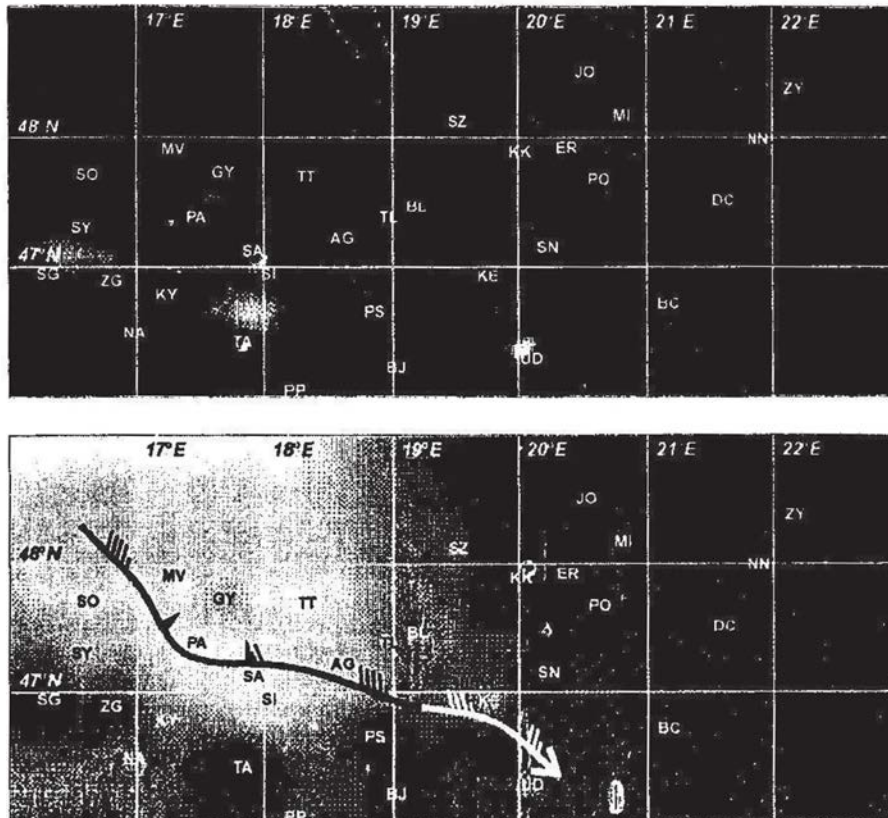
Sajnos a baleset környékére és időpontjára reprezentatív, a szélcsatornát – az 1.b ábrához hasonlóan – mutató függélyes profil nem áll rendelkezésre, ui. ennek felállításához szükséges (meteorológiai rádiószonda) mérést országosan csak Budapesten 00 és 12UTC-kor, Szegeden pedig csak 00UTC-kor végeznek mindössze (!) -- tehát ez a jet teljesen átesett ezek tér- és időbeli hálóján. (Ugyanakkor felhívjuk a figyelmet, hogy az 1.b ábrán mutatott szélprofil 2 nappal előtte hasonló szituációban mérte a szegedi rádiószonda.)

(Fontosnak érezzük itt megemlíteni, hogy a 3.-4. ábrákon jelölt állomások több mint harmadán hagyományosan naponta négyszer végeztek pilot-ballonos alacsonyszintű függélyes szélprofil mérést, de ezt az Országos Meteorológiai Szolgálat a 90-es években teljesen megszüntette (!). Az alacsonyszintű jet-eket hazánkban utoljára a 70-es években (!) kutatták (Bodolai–Jakus [1]-[2]) – azóta adatok hiányában ez csak ilyen repülőesemény-vizsgálatokra korlátozódhat.)



## AZ ALACSONYSZINTŰ "ORKÁNCSATORNA", MINT REPÜLÉSRE VESZÉLYES ...

A jet-maggal előrefutó szélmaximum így szingulárisává vált értékét csak találgatni lehet...



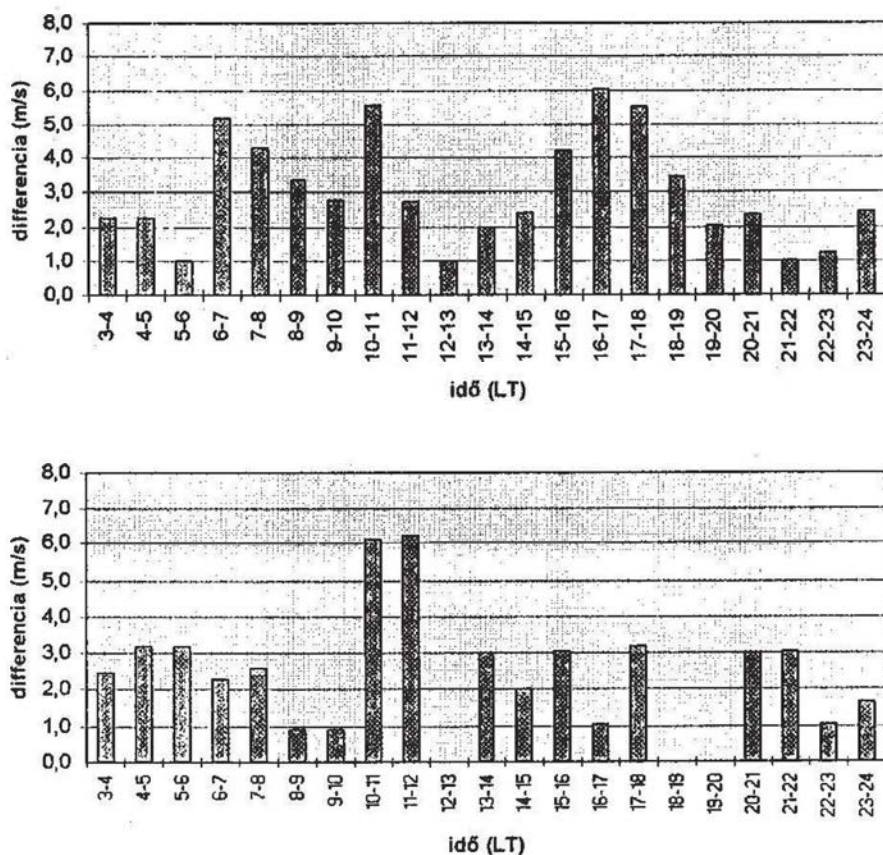
4.ábra: (lent) 11 LT-re készített izotacha-analízis, bejelölve a feltételezett áramlási tengelyt, rajta szélzászlóval az annak mentén mért szélhőkéseket); (fent) ugyanennek gradiens mezeje

### 3. A KATSZTRÓFÁT MEGELŐZŐ PILLANATOK A SZÉLVISZONYOK TÜKRÉBEN

A szélviszonyok elemzése után nézzük meg, hogy mi is történt a jelzett napon. Délelőtt 10 LT előtt néhány perccel szállt fel a Cessna 150-es a szegedi repülőtérrel két fő utassal a fedélzetén, majd Szeged felé elrepültek. Hozzávetőlegesen 15-20 perc repülés után – melynek pontos lefolyásáról

(tekintettel, hogy a teljes hivatalos vizsgálati anyag nyilvánosan nem hozzáférhető) nincs megbízható információnk – Deszk határában szinte függőleges helyzetben a földnek ütköztek. Az ütközés során mindketten életüket veszítették, a gép pedig összetört.

A repülőgép lezuhanás utáni helyzetéből arra kell következtetnünk, hogy a katasztrófát valószínűleg kis magasságban történt aerodinamikai átesés okozta, ami után a légi jármű függőlegesen a földre csapódott. *Az átesést, a felhajtóerőt létrehozó szárnyfelületről való áramlásleválás okozza, ami kialakulhat a kritikus állásszög elérése esetén, de akkor is ha, a levegő áramlási sebessége – más okból – a géphez viszonyítva hirtelen lecsökken.* Tekintve, hogy a felhajtóerő



5.ábra: a szélvektorok óránkénti differenciáinak abszolút értékei Sopronra (fent) és Szegedre (lent)

nagysága - egyéb paraméterek mellett - a levegő repülőgéphez viszonyított sebességétől négyzetesen függ, nyilvánvaló, hogy *jelentős szélsébség-változás ÖNMAGÁBAN előidézhetsé* az átesést.

Az izotacha-analízisen felül az állomások konkrét széladatai is mutatják a szélvektor kiugró megváltozásának és a lezuhanás egyidejűségét (ld 5.ábra): a soproni adaton jól látszik a jet 06LT utáni megjelenése, mely Szeged térségébe pont 10LT után még markánsabban érkezett meg – tekintve a soproni állomás szelének az Alpokalja hatása miatt egyébként is nagyobb a fluktuációja. Számszerint Szegeden a 09<sup>35</sup>-09<sup>45</sup>LT között mért 5m/s-os átlagszelet 10<sup>15</sup>-10<sup>30</sup>LT között egy 13m/s-os szélökés követte. Mindezek gyakorlatilag a jet megérkezésével azonosíthatók.

Tehát a szélviszonyok balesetben játszott szerepét egyértelműen bizonyítani nincs módunkban, ugyanis a katasztrófát több, a pilóta által elkövetett szabálytalanság már magában hordozta, de részletesen ismerve az adott időpontban fennálló időjárás helyzetét kijelenthetjük, hogy magát az átesést az alacsonyszintű jet megjelenésével járó hirtelen hátszélökés váltotta ki, mely az alacsony magasságon relative kis sebességgel haladó gépnél kivédhetetlennek bizonyult. A katasztrófa szűkebb környezetének terepviszonyai, nevezetesen a széliránnyal tkp. párhuzamos közeli Maros-gát és az e mentén telepített jegenyesor mizo-léptékben is áramlási csatornát formázására hajlamosak, ami még erősíthette a jet-hatást.

#### 4. ZÁRSZÓ

Jelen esettanulmányoknak a hajózóknak címzett tanulsága, hogy az erős szélben való repülés magán a szél értékén, lökésességén és az ezekkel járó turbulencián felül az ilyen viharos erejű csatornák megjelenésével további veszélyeket is "rejt" (szó szerint!) magában.

Ezek konkrét, s számszerű előrejelzése – lévén az aktuális adatokban is ritkán érhetők tetten – a mai állomáshálózat mellett gyakorlatilag lehetetlen. Ugyanakkor az "időjelzők" számára tanulságul szolgálhat, hogy bizonyos nagyobb léptékű időjárás helyzetekhez kapcsolva kialakulásuk, s ezzel szinguláris szélmaximumok kialakulása mégis valószínűsíthető.

- [1] BODOLAI István – JAKUS Emma: Alacsonyszintű jet-ek a Kárpát-medencében; *Időjárás*, Országos Meteorológiai Szolgálat, 1971, 75.évf., 158-170.o.
- [2] BODOLAI István – JAKUS Emma: Alacsonyszintű jet-ek anticiklonokban; *Időjárás*, Országos Meteorológiai Szolgálat, 1975, 79.évf., 5-15.o.

- [3] FUJITA T. T.: Mesoscale Classifications (Chap. 2); *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, ed. Ray P. S., American Meteorological Society, Boston, 1986, 18-35.o.

**THE LOW LEVEL JET AS A HAZARDOUS  
PHENOMENA TO AVIATION.  
A POSSIBLE EXPLANATION OF AN ACCIDENT.**

*An accident of a Cessna F-150L on 06/04/97 resulted death of the two passengers and destruction of the airplane had paid a big attention to the media. By the official statements the pilot was involved in this severity of the accident with hurting more flight rules. On the base of a more detailed analysis of the weather situation we think that the stall of the airplane itself was caused by a strong tailwind gust of an arriving low level jet. On our opinion these kind of reconstructions can serve with useful conclusions both for pilots and meteorologists.*

**„B” SZEKCIÓ  
INTERDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK I.**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. SZILÁGYI TIVADAR**

**TÁRSELNÖK: DR. POKORÁDI LÁSZLÓ**





# KOCKÁZATKEZELÉS A REPÜLÉSBEN

**Dr. Pokorádi László<sup>†</sup>**  
**egyetemi docens**  
**ZMNE, VSzTK**  
**Haditechnikai tanszék**

*Napjainkban az Amerikai Egyesült Államok Légierőjénél (USAF) és Haditengerészeténél (US Navy) egyre szélesebb körben alkalmazzák a Operational Risk Management-et (műveleti kockázatkezelést). Jelen tanulmány célja a műveleti kockázatkezelés módszerének és alapjainak bemutatása, illetve a bemutatáson túl, annak felmérése, hogy a műveleti kockázatkezelés miként építhető be a mai, és a jövő évezred katonai repüléstudományába hadtudományba.*

## 1. BEVEZETÉS

A jövő század szakembere — MICHELBERGER tanár úr megfogalmazásában a *homo ethicus* [3] — számára a döntéshozatalhoz szüksége lesz - többek között - a morális megfontolások figyelembevételére is, a szigorúan vett szakmai szempontokon túl. Ezen egyik morális kérdés a meghatározott feladat végrehajtásakor fellépő kockázat becslése, kezelése és csökkentése.

Az Amerikai Egyesült Államok Légierőjében (USAF) és ezzel együtt a Haditengerészetnél (US Navy) napjainkban folyik az *OPERATIONAL RISK MANAGEMENT* (ORM) program. Ezt a programot, illetve a döntéshozatali módszert magyarul *MŰVELETI KOCKÁZATKEZELÉS*-nek célszerű neveznünk.

Maga az *OPERATIONAL* angol szó magyar jelentése, többek között, az *ÜZEMELTETÉSI, MŰKÖDÉSI, HADMŰVELETI, HARC* lehet [1]. Hosszú töprengés és a kifejezés tartalmának elemzése után jelen sorok írója a *MŰVELETI* szót választotta. Már az eredeti - angol - név választása során is kérdések merültek fel pont ezen szó miatt. Válaszképpen talán FOGELMANN tábormokot - az ORM program támogatóját - idézhetjük [4]: "Továbbiakban az

---

<sup>†</sup> A szerző felsőoktatási és tudományos kutatási munkáját az Oktatási Minisztérium Széchenyi Professzori Ösztöndíjjal támogatja

'operator' kifejezést nem kizárólag egy képzett személyre értelmezem, hanem a szolgálatunk egy olyan civil vagy katonai tagjára, aki gyakorlati jártassággal bír a vezetésben valamint ismeri a Légierő küldetését." WETZIG, a [7] cikk szerzője pedig egyszerűen csak úgy foglalt állást, hogy a hangsúly nem az OPERATIONAL-en (műveleti-n), hanem a RISK MANAGEMENT-en (kockázatkezelésen) van.

Minden - katonai vagy nem katonai - tevékenység maga után von bizonyos fajtájú és szintű kockázatot. A MŰVELETI KOCKÁZATKEZELÉS egy olyan módszertant biztosít a különböző folyamatok és szervezetek irányításával kapcsolatos döntések meghozatalához, mely segítségével az adott kockázat egy elfogadható szint alá csökkenthető, kiküszöbölhető vagy elhárítható esetleg áthárítható.

A műveleti kockázati kezelés módszertani eljárás, mellyel a döntés előkészítés és a meghozatal alkalmával a kitűzött feladat vagy művelet végrehajtása során fellépő veszélyek és a hozzájuk kapcsolódó kockázatok meghatározhatók és összehasonlíthatók a várható hasznokkal, előnyökkel. A fenti összehasonlítás eredményeként hozható meg az a döntés, mellyel a várható haszonhoz képest legkisebb kockázattal megoldható a kitűzött feladat. Ez döntéshozatali módszer, nem pedig „csak” egy balesetvédelmi eljárás. A meghatározható veszély és a hozzá tartozó kockázat, illetve várható nyereség a résztvevő emberek egészségén és életén kívül lehet például a felhasznált haditechnikai eszközök állapota is, illetve kifejezhetjük azokat valamilyen politikai, gazdasági, harcászati vagy hadászati fogalmakkal is.

Jelen tanulmány elkészítésének célja a műveleti kockázatkezelés módszerének, folyamatának, illetve alapfogalmainak rövid bemutatása. A bemutatáson túl szerző szándéka felmérni, hogy a műveleti kockázatkezelés miként illeszthető be napjaink és a jövő évezred katonai repüléstudományába hadtudományba.

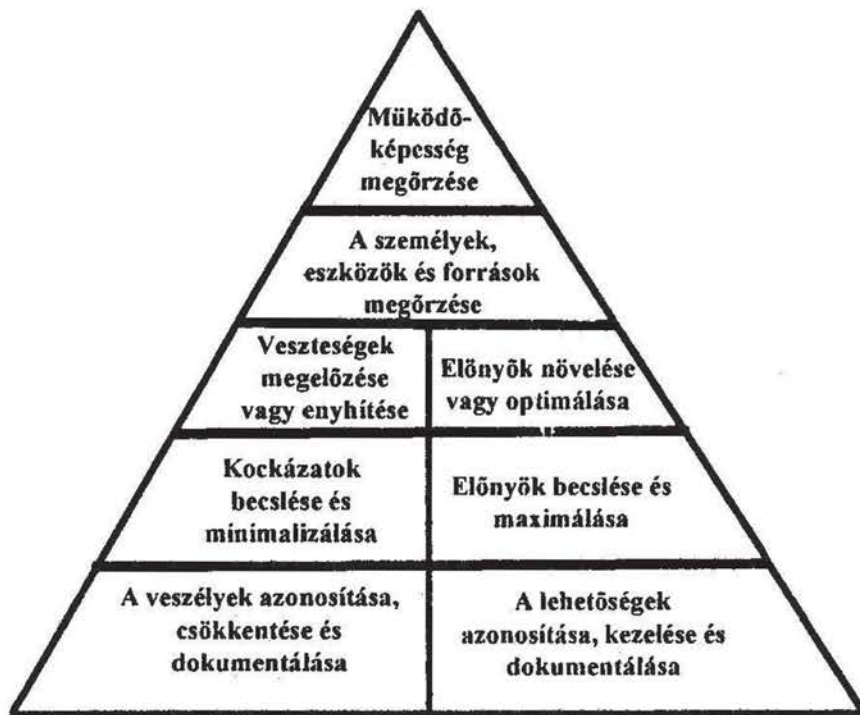
## 2. A MŰVELETI KOCKÁZATKEZELÉS CÉLRENDSZERE ÉS ALAPELVEI

Egy szervezet alapvető célja a feladatának végrehajtása és a működési képességének a lehető legmagasabb szinten való tartása. Ez utóbbinak fontos eleme a hozzá tartozó személyek, technikák és kiszolgáló eszközök megőrzése. A veszélyek megelőzése és a veszteségek csökkentése fontos kérdés ezen erőforrások megőrzéséhez. A kockázatkezelés, mint döntéshozatali módszertan,

## KOCKÁZATKEZELÉS A REPÜLÉSBEN

és mint egy zártkörű folyamat hozzájárul a különböző veszélyek megelőzéséhez, így a veszélyekből származó minimális kockázat mellett a meghatározott feladat végrehajtása során a működőképesség megőrzéséhez. Ez összhangban lehet más, az adott rendszer elé tűzött költség-, idő-, vagy feladat követelményekkel is.

Mindezekből látható, hogy a műveleti kockázatkezelés ezen általános céljai komplex célrendszert alkotnak. A célok hierarchikus felépítését az 1. ábra szemlélteti. A műveleti kockázatkezelés piramisa az egyenlet két oldalát szemlélteti. A bal oldal a kockázat csökkentés lépéseit, míg a jobb oldal a feladatok végrehajtásához szükséges lépéseket szemlélteti. A piramis csúcsa a harcckészültség fokozását, ami két oldal alapján áll, szimbolizálja.



1. ábra  
A műveleti kockázatkezelés piramisa

A célrendszer megfelelő alapot nyújt a célokat megvalósító tevékenységek, módszerek egységes folyamatá szervezéséhez, amelynek kimenete a meghatározott szintű döntésekben játszhat kiemelkedő szerepet. A döntéshozatal során célszerű a következő alapelveket figyelembe venni:



→ ***Fogadd el a nem felesleges kockázatot!***

A felesleges kockázat vele összemérhető nagyságú várható nyereség nélkül keletkezik, valamilyen valós haszonban vagy az elérhető előnyökben kifejezve. Minden feladat és napi rutin kockázatot tartalmaz. A leglogikusabb választások azok, melyekkel kielégítjük a végrehajtandó feladattal szembeni összes követelményt, miközben a személyeket és eszközöket a legkisebb mértékű kockázatnak tesszük ki. Maga a műveleti kockázatkezelés eszközöket biztosít a felesleges kockázat vagy kockázati szint meghatározásához. Ebből az axiómából levezethető folyamat a "Fogadd el a szükséges kockázatot" követelmény a feladat sikeres befejezéséhez. A legkevésbé fenyegető út kiválasztása a célhoz kizárja a felesleges kockázatot, szemben a legközvetlenebbel.

→ ***Dönteni a megfelelő szinten szükséges.***

A megfelelő szinten hozott döntés biztosítja az egyértelmű felelősség meghatározását is. Azokat a személyeket, akik felelősek a feladat sikeréért vagy kudarcáért be kell vonni a kockázati döntéshozatal folyamatába. Kockázati döntést bárki hozhat, de a megfelelő szint csak az az egy személy, aki képes a kockázat csökkentéséhez szükséges eszközök meghatározására vagy a veszély kiküszöbölésére, és aki végre is tudja hajtani vagy közvetlenül hajtani ezen csökkentési döntéseket. Általában az a vezető, aki felelős az adott feladat végrehajtásáért:

- felhatalmazott a szervezet műveletre jellemző kockázati szint elfogadására;
- köteles jelenti a döntéseket az eggyel magasabb vezetői szintre, ha a számára elérhető eszközökkel és döntésekkel nem tudja az elfogadható szintre csökkenteni az adott kockázatot.

→ ***Fogadd el a kockázatot, ha az előny ellensúlyozza a befektetést!***

Minden felismert előnyt össze kell hasonlítani minden felismert kockázattal. A kockázatok a lehetőségekkel és előnyökkel való összemérési folyamata a szervezet működési képességét a legmagasabb szinten segít tartani. Még a nagyobb kockázati törekvés is indokolható és érthető, ha egyértelműen látható, hogy az előnyök összessége felülmúlja a kockázatok összességét. A kockázatok és az előnyök mérlegelése szubjektív folyamat is lehet. Fontos megjegyeznünk, hogy a kockázatok és az előnyök egyensúlyát is a megfelelő döntési szintnek kell meghatározni.

- ***A műveleti kockázatkezelést integrálni szükséges minden szintű tervezési folyamatba!***

A kockázatkezelés hatékony alkalmazása érdekében a vezetőknek időt és erőforrást kell biztosítaniuk a kockázatkezelési elvek és eljárások beépítésére a tervezési folyamatokba. A kockázatkezelés lehető legkorábban történő integrálása a tervezésbe biztosítja a döntéshozók számára a legjobb lehetőséget a kockázatkezelési elvek alkalmazására. Fontos megjegyeznünk, hogy a kockázatok még a művelet tervezési szakaszában legkönnyebb meghatározni és csökkenteni.

### **3. A MŰVELETI KOCKÁZATKEZELÉS ALAPFOGALMAI**

A műveleti kockázatkezelés, mint módszertan, sikeres és hatékony alkalmazása megköveteli, hogy pontosan definiált fogalmakra épüljön. A továbbiakban csak a legfontosabb és legalapvetőbb fogalmakat - eredeti angol elnevezésükkel együtt - ismertetjük.

#### ***Hátrány (Hazard)***

Valamilyen valós vagy potenciális körülmény, amely a feladat végrehajtásának negatív módosulását, a személyek egészségkárosodását, betegségét, halálát, az eszközök, illetve képességek károsodását vagy elvesztését okozhatja.

#### ***Baleset (Mishap)***

Nem tervezett esemény vagy események sorozata, mely halált, sérülést, foglalkozási betegséget, illetve az eszközök károsodást vagy képességek csökkenését vagy elvesztését eredményezik.

#### ***Kockázat (Risk)***

A baleset következményének

- az esemény bekövetkezésének valószínűségével,
- az esemény súlyosságával
- a potenciális veszteségnek vagy ártalomnak kitett személyek és eszközök kitettségével

történő kifejezése. A kockázat általános kifejezését mint a valószínűség, a súlyosság és a kitettség függvénye adhatjuk meg. A kockázatok típusaival a 4. fejezetben foglalkozunk.

**Súlyosság (Severity)**

Egy esemény várható következményének mértéke a feladatra való hatással, hátránnyal vagy a személyi állományban, technikai eszközökben fellépő veszteséggel kifejezve.

**Kitétség (Exposure)**

Azon személyek vagy eszközök száma, melyek érintettek az adott esemény során, illetve ismétlődő események esetén többször. A kitétség mértékét idővel, közelséggel, mennyiséggel vagy ismétlődéssel kifejezve tudjuk meghatározni. Ezt a paramétert felhasználhatjuk a súlyosság vagy valószínűség becslésére, vagy önállóan is kezelhető.

**Rendszer (System)**

Személyek, eljárások, anyagok, eszközök, berendezések és lehetőségek valamilyen komplexitású csoportja. A rendszer elemeit együtt alkalmazzák a tervezett műveleti vagy támogatási környezetben, az adott feladat végrehajtása vagy a feladathoz tartozó egy speciális részfeladat teljesítése érdekében.

**Kockáztatás (Gambling)**

Döntés a következményekként jelentkező kockázatok ésszerű és körültekintő felbecsülése vagy kezelése nélkül.

## 4. A KOCKÁZAT FAJTÁI

A kockázatokat sokféle szempontból és sokféleképpen csoportosíthatjuk. Jelen fejezetben csak a kockázati döntéshozatal folyamatában kiemelkedő jelentőséggel bíró kockázat fajtákat ismertetjük. A 2. ábra a kockázat különböző fajtái közti kapcsolatot szemlélteti.

**Azonosított kockázat (Identified Risk)**

Az a kockázat, melyet a különböző elemzési technikákkal határozhatunk meg, az elfogadható és a nem elfogadható kockázatok összessége.

**Teljes kockázat (Total Risk)**

A teljes kockázat az azonosított és a nem azonosított kockázatok összessége.



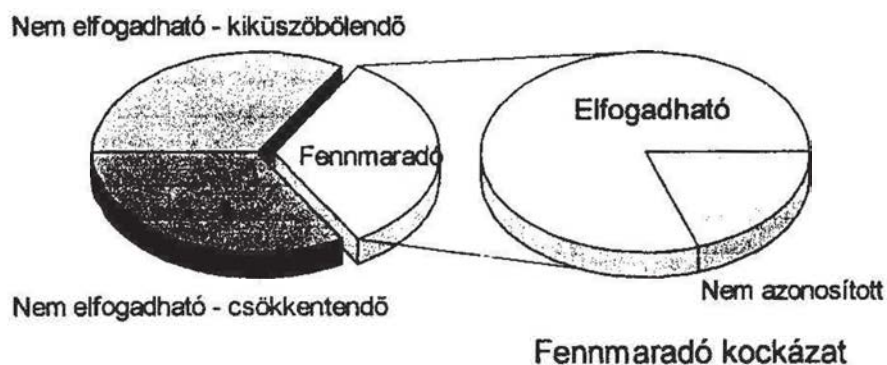
## KOCKÁZATKEZELÉS A REPÜLÉSBEN

### **Elfogadható kockázat (Acceptable Risk)**

Az azonosított kockázat azon része, amely további csökkentés nélkül is megengedett.

### **Nem elfogadható kockázat (Unacceptable Risk)**

Az a kockázat amit nem lehet tolerálni. Ez az azonosított kockázat azon része, amit vagy kiküszöbölni vagy csökkenteni kell.



## Teljes kockázat

2. ábra

A kockázat fajtái

### **Nem azonosított kockázat (Unidentified Risk)**

Az a kockázat, amit még - valamilyen okból - nem determináltunk. Ez nagy fontossággal bíró valós probléma, mert nem ismert és így nem mérhető. Néhány kockázat soha sem lesz ismert. Általában a baleseti vizsgálatok néhány korábbi, nem azonosított kockázatra mutatnak rá.

### **Fennmaradó kockázat (Residual Risk)**

Amely megmarad a teljes kockázatkezelési folyamat után. Ezt néha tévesen elfogadható kockázatként kezelik. Valójában a maradó kockázat az elfogadható és a nem azonosított kockázatok összege.

## 5. A MŰVELETI KOCKÁZATKEZELÉS FOLYAMATA

A műveleti kockázatkezelési folyamat - jellegéből adódóan - fázisokra, és a fázisok belül lépésekre bontható. Az Amerikai Egyesült Államok Légierében egy úgynevezett hátfázisú műveleti kockázatkezelést alkalmaznak. A Szárazföldi Csapatok szakemberei körében az ötlépéses kockázatkezelési folyamat terjedt el. Ez utóbbi esetben a - későbbiekben ismertetésre kerülő - 3. és 4. fázisokat összevonják és gyakorlatilag ugyanazon lépéseket hajtják végre, mint a hatfázisosnál. A 3. ábra a műveleti kockázatkezelés folyamatábráját mutatja be.

A hatfázisú műveleti kockázatkezelés fázisai a következők:

### *1. fázis: A veszély azonosítása*

A veszély úgy határozható meg, hogy azonosítjuk azokat a valós vagy potenciális helyzeteket, amelyek képesek a feladat végrehajtása mértékének csökkentésére, vagy a személyek, illetve eszközök károsodását, esetleg elvesztését eredményezhetik. A tapasztalat, a racionális gondolkodás segít azonosítani a valós és potenciális veszélyeket. A fázis lépései:

→ a feladat elemzése;

A feladat végrehajtás folyamatának áttekintése és időrendi leírása.

→ a veszélyek listájának összeállítása;

A feladat lépéséhez kapcsolódó veszélyek vagy veszélyes körülmények és az általuk keletkező kudarcok, balesetek listába foglalása.

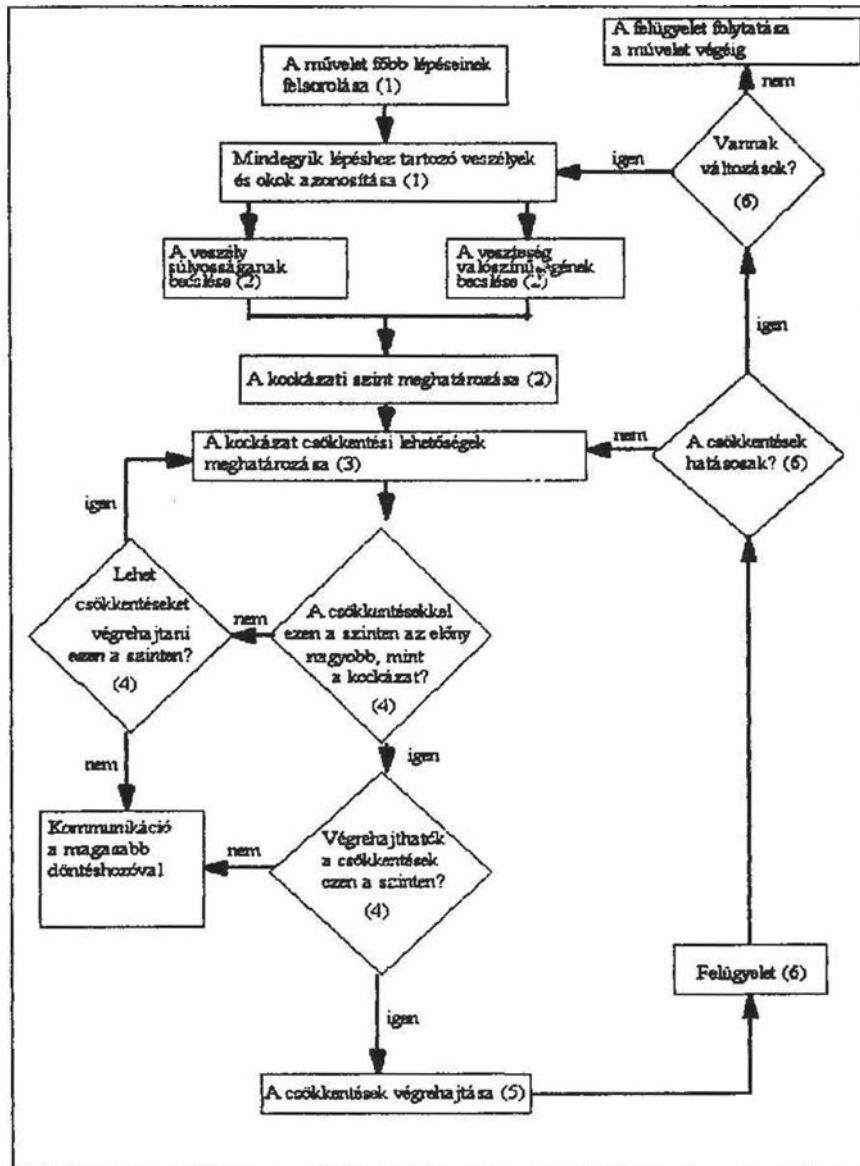
→ az okok listázása;

Azon alapvető okok meghatározása, melyek a fentebb determinált veszélyekhez kapcsolódva kudarcot vagy balesetet okozhatnak.

→ stratégiai veszély-meghatározási technikák alkalmazása;

A tervezés során, ha elegendő idővel rendelkezünk közép- vagy hosszú-távú tervezéshez, komplex vagy olyan feladatok esetén alkalmazhatjuk, amikor a kockázatokat nem ismerjük egyértelműen.

## KOCKÁZATKEZELÉS A REPÜLÉSBEN



3. ábra

A műveleti kockázatkezelés folyamatábrája

### 2. fázis: A kockázat becslése

Ez a fázis magába foglalja az első fázisban azonosított veszélyek valószínűségét és súlyosságát. A becslés során kvantitatív és kvalitatív módszereket alkalmazva állapítjuk meg egy adott veszélyhez kapcsolódó kockázat mértékét. A becslés

célja determinálni egy baleset vagy kudarc bekövetkezésének valószínűségét és súlyosságát, valamint meghatározni a személyek vagy eszközök az adott veszélynek való kitettségét. Lépései:

→ a kitettség becslése;

Az első fázisban determinált veszélyeknek való kitettség szintjének idő, közelség, vagy ismétlődés fogalmával történő meghatározása.

→ a súlyosság becslése;

A veszély súlyosságának, annak személyekre, eszközökre vagy a feladatra gyakorolt potenciális hatásaként szükséges meghatározni, az alábbi kategóriák alapján:

- katasztrófikus;
- kritikus;
- csekély;
- elhanyagolható.

→ a veszély valószínűségének becslése;

A determinált veszélyek következtében fellépő kudarc, baleset bekövetkezési valószínűségének becslése, például a:

- gyakori;
- valószínű;
- eseti;
- ritka;
- valószínűtlen

kategóriák felhasználásával.

→ a teljes kockázat becslése;

Ebben a lépésben a kitettség, súlyosság és valószínűség ismeretében minden veszélyhez tartozó kockázati szintjét határozzuk meg.

### **3. fázis: A kockázatcsökkentési intézkedések elemzése**

Azon lehetséges stratégiák, eszközök és intézkedések vizsgálatát jelenti, amelyek csökkentik, mérséklék, elkerülik, kiküszöbölik vagy áthárítják az előző fázisban megbecsült kockázatot. A hatékony intézkedések a kockázat három összetevőjének (valószínűség, súlyosság és kitettség) egyikét redukálják. A fázis lépései:

→ a csökkentési lehetőségek meghatározása;

Ekkor a megengedhetőnél magasabb kockázattal bíró veszélyekhez a lehető

## KOCKÁZATKEZELÉS A REFÜLÉSBEN

legtöbb csökkentési (mérséklési, elkerülési, kiküszöbölési vagy áthárítási) lehetőséget, eljárást, intézkedést vagy stratégiát kell meghatároznunk.

→ a csökkentési hatások meghatározása;

Az előző lépésben kiválasztott csökkentési stratégiák kockázatra gyakorolt hatásának elemzése, becslése.

→ a kockázat-csökkentések rangsorolása;

A stratégiák rangsorolása a fenti elemzések eredményei alapján.

### **4. fázis: A kockázati döntés meghozatala**

A kockázatok és előnyök teljes körű mérlegelése alapján a döntéshozó a megfelelő szinten kiválasztja az alkalmazandó csökkentési módot.

→ a kockázat-csökkentések kiválasztása;

Azon kockázat-csökkentési lehetőségek kiválasztása, melyek képesek a kockázatot az elfogadható szint alá csökkenteni.

→ döntéshozatal;

A minden - nem csak kockázatkezelési - szempontból legelőnyösebb stratégia kiválasztása és a döntés dokumentálása a későbbi elemzések (lásd 6. fázis) érdekében.

### **5. fázis: A kockázat csökkentésének végrehajtása**

A csökkentési stratégia kiválasztását követően a vezetésnek (menedzsmentnek) végrehajtási stratégiát kell kidolgozni és azt a végrehajtóknak alkalmazni. Ez a fázis magába foglalja a végrehajtáshoz szükséges idő és erőforrás biztosítását is.

→ a végrehajtás tisztázása;

A kiválasztott kockázat-csökkentési stratégia gyakorlati végrehajtási módjának meghatározása.

→ a felelőség meghatározása;

A kiválasztott kockázat-csökkentési stratégia gyakorlati végrehajtásáért felelős személy vagy személyek kijelölése.

→ a támogatás biztosítása;

A csökkentési stratégia gyakorlati végrehajtásához szükséges erők és eszközök meghatározása.



**6. fázis: Ellenőrzés és számvetés**

A kockázatkezelés egy olyan folyamat, amely a rendszer, a feladat vagy a tevékenység teljes életciklusában folytatódik. Mihelyt a 4. fázisban kiválasztott stratégiát végrehajtják az 5. fázisban a folyamatot alaposan elemeznünk kell, a későbbi hatékonyabb alkalmazás érdekében.

→ ellenőrzés;

A feladat végrehajtásának ellenőrzése biztosíthatja, hogy:

- a kockázat-csökkentés hatásos legyen;
- a későbbi kockázatkezeléshez szükséges változtatások meghatározását;
- nem elége hatásos kockázatkezelés vagy új veszély felbukkanása esetén a műveleti kockázatkezelési folyamat korrekcióját.

→ számvetés;

A tanulságok összegzése, elért hatások és a döntéshozatalkor rögzített adatok összehasonlítása a későbbi kockázatkezelési folyamatok hatékonyságának növelése, vagy az elkövetett hibák kiküszöbölése érdekében.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS, AJÁNLÁSOK

A publikáció szerzőjének elsődleges célja a tisztelt olvasó érdeklődésének felkeltése volt a műveleti kockázatkezelés, mit általános döntéshozatali módszertan iránt. A műveleti kockázatkezelés adaptálása a Magyar Honvédségben, A Varsói Szerződés irányítási elvein alapuló, döntéshozatali szemlélet korszerűsítését - „NATO-kompatilisebbé” tételét - segíti elő.

A tanulmány röviden bemutatta a műveleti kockázatkezelés célrendszerét, alapfogalmait, alapelveit és folyamatát. Jelen cikk alapján a műveleti kockázatkezelés hazai gyakorlati alkalmazása érdekében, a továbbiakban szükséges:

- a magyaryelvű terminológiájának kidolgozása, a kapcsolódó tudományterületek fogalomrendszereinek figyelembevételével;
- a módszer adaptálása, a Magyar Honvédség - kérdéskörrel kapcsolódó - sajátosságainak elemzésével egy időben;
- a matematikai modellezési (valószínűség-számítási, statisztikai, kvantitatív) módszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a kockázat becslés fázis objektivitásának növelése érdekében.

A cikk megírásának másik fő célja annak felmérése, hogy műveleti



## KOCKÁZATKEZELÉS A REPÜLÉSBEN

kockázatkezelés miként integrálható a mai magyar repülés- és hadtudományba. Ezért a szerző kéri a tisztelt olvasót, hogy e témával kapcsolatos véleményét, észrevételét ossza meg vele (postacím: 1581 Budapest Pf. 15).

### 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Angol-magyar műszaki és tudományos szótár, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993.
- [2] **FIGLOCK R. C.**, Operational Risk Management, Marine Corps Gazette, May 1997., pp. 43 - 44.
- [3] **MICHELBERGER P.**, A társadalom új elvárásai a közúti közlekedéssel szemben, kihívás a mérnöki társadalom felé, Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági gépek, 1998 7-8, p.243-245.
- [4] Operational Risk Management, <http://www-afsc.saia.af.mil>
- [5] Operational Risk Management (ORM), Implementation and Execution, Air Force Pamphlet 91-214, May 1997., p. 21.
- [6] **WETZIG. W.**, I'm not a guru, am I?, Air Force News, 17. March 1997.
- [7] **QUICK, J.**, Operational Risk Management: Decision-Market' Tool, Flying Safety, September 1996., pp 24 - 26.

### ABSTRACT

*Nowadays United States Air Force and Navy use the Operational Risk Management process. The main goals of this paper to show the basis and method of the ORM, and to survey its possibilities of use in the Hungarian aerospace an military sciences.*



## **AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL**

**Dr. Szabó László**  
**e. adjunktus**  
**ZMNE VSZTK**  
**Re. SHM Tanszék**

**Kavas László**  
**e. tanársegéd**  
**ZMNE VSZTK**  
**Re. SHM Tanszék**

**Szilágyi Mihály**  
**oktató**  
**SZKKK**

*A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőgép Sárkány-Hajtómű Tanszékén 2 éve kutatjuk a virtuális valóság (VV.) alkalmazásának kérdését és lehetőségét. Jelen előadásunkban a VV. gyakorlati felhasználásának egy olyan lehetőségét kívánjuk bemutatni az FSM-29 szimulátoron keresztül, amely mind szakmai, mind költségvetési oldalról alátámaszta ezen rendszer alkalmazásának hasznosságát a MIG-29 -es pilótáink kiképzésében.*

### **Korszerű repülőgép szimulátorok alkalmazásának indokai a Magyar Honvédségnél**

Jelenleg katonai pilótáink számára -főleg- orosz légi járművekhez kínált kiképző szimulátor áll három repülőgép típusban (MIG-29 /orosz szimulátor/, L-39 /cseh/, MI-8 /orosz/) *elméletileg* rendelkezésre. Az *elméletileg* szót azért szükséges kiemelni, mert ezek közül csak a MI-8 helikopter szimulátorát használják (de ezt is csak meghatározott tevékenységek, vészhelyzetek oktatására.). Ennek okát Dr. Óvári a következőkben foglalta össze a repülőgép típusváltással foglalkozó tanulmányában; „A javasolt repülőeszköz-típusok rendelkeznek korszerű szimulátorral. Ugyanakkor -eddig tapasztalatok szerint- az orosz légi járművekhez kínált ilyen berendezések elmaradnak a világszínvonaltól, számítógépük elavult, nehézkes mozgó mechanizmusaik gyakran meghibásodnak [2].”

A megállapítás egyrészt hatványozottan igaz mostani katonai szimulátorainkra, másrészt ellentétben a NATO-ban való kitüntetett szerephez és alkalmazáshoz képest, nálunk a repülő-hajózó kiképzésben -érthetetlen okok

miatt- nem helyeztek a szimulátoros képzésre megfelelően megérdemelt hangsúlyt {Van olyan típus szimulátorunk /L-39/, amelyiket össze sem állítottak. Volt 1993-ban Szolnoki Repülőtisztai Főiskola (SZRTF) Re. Hajózó Tanszék részéről egy kezdeményezés helikopter szimulátor hazai céggel történő megépítésére rendkívül kedvező áron, de az érdektelenség és az anyagi lehetőségek hiánya miatt nem jött létre a kivitelezés /Információk a SZRTF volt parancsnokától, valamint a ZMNE Repülőgépek Tanszékétől./ }

Véleményünk szerint a Magyar Honvédségben egy modern repülő-hajózó kiképzés elengedhetetlen tárgyi feltétele a megfelelő mennyiségi és minőségi összetételű kiképző repülőgépek és repülési szimulátor (-ok) beszerzése ( avagy - kevésbé bonyolult szimulátorok illetve gyakorló trenázs berendezések esetében saját erőből /vagy hazai cégek bevonásával/ való elkészítése), illetve üzemeltetése. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy a szimulátorok megvásárlása avagy elkészítése jelentős költségvetési tételként jelentkezik, de szem előtt kell tartanunk azt a tényt, hogy velük jelentős pénzüsszeg megtakarítható azáltal, hogy a náluk jóval magasabb üzeneköltséggel bíró repülőeszközök jelentős repülési idejét kiválthatja [5, 8].

Itt szólni kell egy másik nagyon fontos dologról is. Ez pedig az a tény, hogy a repülő kiképzés gazdaságosságának adott hazai, legalább minimális elvárásnak megfelelő szint elérésén túl, egy teljesen merőben új aspektus jelenik meg a NATO -hoz történő katonai csatlakozásunk feltételeként. Ez pedig az, hogy a NATO előírásai szerint a csapásmérő alegységhez csak olyan "Zöld kártyával"-al rendelkező hajózó osztható be, akinek minimálisan 1200 repült órája van. A NATO országok többségében ezt a normát a fiatal hajózók 4 - 7 év alatt teljesítik, mivel az évi repülési normájuk 180-250 óra . Ha figyelembe vesszük az előző néhány év magyar lehetőségeit, ami átlagban kb. 50-80 óra körül volt (Ezek az adatok az 1996 előtti évekre igazak, jelenleg a helyzet ennél is rosszabb!!!), akkor megállapítható, hogy vadászrepülőgép és (harci-, szállító-, felderítő-) helikopter pilótáink legkorábban 15-24 év múlva, azaz kb. 37-46 éves korukra (vagy később) lesznek a NATO normák szerint hadra foghatóak. Ezenkívül fontos megemlíteni, hogy hiba volna figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a 36-40 éves, főként vadászpilóták bizonyos hányada - egészségügyi okok (a nagyfokú igénybevétel és stressz) miatt - letiltásra kerül, vagy fizikai teljesítőképességük számottevően csökken. Az elmondott nehézségek csökkentésének, avagy megszüntetésének - véleményem szerint - az egyetlen járható megoldása, hogy nem csak a típusátképzés szintjéig, hanem azt követően is alkalmazásra kerüljenek a szimulátorok [2, 7].

A korszerű („C”, „D” típusú) vadászrepülőgép és helikopter szimulátor hazai alkalmazását a következő szempontok indokolják [2, 5, 6, 7, 8, 9, 12]:

*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

- A szimulátorok üzemeltetési költsége az adott repülőgéptípus üzemeltetési költségéhez képest mindössze 10 %. Ennek gazdasági hasznáról az USA hadseregeinek gazdasági mutatói tanúskodnak. Pl. 1975-1982 között a szimulátorokkal kiváltott repült óra 100000 órával emelkedett. Ez a kimagasló eredmény indokolta, hogy 1985-re a fejlesztési költségek elérték a 40 millió \$-t, míg a megrendelési kiadások az 1 milliárd \$-t. Az egyes típusok kihasználtságát bizonyítja például a B-52 -es bombázógép 11 db Weapon System Trainer fegyverrendszer gyakorló szimulátora, ugyanis a hét 6 napjából 16 órán folyamatos üzemben dolgozik egész évben;

- Korlátozás nélkül gyakorolhatók bennük a valós repülés ritkán előforduló különleges esetei, annak megelőzése, illetve elhárítása (katasztrófa és vészhelyzetek);

- Nagyságrendekkel nő a kiképzés hatékonysága, mivel például a légi harc kiképzésben egy repült óra alatt kb. 3-4 támadás hajtható végre (hatalmas költségekkel), addig ez a szám szimulátorban az előbbi 8-10 szerese is lehet (Természetesen a pszichikai megterhelés kisebb, de begyakorlás és költségek szempontjából nincs konkurenciája!). Fontos megemlíteni, hogy az alapkiképzés során a leszállás gyakorlásakor a levegőben eltöltött repülési idő 95 %-a az ún. gurulás és az iskolakör végrehajtásával telik el, addig a szimulátorral kb. 15-20 -szor annyi fel- és leszállás hajtható végre. Fontos megemlíteni, hogy ezzel csökken a repülőterek terhelése (a kísérleti ( gyakorló ) repülések számának csökkenése miatt);

- A korszerű szimulátorok rögzítő-visszajátszó berendezései lehetővé teszik a növendék hajózók vagy akár a gyakorló pilóták számára is az egyes repülési helyzetek kielemezését, illetve reprodukálását;

- Szimulátorok segítségével különböző kiképzési elképzelések, programok is összehasonlíthatók, ami más módszerrel egyrészt rendkívül veszélyes, másrészt igen költséges lenne. Növelhető a vizsgálat ( gyakorlás ) hatékonysága, mivel a repülési folyamatok mélyebben kidolgozhatók, bonyolult helyzetekben különböző meghibásodások és vészhelyzetek figyelembevételével;

- A virtuális valósággal szimulált táj illetve terep olyan kiegészítő információkat is adhat, amelyek a valódi tájban ill. terepen egyáltalán nincsenek meg, de ezek nagymértékben segíthetik a hajózót pl. a távolságérzékelés és a repülési készség fejlesztésében;

- A komplex szimulátorok lehetővé teszik a pilóták több alapvető fontosságú fiziológiai jellemzőinek vizsgálatát (pl. Működik-e a térlátás 30 méteren, Mennyi információt szerez a mozgó személy a periférikus látással, ... stb);

- A vizsgálat ( gyakorlás ) ideje csökken, melynek eredményeképpen a repülés bármely szakasza vizsgálható anélkül, hogy a többi szakaszt vizsgálnánk;



-Megszakítható a repülés folyamata bármely időpillanatban és vissza lehet térni kiinduló helyzetbe. A folyamat a meteorológiai helyzettől független;

-A repülési eredmények objektívek és teljesen regisztrálhatók, kiértékelhetők;

-A kevesebb tüzelőanyag felhasználás miatt növekszik a gazdaságosság; kevesebb kopással kell számolni és csökken a kiszolgálásra fordított idő;

-A vizsgálatok ( kísérletek, gyakorlások ) biztonsága növekszik;

-Csökken a környezet szennyezése;

-Csökken a repülőterek környezetében élők zajterhelése.

A harci hatékonyság és a repülésbiztonsági szempontból a szimulátorok alkalmazása mellett állják itt a II. világháborús, koreai, közel-keleti és vietnami tapasztalat, miszerint a légi csaták veszteséglistáján főleg olyan repülőgépvezetők szerepeltek, akiknek nem haladta meg a bevetési száma az 5-8-at. A statisztika azt mutatta, hogy akik ezt a kritikus bevetési számot túlélték, azok 95 %-os valószínűséggel a további légi harcokból épségben kerültek ki. Ezek a felsorolt tények azt jelentik, hogy minden magyar katonapilóta számára is meg kell, illetve meg kellene adni a minimálisan elégséges 5-8 harci bevetéssel egyenértékű kiképzési szintet, amivel jelentősen csökkenthető lenne a veszteség „éles” bevetési helyzetben.

A leírtak egyértelműen bizonyítják, hogy milyen nagy szükség lenne (illetve van) korszerű szimulátorokra, mint a virtuális valóság egyik gyakorlati alkalmazására a hazai hajózó kiképzésben. Dr. Óvári a szimulátorok beszerzésével kapcsolatban leszögezi: „Ilyen beszerzésre szükséges lenne a perspektivikus vadászrepülőgép- és harci helikoptertípusokhoz, de célszerű lenne a MIG-29 -eshöz rendszeresített berendezés korszerűsítése is. A domináns típusú, későbbiekben vásárolandó szállító repülőeszközöinkhez elégséges lenne egy IFT-kategóriájú (repülésgyakorló) berendezés, míg a többi, kisebb számban rendszeresített repülőgépek szimulátoros kiképzését gazdaságosabb lenne külföldön végrehajtani. Mivel hazai viszonyaink vélhetően vadászrepülőgép- és harci helikoptertípusonként 1-1 gömbszimulátor beszerzésén kívül mást nem tesznek lehetővé, ezért az aleggységszintű feladatok gyakorlását is külföldön kellene végrehajtani. Természetesen technikailag nem kizárt a saját szimulátorunk számítógéprendszerének más országok hasonló típusával (vagy saját korszerűsített MIG-29-ünkével!) történő összekapcsolása. Ezzel raj-, századszintű kiképzés, illetve a két különböző repülőgépből álló géppár, aleggység együttműködésének gyakorlása is lehetővé válna [2].”

Egyetértve Dr. Óvári megjegyzésével, a leírtak konkrét megvalósítására szeretnénk néhány dologban reflektálni, kiegészítve olyan javaslatokkal, amelyek véleményünk szerint nagyban hozzájárulhatnak a korszerű kiképzéshez. A

*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

jelenlegi MIG-29 szimulátort nem véletlenül nem használják. Számítógép program és hardver rendszere elavult, berendezések elmaradnak a világszínvonalától. ( Lásd Dr. Óváritól vett idézetet az orosz szimulátorokkal kapcsolatban). A korszerű szimulátorok „C” vagy „D” kategóriájúak, míg az orosz adósság fejében kapott 28 db MIG-29 -es repülőgéphez küldött szimulátor nem éri el ezt a szintet. Bár korszerűsítése olvíleg megoldható lenne, de a felmerülő kompatibilitási és egyéb, a régi berendezések alkalmazásából eredő problémák miatt, gazdasági megfontolásból nem biztos, hogy megérné (ez komolyabb szakmai és gazdasági vizsgálat tárgyát képezi!).

A MIG-29 -es repülőgép pilótáink ki- és továbbképzésére csak Full Mission Simulator jöhet számításba. Figyelembe véve kollégáim , valamint saját magunk külföldi tapasztalatait, megvizsgálva beszerzési lehetőségeket -véleményünk szerint- a szlovák gyártású FSM-29 szimulátor beszerzése tűnik a legcélszerűbbnek. Javaslataink megtétele az alábbi tényezők, tapasztalatok összértékelése alapján történt:

- A gyártók magyarországi képviselőivel történt -többszöri- személyes kapcsolatfelvétel és beszélgetés;
  - A szimulátort gyártó VRM (Virtual Reality Media) csoport referenciái;
  - A cártó céggel együttműködő alvállalkozók és rendszer-beszállítók minőséget biztosító nevei (Silicon Graphics, SEOS Displays, BARCO, ADVANTECH, LAPP Kabel, Thomson TTS, INNA, SPEEL, Aerotechnika);
  - A szimulátort gyártó cég rendelkezik olyan termékskálával, amely tág lehetőségeket kínál a hazai repülőtiszt képzési rendszer számára, azaz tartalmaz;
    - repülőképző központot;
    - multimédia tantermet;
    - oktatási anyagok;
    - oktatási videoprogramok;
    - multimédia programok;
    - repülés előtti felkészülés rendszert;
    - repülés utáni kiértékelő rendszert,
    - szimulátorcsalád megfelelő bő választékát:
      - teljes feladatkörű szimulátor;
      - harcászati szimulátor;
      - IFR szimulátor;
      - gyakorló kabin;
      - átkonfigurálható szimulátort;
    - kiképzési rendszerek rendszer-integrációját a harcászati-hadműveleti környezetbe;
    - A szimulátoron „repülő” pilótákkal való beszélgetés;

- A szimulátor paraméterei és lehetőségei [11, 12]:
  - A szimulátor FAA előírása szerint „D” kategóriájú;
  - Az összes repülési feladat begyakorlásának lehetősége;
  - a fegyverrendszer komplex alkalmazásának lehetősége;
- a szimulációs számítógéppel a virtuális valóság magas szintje (élethű szimuláció):
  - multiprocesszoros alaplap;
  - a repülés matematikai és aerodinamikai modellezése;
  - a fegyverrendszer matematikai és ballisztikai modellezése;
  - navigáció;
  - hálózati szerver;
  - variálható és bővíthető programozási lehetőség;
- a szimulátor beállítási lehetőségei:
  - napszak;
  - időjárás;
  - függesztmény változat;
- végrehajtási rend:
  - célok;
  - légvédelem eszközei;
  - egyéb korlátozások;
- A szimulátor -kedvező- beszerzési ára (kb. 7,5 millió \$) / Megjegyzés: A JAS-39 Gripen szimulátor ára 20-30 millió \$ között van, F-18 szimulátor (Svájc.) ára kb. 40 millió \$./

Az FSM-29 szimulátor megvétele -külföldi tapasztalatok alapján- a következő előnyökkel járna a MIG -29 típuson repülő hazai hajózó állomány részére:

1. Gyors és magas hatásfokú kiképzés;
2. Gyors gazdasági megtérülés;
3. A hajózó állomány életének, valamint az anyagi kár kockáztatásának jelentős csökkentése;
4. Az adott repülési feladat gyakorlásának lehetősége a valós repülés végrehajtása előtt;
5. Nem megszokott (ami nem lehet valós repülőgéppel végrehajtani) repülési helyzetek gyakorlása;
6. Veszélyes-, nem megszokott helyzetekre, valamint speciális és különleges esetekre (pl.: hajtómű leállás, tűz, kényszerleszállás,...stb.) adandó válaszreakció gyakorlása;

*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

7. A teljes fegyverrendszer szimulált alkalmazásának lehetősége (beleértve az opto-elektronikus célzóberendezést is);
8. A teljes harctevékenység szimulált végrehajtása más szimulátorok összekapcsolásával (ez a DIS rendszer segítségével valósul meg);
9. A repülésre történő felkészülés speciális programjai;
10. A helyes tevékenység elmélyítése a repülőgéptípus kiszolgálásában;
11. Számottevően növekszik a repülésbiztonság;
12. A harci alkalmazási feladatok begyakorlási lehetősége a hajózó állomány életének veszélyeztetése nélkül,
13. A harcvezetés új harcászati eljárásainak vizsgálata és elemzése;
14. Kisegítő műszer szerinti repülés, leszállás gyakorlás bonyolult időjárási viszonyok között a pilóta időjárási minimuma a tatti időképnél;
15. Kötelékrepülés kis magasságban;
16. Az adott repülési feladat elsőként a szimulátoron való begyakorlásának lehetősége;
17. A repülési feladat csak egy adott elemének begyakorlása;
18. Közös gyakorlatok, valamint a harctevékenység begyakorlásának lehetősége a DIS rendszeren keresztül.

A felsorolt lehetőségek (előnyök) olyanok, amelyek eddig -sajnos- egyáltalán nem, vagy korlátozottan, illetve rendkívüli költségek árán (valós repülésen) jutottak hozzá pilótáink. Véleményem szerint az említett szimulátor beszerzése nem egy „kegy” volna hajózóink számára, hanem alap a NATO követelmények teljesítésére.

Magyarország Miniszterelnöke 1998 augusztusában a Kecskeméti Repülőnapon bejelentette, hogy gazdasági nehézségek miatt a korszerű vadászrepülőgépek beszerzését (Tender kiírást) 2003 -ig el kell halasztani. Így a légierőnk számára harci szempontból (mivel a MIG-21 az ezredforduló táján kivonásra kerül) számottevően NATO kompatibilitás szempontjából csak a MIG - 29 típusú vadászrepülőgép marad. Figyelembe véve a repülő hajózó létszámot, el kell gondolkodni azon, hogyan oldjuk meg ilyen kevés gépszám mellett hajózóink NATO szintet megközelítő repülési normáját. Mi a mai viszonyok (gazdasági, szakmai) között egyetlen lehetőséget látok, ez pedig az FSM-29 jelű MIG-29 szimulátor beszerzése és alkalmazása, amelyet kiképzési szempontból ki lehetne egészíteni az L-39 ZO alkalmazásával.

Megfontolás tárgyát képezi a cseh ajánlat figyelembe vétele, azaz L-39 ZO típus lecserélése L-39 ZA -ra [1]. Ennek indokai a következők:

*Az MH állományában lévő L-39 ZO kiképző repülőgépek:*

- 1978 évben gyártott típusok (NDK részére készültek);
- jelenleg érvényes teljes technikai üzemidejük 4500 óra/20 év, ami 1997-1999 években egyébként is esedékes ipari javítása során legfeljebb 7,5 évvel hosszabbítható meg;
  - navigációs és kommunikációs felszereltségük a régi, orosz (szovjet) előírásnak megfelelő, közöttük több alacsony megbízhatósággal működő -már elavultnak tekinthető- található;
  - fegyverzetük a szárny alatti tartókra függeszthető rakétából és bombákból áll, de Németországgal kötött egyezmény révén erre a hadi célra nem alkalmazható;
  - A repülőgép további üzemeltetéséhez el kell végezni az ipari javítást, a teljes naptári üzemidő hosszabítását, a naptári üzemidő függvényében esedékes berendezések cseréjét, aminek eredményeképpen csak 2005-ig maradhat rendszerben. Figyelembe véve a NATO csatlakozást -együttműködést-, el kell végezni a fedélzeti kommunikációs és navigációs berendezések cseréjét ICAO (NATO) - kompatibilisre. További rendszerben tartásuk csak tetemes anyagi ráfordítással lehetséges.

*A felajánlott L-39 ZA repülőgép:*

- 1992 évi gyártásúak (üzembe helyezve még nem voltak);
- teljes technikai üzemidejük: 4500 óra/30 év;
- üzemidejük az első javításig: 1500 óra/10 év;
- a repülőgép ICAO-kompatibilis kommunikációs és navigációs berendezésekkel van ellátva, ami -törzs alá szerelt gépágyúval együtt- nagyban megnöveli alkalmazásuk lehetőségeit a L-39 ZO típussal szemben;
  - a jelenleg már kidolgozott modernizációs tervek lehetővé teszik az installálásukat (a zárt tenderben szereplő repülőgépek) az F-16, F-18, Mirage-2000 és a JAS-39 harcászati repülőgépekhez.

Véleményünk szerint a cseh gyártótól kapott ajánlattal [1] -ami több kedvezménnyel is párosul- a MH előnyös cserét hajthatna végre, melynek eredményeképpen gazdaságosan, a valószínűsíthető fejlesztéseket is figyelembe véve hosszabb távon üzemben tartható, több célra alkalmazható repülőgépek birtokába juthat. Ez annál is inkább kézenfekvő, mert az ezredforduló után már a MIG-21 típussal nem számolva, számottevően a kiképzésben csak a MIG-29 mellett csak az L-39 (ZO vagy ZA) típussal lehet számolni. Ezért tartjuk fontosnak a fenti ajánlat megfontolását, mert számítani lehet arra is, hogy új korszerű vadászrepülőgépek beszerzése és rendszerbe állítása akár 10 évre is elhúzódhat. Addig is biztosítani kell valamilyen típussal a kiképzést és ezen



*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

keresztül hazánk légterének védelmét, és akkor nem beszélve arról a tényről, hogy a helikoptereink cseréje is (a közeli jövőben) aktuálissá válik.

### **A kiképzési költségek alakulása szimulátor beszerzése estén**

- A következő költségvetési számítással szeretném bebizonyítani alábbiakat:
- a szimulátor beszerzése esetén a kiképzés költségei drasztikusan csökkennek;
  - a szimulátor beszerzési költsége hamar megtérül;
  - a begyakorlási lehetőség növekszik.

A számítás input adatai [2] és [12] sorszámú szakirodalmak felhasználásával állítottam össze, amelyek a következők:

A kiképzés során felhasználható eszközök, normák és egyéb adatok:

- 27 db MIG-29 (21 db MIG-29 B, 6 db MIG-29 UB) vadászrepülőgép;
- 19 db L-39 (ZO vagy ZA) kiképző repülőgép;
- 1 db FSM-29 szimulátor;
- NATO repülési norma: 180-250 óra/fő;
- NATO repülési órát minimálisan elérő javaslat I.:  $\approx 180$  óra/fő;
- NATO repülési órát minimálisan megközelítő javaslat I.:  $\approx 150$  óra/fő;
- NATO repülési órát minimálisan megközelítő javaslat II.:  $\approx 100$  óra/fő;
- A kiképzésben résztvevő pilóták létszáma (figyelembe véve a MIG-29 B - re vonatkozó 1,5 személyzet szorzót, és az UTI változat személyzetét, valamint rgv. előjárókat): 50 fő;

A valós viszonyszámok a harci alkalmazás tükrében:

- FSM-29 szimulátor :
  - gyártó szerint:  $\rightarrow 0.92$ ;
  - teszt pilóták szerint:  $\rightarrow 0.85$ ;
  - „D” szimulátorra szabvány minimum:  $\rightarrow 0.75$ ;
  - számításnál figyelembevett érték:  $\rightarrow 0.8$ ;
- L-39 (ZO / ZA) :  $\rightarrow 0.6$ ;

Üzemeltetési költségek:

- MIG-29:  $\rightarrow 10000$  \$/óra;
- L-39  $\rightarrow 1000$  \$/óra;
- FSM-29  $\rightarrow 500$  \$/óra;

- A szimulátoron repült óra eloszlása 50 repülőgépvezető kiképzése esetén:
    1. 50 óra valóságos repülés előtt: → 2500 óra
    2. 5 óra valóságos repülés utáni kiértékelés: → 250 óra
    3. 5 óra különleges esetek gyakorlása: → 250 óra
    4. 5 óra speciális feladatok gyakorlása: → 250 óra
- Összesen: 65 óra/fő/év /3250 óra/

### **Időszámvetés a szimulátor üzemi működésére**

- Egy évben a kiképzésre rendelkezésre álló hetek száma : 47  
(Megjegyzés: kieső hetek száma: -2 hét → évvége miatt,  
-1 hét → ünnepek miatt,  
-2 hét → karbantartás miatt.);
- Az üzemnapok száma:
  - heti: 5 üzemnap;
  - évi: 235 üzemnap;
- Az üzemórák száma:
  - napi: 16 üzemóra (3 műszakban);
  - évi: 3760 üzemóra;
- Kihasztnátlan órák száma: 510 üzemóra (3760-3250);
- Javasolt műszak elosztása órában:
  - I. műszak: 06 - 12;
  - II. műszak: 12 - 18;
  - III. műszak: 18 - 22;
  - Karbantartás vagy IV. műszak 06 -ig.

### **Koncepciós lehetőségek a repülő kiképzésre a megvalósítás viszonylatában:**

- A./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva: ≈180 óra/fő
- B./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva: ≈150 óra/fő
- C./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva: ≈100 óra/fő

*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

D./ MIG-29 :  $\approx 80$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 65$  óra/fő  
L-39:  $\approx 80$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 225$  óra/fő

E./ MIG-29 :  $\approx 50$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 65$  óra/fő  
L-39:  $\approx 80$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 195$  óra/fő

F./ MIG-29 :  $\approx 50$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 65$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 115$  óra/fő

Ha figyelembe vesszük a valós viszonyszámokat -a harcérték szempontjából- a D, E és F koncepciók repült óraadatai megváltoznak:

D./ MIG-29 :  $\approx 80$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 52$  óra/fő  
L-39:  $\approx 48$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 180$  óra/fő

E./ MIG-29 :  $\approx 50$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 52$  óra/fő  
L-39:  $\approx 48$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 150$  óra/fő

F./ MIG-29 :  $\approx 50$  óra/fő  
FSM-29:  $\approx 52$  óra/fő  
Összesen:  $\approx 102$  óra/fő

**Költségek alakulása a különböző koncepciók és 50 pilóta kiképzése esetén:**

A./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva:

$\Rightarrow \underline{\approx 90\,000\,000\ \$/\text{év}}$

B./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva:  
⇒ ≈ 75 000 000 \$/év

C./ Kizárólag csak MIG-29 -es repülőgéppel végrehajtva:  
⇒ ≈ 50 000 000 \$/év

D./ MIG-29 :	≈80 óra/fő	→ ≈40 000 000 \$/év
FSM-29:	≈65 óra/fő	→ ≈ 1 625 000 \$/év
L-39:	≈80 óra/fő	→ ≈ 4 000 000 \$/év
Összesen:	≈225 óra/fő	⇒ ≈ <u>45 625 000 \$/év</u>

E./ MIG-29 :	≈50 óra/fő	→ ≈25 000 000 \$/év
FSM-29:	≈65 óra/fő	→ ≈ 1 625 000 \$/év
L-39:	≈80 óra/fő	→ ≈ 4 000 000 \$/év
Összesen:	≈195 óra/fő	⇒ ≈ <u>30 625 000 \$/év</u>

F./ MÍG-29 :	≈50 óra/fő	→ ≈25 000 000 \$/év
FSM-29:	≈65 óra/fő	→ ≈ 1 625 000 \$/év
Összesen:	≈115 óra/fő	⇒ ≈ <u>26 625 000 \$/év</u>

A számok magukért beszélnek és ez alapján a virtuális valóság gyakorlati alkalmazását költségvetési és kiképzési oldalról is pozitívan lehet értékelni. Fontos megemlíteni hogy, az FSM-29 típusú repülőgép szimulátor sokoldalú lehetőségei mellett alkalmas a MIG-29 típuson rendszeresített minden egyes rakéta típus és tűzfegyverzet alkalmazására (légi és földi célok megsemmisítésére). Nem elhanyagolható, hogy a szimulátor korlátlan darabszámú rakéta indítását is lehetővé teszi, ami a gyakorlati éleslövészet előtt a hajózó állománynak megfelelő gyakorlati jártasságot biztosít, és ezzel a valós repülés egy része kiváltható úgy időben, mint költségében.

### **Kiegészítő javaslat az FSM-29 szimulátor speciális gyakorlataihoz**

Az FSM-29 szimulátor a következő speciális gyakorlatok végrehajtását biztosítja:

- Az összes típusú repülési feladat végrehajtása kis- és földközeli magasságon -a valós vagy speciálisan- az adott repülési feladatnak megfelelően kialakított terep felett;



*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

- A különleges esetek teljes megoldása (pl.: terepre történő kényszerleszállás);
- Felszállás készülségből - kigurulás a bunkerből, felszállás a gurulóútról;
- A fedélzeti fegyver rendszerek teljes körű alkalmazása, látás utáni ellenőrzéssel;
- Manőverező légi harc a cél vizuális láthatósága mellett;
- A harcvezetés új harcászati eljárásainak begyakorlása;
- A cél repülésének az oktató által történő irányítása;
- Géppár repülés iskolakörön;
- Bejövétel a leszálláshoz bonyolult időjárási viszonyok esetén, földetérés látás utáni végrehajtással.

A szimulátor beszerzése esetén a speciális esetek tárházat javasljuk kiegészíteni egy olyan lehetőséggel, ami NATO -ban használatos modern szimulátoroknál már „beépített”; *a madárral való ütközés elkerülésének lehetősége.*

Ennek magyarázataként ide kívánczok Dr. Pokorádi megjegyzése: „A katonai repülésben a madárral történő ütközés komoly problémát jelent. Csupán az Egyesült Államokban évente több mint 3000 madárütközést jelentenek be, általában 50 millió dollárnál nagyobb anyagi kárral. Az Amerikai Légierő 1987 és 1994 között 14 repülőgépet veszített, 11 hajózó halt meg, számosan maradandó sérülést szenvedtek madárral történő ütközés miatt [4].” A MH -ben 1986 és 1993 között a 19 nem repülőgépvezető hibából történt események közel 20 % -át madárral történő ütközés okozta [10].

A fenti példák egyértelműen bizonyítják, hogy a madárral való ütközés a repülésbiztonság egyik komoly problémája. Sajnos ezek a balesetek elkerülhetetlenek, de az ütközések kockázata többféle módon csökkenthető. A lehetőségek egyike a megfelelő madárkikerülési manőver. Azonban ezen manőver hatásossága számos összetevőtől függ, ilyen például a humán fiziológiai tényezők, vagy a repülőgép kormányvezérlő jelekre adott reakciója,...stb. Ezeket a tényezőket kutatták Flight Medicine USAF Hospital (Tyndall Légibázis, Florida) szakemberei és tettek javaslatot a megfelelő repülőgépvezetői teendőkre. Az átlagos pilóta érzékelési ideje 0,1 másodperc, azaz ennyi idő szükséges ahhoz, hogy az információ eljusson az agyig. Az objektum összpontosítására szükséges idő 0,29, míg annak pontos felismerésére 0,69 másodperc szükséges. Természetesen az egyéntől és a különböző helyzetektől ezek a tényezők eltérőek lehetnek. A vizsgálatok kimutatták, hogy egy átlag pilótának 2,0 másodpercre van szüksége ahhoz, hogy dönteni, majd ezt követően cselekedni (manőverezni) tudjon az észlelt szituációban. A döntési idő változik a tapasztalattal, a koncentráció szintjével és a helyzet tudatossága is



jelentős minden esetben. Ha a döntés megszületett 0,4 s szükséges a manőver (pl. botkormány húzására) végrehajtására [3, 4].

A magyar katonapilótákkal történt beszélgetés, valamint a ZMNE Repülő Tanszék tanáraival történt konzultáció eredményeképpen megdöbbenéssel tapasztaltuk, hogy ezt a témát csak megemlítik a kiképzés során, vagy ahogy az egyik hajózó-oktató fogalmazott; „A madárral történő ütközés problematikája utóbbi 10 évben a kiképzés rendszerében ellaposodott.”

A leírtak alapján kijelenthetjük, a madárveszély a repülés biztonságára való hatása folytán fontos oktatásra kerülő tananyag, ezért a hajózó kiképzés alap- és továbbképző rendszerében vissza kell állítani a megfelelő súlyát. Az elkerülő manőverek begyakorlására csak egyetlen lehetőség kínálkozik -aminek nincs konkurenciája!-, ez a szimulátor. Ezen megfontolás alapján javasoljuk az FSM-29 szimulátor megvétele előtt (de bármilyen szimulátor megvételére, avagy saját erőből történő elkészítésére ugyanez vonatkozik) tisztázni a kivitelezővel ezen virtuális valóság programrész meglétét, illetve ennek (FSM-29 nem rendelkezik ilyenl) pótlását.

#### Összefoglalás:

Az előadásunkban (cikkünkben) azt a célt tűztük ki, hogy bemutassuk a virtuális valóság gyakorlati felhasználásának egy olyan lehetőségét az FSM-29 szimulátoron keresztül, amely mind szakmai, mind költségvetési oldalról alátámaszta ezen rendszer alkalmazásának hasznosságát a MIG-29-es pilótáink kiképzésében. Szakmai érvek, repülés szakemberek publikációi és költségvetési számítás alapján bebizonyítottuk, hogy egyrészt az általunk javasolt szimulátor, mint VV. rendszer alkalmazása rendkívül hasznos /a kiképzés hatékonysága javul/, másrészt beszerzése indokolt a felsorolt tények alapján.

#### A felhasznált irodalom:

- 1./ Aero Vodochody Ltd. - Aerotechnika Rt.: Ajánlat a Magyar Honvédség sugárhajtóműves kiképző repülőgépeinek cseréjére L-39 ZO típusról L-39 ZA típusra  
Aerotechnika M & T Budapest, 1996. December.
- 2./ Óvári Gy.: A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonysági kritériumok, valamint NATO- csatlakozásunk figyelembevételével  
HM. OTF. A légierő fejlesztése, Tanulmánygyűjtemény, Budapest, 1997.

*AZ FSM-29 SZIMULÁTOR GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A  
MIG-29 -ES PILÓTÁK KIKÉPZÉSÉBEN A MH -NÉL*

- 3./ Dr. Pokorádi L.: A madárral való ütközés elkerülésének lehetősége  
Haditechnika, 1997/1. pp. 7-8.
- 4./ Dr. Pokorádi L.: Madárveszély a katonai repülésben  
Új Honvédségi szemle, 1997. pp. 66-70.
- 5./ Dr Szabó L.: A virtuális valóság alkalmazási lehetőségei a Magyar  
Honvédség repülőtiszti képzésében  
KKMF , XV. Tudományos Ülésszak, Multimédia szekció,  
Budapest, 1998. Május 7-8.
- 6./ Dr Szabó L.: A virtuális valóság alkalmazása a repülésben, különös  
tekintettel a pilóta és repülő-műszaki képzésre  
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK Külön száma (Merre  
tovább helikopter? Tudományos Ülés előadásai), Szolnok, 1998.
- 7./ Dr Szabó L.: A virtuális valóság gyakorlati alkalmazásának lehetősége a  
repülésben, különös tekintettel a pilóta és repülő-műszaki kiképzésre  
SZOLNOKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK, (A Magyar  
Tudomány Napja alkalmából Szolnokon megrendezett konferencia  
előadásai), ISSN 1419-256 X, ISBN 963 8203 84 6, Szolnok, 1998.
- 8./ Dr. Szabó L.: A virtuális valóság alkalmazási lehetőségei a repülő-  
műszaki és hajózó képzésben  
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK, Szolnok, 1998/1.
- 9./ Óvári Gy.: Nyugati és szovjet gyártmányú légi járművek együttes  
üzemeltetésének, valamint repülő mérnök-műszaki biztosításának  
lehetőségei az MH repülőalakulatainál  
ZMNE, doktori értekezés, 1994.
- 10./ Szabó Zsolt: Légijárművek madárral történő ütközése a repülésbiztonság  
komplex rendszerében  
ZMNE, tdk-i tanulmány, Budapest. 1999.
- 11./ V.R.M. Hungária: FSM-29 Full Mission Flight Simulator for MIG-29  
V.R.M. H. Ltd., Budapest, 1998.

Dr.. SZABÓ LÁSZLÓ - KAVAS LÁSZLÓ - SZILÁGYI MIHÁLY

12./ Virtuál Reality Media, K.f.t.: Simulations and VR technology  
Tanulmány az MH Légierő MIG-29 típusú repülőgéppel üzemelő  
ezredének 2015-ig terjedő kiképzési és harcászati szintjének anyagi és  
technikai biztosításához  
Budapest, 1998.

*In the Engine and Airframe Department of the Aviation Officer' Institute of the Miklós Zrinyi National Defence University we have been searching the possibilities of application of personal computers in the teaching-studying process for fifteen years among other technical topics. From 1997 the main direction of our research is to create a base for application of the virtual reality in the flying and mechanical engineering training. The outhors are writing about FSM-29 simulator of the MIG-29 fighters.*

# A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS

**Dr. Pokorádi László<sup>†</sup>**  
**egyetemi docens**  
**Madarász László**  
**egyetemi tanársegéd**  
**ZMNE, VSzTK**  
**Haditechnikai tanszék**

*Az emberek munkájuk során mindig döntésekre kényszerülnek. A döntések előkészítése és a döntések meghozatala a végrehajtás során különböző eredményeket képez vagy képezhet. A vezetőknek mind morális, mind szakmai szempontokat kell figyelembe venni, ez velük szemben alapvető követelmény. Az egyik ilyen morális kérdés egy meghatározott feladat végrehajtásakor fellépő kockázat nagyságának (szintjének) meghatározása, kezelése és csökkentése. A tanulmány a kockázatkezelés lehetséges alkalmazási területeit mutatja be a repülőműszaki menedzsment tevékenysége során.*

## 1. BEVEZETÉS

Az emberek munkájuk során mindig döntésekre kényszerülnek. A döntések előkészítése és a döntések meghozatala a végrehajtás során különböző eredményeket képez vagy képezhet. A mérlegelések során előnyökkel, hátrányokkal, esélyekkel és kockázatokkal számolunk. Fő törekvés minden esetben a negatív hatások elkerülése, lehetőség szerint minimális szintre csökkentése.

A kockázatkezelésre mind objektív mind szubjektív módszerek állnak rendelkezésünkre. Az első esetben szükség van megbízható adatforrásra, időre, technikai háttérre, amelynek feldolgozását a matematikai eszköztár biztosítja. Szubjektív döntés esetében a döntéshozó az intuíción, tapasztalatára, ismeretére, egyéni preferenciákra támaszkodik. Ezért szükséges olyan

---

<sup>†</sup> A szerző felsőoktatási és tudományos kutatási munkáját az Oktatási Minisztérium Széchenyi Professzori Ösztöndíjjal támogatja

módszertani eljárások kidolgozása, amelyek alkalmazásával a döntéshozó képes a kockázatok elkerülésére, csökkentésére.

A kockázatkezelés hatékonysága fontos tényező a katonai repülés területén is. A repülőgépeket, mint haditechnikai eszközt, üzemeltető és kiszolgáló személyzet sok esetben olyan helyzetekben hozza meg döntését, amikor nem tisztázott az események kimenetele. Az új repülőtechnikai eszköz rendszeresítése, rendszerben-tartása, rendszerből történő kivonása önmagában is bizonytalansági tényezőket hordoz. A hajózők, a műszaki és más kiszolgáló személyek munkavégzésük során kockázati tényezőkkel, valamint azok hatásaival szembesülnek.

Hasonló kockázatok jelentkeznek a mindennapokban is, például amikor közlekedünk, és nem minden esetben ismerjük fel a kockázatok nagyságát, szintjét. A szubjektív döntéseinkkel a közvetlen veszélyek, kockázatok elkerülésére törekszünk, és nem vesszük figyelembe a közvetett veszélyeket.

A döntéshozó személynek szüksége van egy olyan objektív ítéletalkotásra, amely során a fellépő kockázatokat a lehetőség szerint legpontosabban fel tudja mérni és ezek hatásait el tudja kerülni, vagy minimális szintre képes csökkenteni.

## 2. A KOCKÁZAT ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS

Munkánk, tevékenységünk során mindig döntésre kényszerülünk. A döntéseink előkészítése, és meghozatala különböző eredményeket képez vagy képezhet. A kimeneteket a várható hatásuknak megfelelően különböző csoportokba sorolhatjuk. Döntés során mérlegelünk, előnyökkel, hátrányokkal, esélyekkel és kockázatokkal számolunk.

A vezetőknek mind morális, mind szakmai szempontokat kell figyelembe venni, ez velük szemben alapvető követelmény [3]. Egyik ilyen morális kérdés egy meghatározott feladat végrehajtásakor fellépő kockázat nagyságának (szintjének) meghatározása, kezelése és csökkentése. Könnyen belátható, hogy általános érvényű eljárások nem adhatók meg a különböző kockázatok kezelésére.

A kockázat tudományos vizsgálata századunkban kezdődött meg. A klasszikus szerencsejátékokkal kapcsolatban már a XVII. században voltak matematikai alapú kockázati megfontolások, amelyek később a valószínűség számítás kialakulásához vezettek. A kockázat különböző meghatározásaiban közös vonás, hogy mindegyik a kockázatot elsősorban a bizonytalansággal kapcsolja össze [5]. Például WILLET meghatározása: „a kockázat egy



## A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS

*nemkívánatos esemény bekövetkezésének objektív bizonytalansága*”, vagy KNIGHT definíciója „*a kockázat mérhető bizonytalanság*” [1].

Következmény jellege	Biztos esemény ( $P = 1$ )	Lehetséges esemény ( $0 < P < 1$ )
Pozitív	Előny	Esély
Negatív	Hátrány	Kockázat

I. Táblázat

A kockázatkezelés során hátránynak nevezzük a negatívan értékelt következményt. Ennek bekövetkezése — akár ténylegesen, akár feltételesen — a kockázat, azaz a bizonytalan bekövetkezésű negatívan értékelt következmény.

Előnynek tekintjük a biztosan bekövetkező pozitív értékű következményt, az esély pedig a bizonytalan bekövetkezésű pozitív értékű következmény.

A fogalmak meghatározásából látható, hogy a kockázat a következmények mértékétől és a bekövetkezés valószínűségétől függ. E két tényező meghatározására különböző eljárások állnak a döntéshozók rendelkezésére [2]:

➤ *Objektív valószínűség meghatározás;*

Statisztikai adatok birtokában, esetleg kombinatorikai eszközök alkalmazásával határozzuk meg a bekövetkezés valószínűségét.

➤ *Szubjektív meghatározás;*

A döntéshozó személyes tapasztalata, megérzése vagy meglévő ismerete alapján hozza meg döntését.

➤ *Szintetikus valószínűség meghatározás.*

Az előző két módszer között helyezkedik el. Itt nem a közvetlenül rendelkezésre álló adatok alapján hozzuk meg a döntésünket, hanem modellezés vagy más hasonló, alapvetően objektív valószínűségi rendszerek alapján.

Az emberek hétköznapi döntéseiket alapvetően a szubjektív kockázatértékelésre alapozzák. Ezért a kockázat területén a szubjektív ítéletek jelentik a realitást. Ha ezeket közelebb akarjuk hozni az objektív kockázati mértékekhez, akkor vagy rá kell nevelni az embereket az objektív kockázatkezelésre, vagy szubjektív becsléseiket és értékeléseiket gyakorlással, tréningekkel kell reálisabbá tenni, és azt készségi szintre fejleszteni.

A kockázatkezelésre több módszer alakult ki, azonban mindegyikben közös

az eljárásra vonatkozó alapvető lépések alkalmazása. A sorrend és a tartalom a következőkben foglalható össze [4]:

→ *Veszély azonosítása;*

A szervezet, a vezetés által meghatározott cél elérését befolyásoló azon tényezők összességének a felismerése, amely képes a megvalósítás folyamán negatív hatásokat eredményezni.

→ *A kockázati szint, a kockázat mértékének meghatározása;*

Kvantitatív és kvalitatív eljárásokat alkalmazva a meghatározott veszélyekhez kapcsolódó kockázati szintek megállapítása.

→ *A kockázat-csökkentési intézkedések elemzése;*

A meghatározott stratégiák, cselekvési módok és eszközök vizsgálata, amelyek csökkentik, mérséklik a kockázatot. (valószínűség, súlyosság, kitettség — mint összetevők — csökkentése külön-külön vagy együttesen).

→ *A csökkentési döntés meghozatala;*

A kockázatcsökkentési módok megfelelő szinten történő kiválasztása az előző elemzések alapján.

→ *A kockázat-csökkentések végrehajtása;*

A végrehajtási stratégia alapján a feladatok és a végrehajtáshoz szükséges idő és forrás kijelölése meghatározása a végrehajtók részére.

→ *Ellenőrzés, számvetés.*

A kockázatkezelés kiterjed a rendszer, folyamat vagy tevékenység elemzésére a teljes idő intervallumban, amíg a feladat végrehajtásra kerül, vagy a kitűzött célt el nem érjük. A végrehajtás során folyamatosan ellenőrizni, elemezni, értékelni kell a negatív tényezőket. Az értékelés alapján a megfelelő cselekvési változatok kidolgozásra, bevezetésre kerülhetnek a későbbi feladatok kockázatkezelési előkészítése során.

### 3. A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT

A repülőműszaki menedzsment feladata a repülőtechnikai eszközök rendszerbe állításának, rendszerben tartásának tervezése, szervezése, vezetése és irányítása. Ez tartalmazza a kutatást, fejlesztést, beszerzést, rendszerbe állítást, a

## *A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS*

rendszerben-tartást és a rendszerből való kivonást is. A feladat meghatározásából adódik, hogy a menedzsmentnek a megvalósítás érdekében (a célok meghatározása, elérési módjainak kiválasztása stb.) folyamatosan döntenie kell, amelyek rövid és hosszú távon érvényesülő közvetlen és közvetett hatásokat eredményeznek. A döntések alkalmával kockázatokat kell vállalni, amelyek mind objektív mind szubjektív tényezők befolyásolnak. Ezen tényezők a következőkben foglalhatók össze:

### I. Rendszerbeállítás során:

- az adott technikai eszköz műszaki, technikai és harcászati paraméterei;
- speciális és általános feladatok végrehajtására vonatkozó alkalmasság;
- gazdasági és gazdaságossági mutatók.

### II. Rendszerben-tartás során:

- az adott repülőműszaki eszköz teljesítménymutatója, javítási és karbantartási igénye;
- a javítás, karbantartás technológiája, valamint a folyamat során keletkező veszélyes és szennyező anyagok;
- a rendelkezésre álló, a javítást, karbantartást végző személyek szakmai felkészültsége.

### III. Rendszerből való kivonás során:

- az újra hasznosítás lehetőségei;
- a bontás, szétszerelés során keletkező környezet szennyező anyagok fajtái, mennyiségük, kezelhetőségük.

A felsorolt tényezők térben és időben, a végrehajtandó feladatok függvényében más és más döntési módokat igényelnek. A környezetet ért hatásokat sok esetben, mint másodlagos tényezőket értékelik. Itt figyelembe kellene venni a környezet direkt és indirekt terhelését, mert ezek közvetlenül érintik az adott technikai eszköz optimális, feladatorientált alkalmazását. Például egy jól beállított gépjármű motor nem csak megfelelő teljesítménnyel, fogyasztással üzemel, hanem a „legkisebb mennyiségű” környezet szennyező anyagot bocsát ki. Hasonlóképpen érvényesül mindez az üzemfenntartás területén.

Jól látható, hogy a technikai eszközök üzemeltetése során mind a technikát, mind a környezetet különféle sztochasztikus hatások érik. Ezen hatások

következtében beálló műszaki, környezeti állapot változások halmozottan és véletlenszerűen érvényesülnek. Az állapotváltozások figyelemmel kísérése a repülőműszaki menedzsment feladatkörébe tartozik, aki a döntései során közvetlen kapcsolatba kerül a technikával, a technikai kiszolgáló személyekkel és a környezettel. Ezért szükséges, hogy fel tudja mérni a döntéseinek hatását, illetve a döntés meghozatala során jelentkező kockázati tényezőket. Ehhez olyan, lehetőleg objektív, számszerűsíthető döntéshozatali módszer szükséges, amelyek a kockázatot minimálják, és a szubjektum hatását csökkentik. Ebből adódóan, biztosítható az alkalmazott technika, technológia optimális használata, és ennek segítségével mérsékelhetők a kockázati tényezők.

A jelenleg a Magyar Honvédségben rendszerben lévő repülőgépek és más haditechnikai eszközök jelentős része elavult, korszerűtlen. Ezek cseréje, a modern technikai eszközök rendszerbe állítása folyamatban vagy tervben van. Itt jelentkezik a repülőműszaki menedzsmenttel szemben egy olyan döntéshozatali kényszer, amely a harckészültség érdekében a személyi- és technikai környezetben rövid és hosszú távú kockázatkezelési eljárások alkalmazását teszi szükségessé. Ez a repülőműszaki menedzsment feladata és felelősége napjainkban.

## **4. A KOCKÁZATKEZELÉS ALKALMAZÁSA A REPÜ- LŐMŰSZAKI MENEDZSMENT TERÜLETÉN**

### **4.1. A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT ÉS A KÖRNYEZETVÉDELEM**

A környezetvédelem olyan emberi tevékenység, amelynek célja a természetes vagy mesterséges úton létrejött környezeti értékek megóvása. A fenti célok eléréséhez az is szükséges, hogy a környezetvédelem képes legyen az értékek meghatározására.

A környezetvédelemnek ezek alapján a következő egymással szorosan összefüggő emberi tevékenységet kell magába foglalnia:

- a megfelelő környezeti állapot fenntartása;
- a létfeltételt biztosító tényezők védelme;
- a környezettel való gazdálkodás;
- az emberiség etikai fejlődése.



## A REPÜLŐMŰSZAKI MENEDZSMENT ÉS A KOCKÁZATKEZELÉS

Az emberi tevékenység során hatótényezők jönnek létre. Hatótényezőknek nevezzük a változást kiváltó okokat. A hatótényezők — mint a folyamatok elindítói — minden esetben anyag és energia kibocsátások, vagy elvonások. Ezek a következő fő csoportokba sorolhatók:

- szennyezőanyag kibocsátás (levegő-, víz-, talajszennyezés);
- zaj és rezgés kibocsátás, kisugárzás;
- természeti erőforrások készletének megváltozása (csökkenése);
- művi elemek létesítése;
- területi változások.

Századunk második felében létfontosságú kérdéssé vált a környezetvédelem. A technológiai és technikai fejlődés egyre intenzívebb és ennek környezet terhelő hatása közvetlenül és közvetve is mérhető. A közvetett hatások sok esetben csak évtizedek elteltével ismerhetők fel. Ez az időkésedelem előre nem látható károkat okozhat. Fontos, hogy a környezetet érő hatásokat figyelemmel tudjuk kísérni és a szükséges változtatásokat időben lehessen megvalósítani. Ezt elsősorban környezetvédelmi hatástanulmányok elkészítésével lehet megoldani.

A hatástanulmányok által előír szabályzók betartatására több eszköz áll rendelkezésre. Ezek a következők:

- környezetvédelmi díjak, adók;
- piaci engedélyek (szennyezési jogok) rendszere;
- végrehajtási ösztönzők;
- támogatások;
- önkéntes megegyezések;
- felelősségbiztosítások.

A megfelelő szabályzók alkalmazásához, a körültekintő tervezéshez felkészült szakemberekre van szükség. A hadsereg speciális feladatorientáltsága a külső szakemberek igénybevételét nem minden esetben teszi lehetővé. A hatásvizsgálat elvégzése sem biztosítja teljes mértékben a környezet védelmét. Ez nem egy egyszeri döntéshozatal, hanem egy állandóan jelenlévő folyamatnak tekinthető program. A jól behatárolt feladatokkal és döntési jogkörökkel rendelkező szakemberek elősegíthetik, hogy a környezetkárosító hatások kezelhetőek legyenek. Így minimálható annak kockázata, hogy egy alkalmazott technológiai eljárás jelentős környezeti károkat okozzon.

A rendszerváltást követően jelentős szervezeti átalakuláson ment át a Magyar Honvédség. A NATO-hoz való csatlakozás folyamatában szemléletváltásra, döntéshozatali módszerek, megváltoztatására volt szükség. Mind ez olyan



repülőműszaki menedzsment kialakítását igényli, amely képes a döntések meghozatala során a következmények felmérésére, a jelentkező kockázatok behatárolására, valamint a feladatok optimalására.

Itt jelentkezik az ember—gép—környezet kapcsolata, amelynek kimenetén a menedzsment döntése, illetve annak hatásai érvényesülnek. A haditechnikát üzemeltető menedzsment döntései során a környezettel, annak védelmével vagy környezetkárosító hatásaival is szembesül.

A biológiai környezet képes egy bizonyos fokú regenerálódásra, de ez a folyamat idő és a károsító hatás mértékének függvénye. Ezért fontos olyan zárt technológiai, üzemfenntartási rendszerek kialakítása, amelyek felügyelete mellett figyelemmel kísérhető az anyagáram, így felmérhető annak környezetkárosító hatása. A zártrendszer kiépítésében a repülőműszaki menedzsmentnek kiemelkedő szerepet kell vállalnia. Ezen rendszer kiépítése nem csak anyagi eszközök, pénzügyi mutatók függvénye. A korszerű technológiák ismerete lehetővé teszi az optimális döntés meghozatalát, a hatékony üzemfenntartást és nem utolsósorban a gazdasági mutatók megfelelő szinten tartását.

A stratégiai gazdasági döntések sok esetben maguk után vonják a műszaki fejlődést termékek elavulását, új technológiák térhódítását, vagy új létesítményekkel kapcsolatos beruházásokat.

A környezetvédelmi veszélyhelyzetek előidézésében maga az ember, tevékenységével a döntő tényező. Gondoljunk csak a csernobili nukleáris katasztrófát előidéző emberi mulasztások sorozatára. Az emberi tényező elemzése egy külön tanulmányt, kutatási munkát igényel.

Környezetünk védelmének leghatékonyabb módja az lenne, ha a tevékenység végzésekor, a technika minden lehetőségét számításba véve, felhasználva akadályoznánk meg a környezet károsítását. A környezet védelmét a szennyezés helyén kell elkezdeni. Ehhez jól felkészült, széles látókörrel rendelkező, dönteni tudó, döntési jogkörrel rendelkező szakemberekre és haditechnikai, esetünkben repülőműszaki menedzsmentre van szükség.

## 4.2. A KOCKÁZATKEZELÉS ÉS A MUNKAVÉDELEM

A munkavégzéssel kapcsolatos kockázat mind a munkahelyen, mind a magánéletben jelen van. A veszélyforrásokat két csoportra bonthatjuk. A közvetlen veszélyt, amit a technológiai eljárások, munkafolyamatok, alkalmazott eszközök (ide tartozik maga a légi jármű is) jelentenek. A másik tényező a közvetett veszély, amely hatását különböző tényezőkön keresztül fejt ki (káros anyag kibocsátás, zajterhelés, a technikai kiszolgálás során kikerülő

veszélyes anyagok formájában).

A termékek szolgáltatások eladhatóságának egyik összetett kritériuma a minőség—ár viszony. A gazdasági és munkatudományi elemzések kimutatták, hogy a munkáltatók érdeke olyan kedvező munkakörülmények kialakítása, ahol a munkavállalók biztonságosan, egészségüket nem veszélyeztetve, az ergonómiai követelmények figyelembevételével végezhetik munkájukat. Ez esetben a munkavégzés hatékony, minőségében lényegesen felülmúlja az elmaradott, veszélyes munkahelyen dolgozókéét.

A munkáltatók részére előírás, hogy olyan munkakörnyezetet teremtsenek, amely lehetővé teszi az érintettek megelégedettségét a munkahelyi egészségvédelem és biztonság tekintetében.

A kockázat csökkentésének leghatékonyabb eszköze a megelőzés. A munkavédelmi kockázatok megelőzése érdekében a következő eszközök, módszerek állnak rendelkezésünkre:

- a veszélyek elkerülése érdekében, olyan műszaki technológia alkalmazása, amely lehetővé teszi a munkavédelmi szabályok betartását;
- az el nem kerülhető veszélyek értékelése, csökkentési lehetőségeinek meghatározása;
- az emberi tényezők figyelembevétele;
- egységes átfogó megelőzési stratégia kialakítása;
- munkavállalók megfelelő utasításokkal való ellátása.

## **5. ÖSSZEFOGLALÁS**

Korunkban alapvető követelmény a műszaki menedzsmenttel szemben, hogy döntéseik során a szakmai szempontok figyelembe vételén túl a morális, erkölcsi kérésekre is választ adjon. Az egyik ilyen morális probléma a feladatok végrehajtása során fellépő kockázat kezelése. Napjainkban a Magyar Honvédség haditechnikai — és ezen belül a repülőműszaki — eszközparkja elavult. Ezért a repülőműszaki menedzsmentnek egy olyan döntéshozatali kényszerrel kell szembesülnie, amely a harcászultság fenntartása érdekében az adott személyi és technikai környezetben rövid és hosszú távú kockázatkezelési eljárások alkalmazását teszi szükségessé.

A repülőtechnika mind fejlesztése, beszerzése, rendszerbe állítása, rendszerben-tartása, és rendszerből való kivonása során különböző kockázatkezelési eljárások, módszerek alkalmazása szükséges.

Jelen tanulmány a kockázatkezelést és a repülőműszaki menedzsmentet,

azok kapcsolatát, valamint a kockázatkezelés két lehetséges területét mutatta be a haditechnikai (repülőműszaki) menedzsment tevékenysége során.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1 KEREKES S., KINDLER J., Vállalati környezet-menedzsment, BKE, Budapest, 1997.
- 2 Leader's Guide to Crew Endurance, US Army, Safety Center, 1997, pp. 47.
- 3 MICHELBERGER P., A társadalom új elvárásai a közúti közlekedéssel szemben, kihívás a mérnöki társadalom felé, Járművek, Építőiari és Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 1998. 7—8. P.243—245.
- 4 Operational Risk Management (ORM) United States Air Force, Pamphlet 91-215, US Air Force, 1998, pp. 114.
- 5 POKORÁDI L., Bevezetés a műveleti kockázatkezelésbe, Új Honvédségi Szemle, Budapest, (megjelenés alatt).
- 6 VAJDA, GY., Kockázat és biztonság, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

## ABSTRACT

*During their work, people have to make decisions. These decisions can cause various consequences. Leaders should consider moral questions, not only trade problems. It is a basic requirement for them. One of the tasks mentioned above is to manage risk occur during execution. This paper shows possibilities of use of risk management in the field of the flying-technical management.*



# **A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE, HARCI HATÉKONYSÁGUK, TÚLÉLŐ KÉPESSÉGÜK ÉS FENNTARTÁSI KÖLTSÉGEIK NÉHÁNY ÖSSZEFÜGGÉSE**

**Dr. Peták György**  
**Egyetemi docens**  
**Zrinyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék**

*Jelen tanulmányban röviden bemutattam a vadászrepülőgépek főbb fejlesztési irányát, annak hatását az alkalmazás és fenntartás gazdaságosságára. Igyekeztem rámutatni, hogy egy új repülőgép beszerzése esetén a követelménytámasztás és az elbírálás mely szakmai területek gazdasági elemzésére feltétlenül térjen ki.*

## **BEVEZETÉS**

A katonai tevékenység amióta csak létezik mindig nagyon költség igényes volt. Már Montecuccoli megmondta, hogy a háborúhoz három dolog kell: pénz, pénz és pénz. Ez azóta annyiban változott, hogy a korszerű haditechnikai eszközök kifejlesztéséhez, beszerzéséhez egyre több pénz kell. Anélkül, hogy ezt most tételesen bizonyítanám fogadják el, hogy az újabb és korszerűbb azonos rendeltetésű eszközök / pl. harckocsi, repülőgép, lokátor, stb., / árai nem is egyenes arányban, hanem hatvány függvénynek megfelelően növekszenek. Ez azt jelenti, hogy az államok haditechnikai fejlesztése előkészítésénél - mivel minden állam költségvetése véges és annak felosztása nem tetszés szerint alakítható, - valamilyen optimumra kell törekedni a fegyverzet technikai szükségletek kielégítése és a még elviselhető beszerzési és fenntartási költségek között.

Mindez fokozottan igaz a korszerű haditechnika egyik leggyorsabban fejlődő területére a repülésre, ezen belül is a most előttünk álló, beszerzésre váró harcászati vadászrepülőgépekre. A témát az teszi különösen aktuálissá, hogy hazánkban évek óta folyik a hadsereg korszerűsítésének nevezett folyamat, ami

egyrészt a korábbinál kisebb, másrészt hatékonyabb hadsereg létrehozását célozza, valamint a NATO - hoz történő csatlakozással párhuzamosan történik.

A katonai repülés területén levő, túlnyomó részt korábbi szovjet gyártmányú eszközök mára részben előregedtek, részben korszerűtlenné váltak. Ezért folyamatosan cserére szorulnak.

Felmerült többek között a kérdés, hogy a csere során mely eszközök kell, hogy prioritást kapjanak, melyeket lehet hátrább sorolni, illetve ha sor kerül a cserére, melyek lehetnek a kiválasztás főbb szempontjai. Itt két fő szempontot kell megkülönböztetnünk: a NATO elvárásokat, valamint az ország védelmi képességét befolyásoló tényezőket.

A NATO igényeket jegyzőkönyv rögzíti, az ország védelmi képességét befolyásoló tényezőkkel kapcsolatban eddig az lett rögzítve, hogy nincs ellenségképünk, vagyis a szomszédaink részéről nem várhatók ellenséges cselekedetek, valamint hogy rövidesen kidolgozásra kerül az ország védelmi doktrinája, ami tartalmazni fogja a technikai fejlesztést és annak indoklását is.

Addig tehát van lehetőség a kidolgozó munka elősegítése érdekében a téma különböző kérdéseit több szempontból is vizsgálni. A magam részéről a egy új repülőtechnikai beszerzés gazdaságossági oldalát szeretném elemezni, mivel a beszerzés után az eszközök felhasználhatóságát, - az alkalmazásukhoz és a fenntartásukhoz, ezen belül a harckiképzéshez és a harckészültség előírt szintjének fenntartásához való képességét, - a szükséges költségek rendelkezésre állása határozza meg.

Nézzük először a légierő fegyvernemeit érintő, új repülőgép beszerzésével kapcsolatos eddigi döntéseket.

Időrendben az első a 28 db. Mig-29B típusú repülőgép beszerzése volt 1993- ban. Mint tudjuk a beszerzést egyik oldalról a légierő korszerűsítésének már akkor felmerült igénye, másrészt az akkor rendelkezésre állt szovjet államadóság törlesztésének lehetősége indokolta. A döntésnél nem lett figyelembe véve, hogy a NATO-hoz való esetleges csatlakozásunk esetén továbbra is fenntartjuk haditechnikai ellátási függőségünket a Szovjetuniótól, illetve Oroszországtól. A típussal kapcsolatban ennek két vetülete is van: az egyik az alkatrész ellátás, a másik a fegyver és rakéta ellátás.

Az eltelt hat év során eddig az alkatrész ellátás problémáit éreztük, mivel az orosz fél az alkatrészeket már nem volt hajlandó az adósság törlesztés terhére biztosítani, a költségvetés számára pedig túl nagy terhet jelentett a repülőgépek meghibásodásainak kiküszöböléséhez szükséges alkatrész ellátás pénzügyi fedezése. Ennek következtében a repülőgépek átlagos évi üzemképessége elfogadhatatlanul alacsony volt. Ehhez járult a két hajtóműves repülőgép nagy



## *A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE*

átlagos óránkénti üzemanyag fogyasztása, aminek költség igénye szintén hozzájárult a típuson repülő repülőgép vezetők alacsony évi repült idejének kialakulásához.

A témának van azonban egy eddig nem vizsgált katonai politikai oldala, mégpedig a repülőgépek fedélzeti fegyver, lőszer és rakéta ellátása. Mivel eddig éles fegyverekkel történő jelentősebb gyakorlás nem folyt, hiszen a képzettségi szint fenntartása is gondokba ütközött, a beszerzéskor megvett eszközök mennyisége elég volt. Azonban a jelen helyzetben, amikor az ország NATO taggá válik, a fegyverzetrel való ellátás orosz politikai döntések függvényévé válhat, ami megkérdőjelezheti a repülőgépek további rendszerben tartását. Ezzel szerettem volna rámutatni mindjárt az értekezés elején, hogy a technikai beszerzési döntések nagyon sokrétű katonai, politikai, gazdasági elemzést igényelnek.

A következő a repülőgépek saját-idegen / IFF / felismerő rendszerének beszerzése volt. A rendszer megfelelő átalakítás után a vadászipülőgépek egy részébe beépítésre került. A hozzá tartozó földi berendezések is telepítve lettek, azonban ma még csak mint aktív válaszjel adók funkcionálnak. A tényleges saját-idegen kódok kialakítása és bevezetése még hátra van.

A légierő, mint haderőnem béke időszakban is nagyon sok mobil, - az eszközök működtetését, a személyi állomány és a technika mozgását igénylő - feladatot hajt végre. Nézzük ennek indoklását.

A NATO-hoz való csatlakozás első és legfontosabb objektumának létrehozása, a veszprémi Légtér Ellenőrzési Központ létrehozása volt, melynek feladata alapvetően a magyar és a velünk szomszédos országok határaihoz közeli légtér állandó figyelése. Feladatait jelenleg a meglévő, továbbiakban a NATO segítségével telepítésre kerülő lokátor berendezésekkel oldja meg. Aki ismeri az ilyen légtér ellenőrzési központok működését az tudja, hogy állandó készenléti szolgálatot látnak el. A központ úgy is mint beruházás, úgy is mint objektum a légierő egyik legfontosabb szerve, mivel örökös az ország légtérének biztonsága felett.

A légtér védelem következő láncszeme, mely az észlelt adatok alapján hívatott a biztonságot garantálni, az esetleges határsértőt elfogni, leszállítani, vagy megsemmisíteni, a vadászipülőgép.

Nyilvánvaló, hogy a légtér védelemben a vadászipülőgépek kitüntetett szerepük van, amit semmilyen más repülő eszköz nem képes elvégezni. A határsértők ellen elvileg alkalmazhatók a légvédelmi rakéták, azonban kizárólag háború esetén.

A légtér védelmi készütségi szolgálat, tehát állandó, 24 órás feladat mind a központ, mind a vadászipülő egység számára.

DR. PETÁK GYÖRGY

*A REPÜLÉS AZONBAN JELLEGÉNÉL FOGVA OLYAN SPECIÁLIS ÜZEM, MELYNÉL A FELADAT VÉGREHAJTÁSI KÉSZSÉGET ÁLLANDÓAN GYAKOROLNI KELL, HOGY NAPPAL ÉS ÉJJEL, BÁRMILYEN IDŐJÁRÁSI VISZONYOK MELLETT, A PILÓTA KÉPES LEGYEN A HARCFELADAT VÉGREHAJTÁSÁRA. ENNEK ÉRDEKÉBEN A VILÁG ÖSSZES LÉGIEREJÉNÉL A PILÓTA ÁLLOMÁNY ÉVES KIKÉPZÉSI TERVEKNEK MEGFELELŐEN HAJTJA VÉGRE KARBANTARTÓ REPÜLÉSEIT.*

Szintén jellegzetesség, hogy a legtöbb légierőnél, - alapvetően anyagi, költségvetési okokból - egység szinten nem rendelkeznek külön kiképző, illetve harci repülőgépekkel, hanem mind a harckiképzést, mind a harci feladatokat ugyanazonokon a repülőgépeken hajtják végre. Az oktató, ellenőrző jellegű feladatokhoz általában - de nem mindig - rendelkeznek kétüléses, kétkormányos oktató-harci repülőgépekkel, melyeket szükség esetén harcfeladatra is igénybe vesznek.

*FENTIEKBŐL ADÓDIK, HOGY A VADÁSZREPÜLŐ EGYSÉGEK HARCI TECHNIKÁJA EGY IDŐBEN KELL ALKALMAS LEGYEN MIND A HARCKÉSZÜLTSGEI, MIND A HARCKIKÉPZÉSI FELADATOK ELLÁTÁSÁRA, EZÉRT ÜZEMKÉPESSÉGE, HADRAFOGHATÓSÁGA ÁLLANDÓAN A LEHETŐ LEGMAGASABB SZINTEN KELL LEGYEN.*

Azonban tudjuk, hogy a gépek, szerkezetek működés közben meghibásodnak, üzemképtelenné válhatnak. Ezt kell ellensúlyozza a légierő technikai szolgálata a meghibásodott repülőgépek gyors helyreállításával, illetve a repülőgépek tervezője és gyártója olyan repülőgépek létrehozásával, melyek jól bírják az igénybevételt és meghibásodásuk valószínűsége kicsi.

*FENTIEK ALAPJÁN A LÉGIERŐNEK, EREDMÉNYES, HATÉKONY TEVÉKENYSÉGÉHEZ OLYAN REPÜLŐGÉPEKRE VAN SZÜKSÉGE, MELYEK A MEGFELELŐ HARCÁSZATI KÉPESSÉGEIK MELLETT, JÓL BÍRJÁK A NAGY IGÉNYBEVÉTELT, KÖNNYEN, GYORSAN HELYREÁLLÍTHATÓK ÉS GAZDASÁGOSAN ÜZEMELTETHETŐK.*

Mielőtt részleteiben vizsgálom a vadászrepülőgépekkel szemben támasztható különböző követelményeket és azok gazdaságossági összefüggéseit, szeretném aláhúzni, hogy a harcászati vadászrepülőgépek feladatait semmilyen más repülő szerkezetekkel, így pl. harci helikopterekkel sem lehet végrehajtani. De az sem megoldás, ami az utóbbi időszakban politikai és katonai körökben egyaránt hallható, hogy a vadászrepülőgép problémát a MÍG-29-ek úgynevezett korszerűsítésével nagyon gazdaságosan meg lehet oldani. A MÍG-29-et csak azért szerepeltetem a korszerű repülőgépek összehasonlítási táblázataiban, hogy bemutassam, mibe kerül ez a gazdaságos megoldás.

Most felsorolom, majd a továbbiakban részletesen elemzem a vadászrepülőgépek alkalmazási tevékenységének, illetve jellegzetességeinek azokat

## *A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE*

a területeit, melyek gazdaságossági problémái meghatározóak, mind a repülő harckiképzés, mind a hadrafoghatóság fenntartása, mind az állami költségvetés felé felmerülő igény szempontjából.

Ezért az alábbi területeket fogom vizsgálni:

- A vadászrepülőgépek főbb harcászati technikai paramétereinek kihatása az alkalmazás és üzemben tartás gazdaságosságára.
- A harckiképzés és a gazdaságosság összefüggése.
- A vadászrepülőgépek három fő feladata, úgymint a légi célok elfogása, a csapásmérés és a felderítés gazdaságossági vetületei.
- A túlélő képesség és a gazdaságosság összefüggése.
- A vadászrepülőgépek megbízhatósági mutatói és a gazdaságosság.
- Az élettartam költségek hatása az éves kiképzési tervek végrehajtására.
- A főbb paraméterek optimuma, következtetések, javaslatok.

Nézzük tételesen:

### **A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK FŐBB HARCÁSZATI TECHNIKAI PARAMÉTEREINEK KIHATÁSA AZ ALKALMAZÁS ÉS ÜZEMBEN TARTÁS GAZDASÁGOSSÁGÁRA.**

Ha a harcászati kérdések megoldására való alkalmasságot vizsgáljuk, akkor általában a légi célok elfogása, illetve a csapásmérés képességekhez szükséges paramétereket kell vizsgálnunk.

A világ nagy repülőgépgyártói a katonai stratégiák követelményeinek figyelembevételével új utakat keresnek a repülőgép építésben annak érdekében, hogy egyrészt növeljék a repülőgépek harci hatékonyságát, másrészt megtörjék azt a korábbi trendet, ami hatványozottan növelte az új repülőgépek beszerzési és fenntartási költségeit.

Teljesen természetes, hogy az új, korszerűbb, jobb harcászati paraméterekkel rendelkező technikai eszköz előállítási költsége esetleg magasabb a korábbi, kisebb képességekkel rendelkezőnél, azonban, mivel az államok katonai költségvetése nem növelhető tetszőlegesen, ezért az új eszközök, a korábbival azonos feladat végrehajtásához kisebb mennyiségben, illetve kisebb alkalmazási, fenntartási költségekkel kell, hogy kompenzálják az ár növekményt. Ezért az új

repülő technika a korábbinál nem csak korszerűbb, jobb harcászati képességekkel rendelkező, hanem az alkalmazás és a fenntartás területén gazdaságosabb kell legyen.

Milyen tendenciák, technikai megoldások érvényre juttatásával érik el a fenti célokat:

- *A TÖBBCÉLŰSÉG MEGOLDÁSÁVAL.* Ez azt jelenti, hogy egy új, korszerű vadászrepülőgép egyaránt képes a légi célok elfogására, csapásmérésre és felderítésre. Ezáltal három korábban különböző repülőgép feladatait hajtja végre,
- *A RÖVID FEL ÉS LESZÁLLÓ TÁVOLSÁGOK, VAGY A HELYBŐL TÖRTÉNŐ FEL ÉS LESZÁLLÁS KÉPESSÉGÉNEK MEGVALÓSÍTÁSÁVAL.* Ezáltal egyrészt feleslegessé válnak a hatalmas beton felszálló mezők, másrészt harcászatiilag a vadászrepülőgépek közel vihetők a front vonalához, illetve jól elrejtethetők. Ezek a tulajdonságok egyidejűleg szolgálják a költség megtakarítást és a túlélő képesség növelését.
- *AZ ÜGYNEVEZETT „LOPAKODÓ” ELV ALKALMAZÁSÁVAL,* ezáltal a túlzott manőver paraméterek csökkentésével. Ez azt jelenti, hogy a legújabb repülőgépeken a maximális M szám pl. az F-117A-nál 0,9-1, az F-22-nél 1,55, ami jóval alacsonyabb, mint a korábbi típusokon. Ennek kompenzálására igyekeznek jelentősen növelni a fedélzeti radarok felderítési és rávezetési távolságát, valamint a rakéta fegyverzet manőverező képességét és hatótávolságát, ugyanakkor tervezési módszerekkel és speciális könnyű szerkezeti anyagok alkalmazásával csökkenteni a repülőgépek radar, infra és vizuális felderíthetőségét. Ezáltal összességében a repülőgépek harcászati hatékonysága és manőverező képessége a rakétákéval kiegészítve még növekszik is.
- *A FEGYVERZET HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSÉVEL.* Az előzőeket kiegészítve a fedélzeti fegyverek lehetővé teszik, hogy a célokat leküzdjék már a látóhatáron túli távolságon. Ha pedig mégis közelharcba keverednek, akkor a lokátor, az infravörös célzó berendezés és a rakéta vezérlő fej együttesen képes legyen a cél leküzdésére. Itt nagyon fontos, hogy a légi harc rakéták a repülőgépnél jóval nagyobb túlterhelések elviselésére képesek.
- *A KOMPUTEREK SZÉLESKÖRŰ ALKALMAZÁSÁVAL.* A komputeres mennyiségének és feladatainak intenzív növelése mind a repülőtechnika vezérlése, harcászati feladatainak megoldása, mind az összes lehetséges elemezhető adatok gyűjtése és feldolgozása terén lehetővé teszi az alkalmazás és a fenntartás optimalizálását.

Fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a gazdaságosságra való törekvések jelentősen áthatják az új repülőtechnika fejlesztésének és gyártásának egészét.



## A HARCKIKÉPZÉS ÉS A GAZDASÁGOSSÁG ÖSSZEFÜGGÉSE.

Mint már a bevezetőben említettem, a repülőgép vezetők, a magas szintű kiképzettség fenntartása érdekében, állandóan részt kell vegyenek a repülésben. Vadászipülőgép vezetőknel ez típustól függetlenül, évi legalább 120 repült órát jelent. Lefordítva a költségek nyelvére, ennyi órával kell szorozni repülőgép vezetőkent, a típusra érvényes óránkénti, fenntartási és működési költségeket.

Az 1. számú mellékletben levő táblázatok alapján, vizsgáljuk meg hazai viszonyokra az ott feltüntetett négy különböző repülőgép típusra, a harcászati és a gazdasági paraméterek kihatásait. /Az adatok forrását a forrásmunkák felsorolásában feltüntettem./

A repülőgép vezetők folyamatos harckiképzését, hadrafoghatóságuk fenntartását tehát a harci alakulat /század, ezred, stb./ saját harci repülőgépeivel oldják meg olyan feltételek mellett, hogy a repülőgépeknek, az előirt hadrafoghatósági szint fenntartása érdekében - legalább 85-90 %-ban - üzemképes állapotban kell maradni. Ez csak úgy oldható meg, ha a repülés során keletkező meghibásodásokat azonnal kijavítják. A javításhoz azonban a legtöbb esetben rendelkezésre kell álljanak a megfelelő tartalék alkatrészek.

Tehát a repülőgép vezetők gyakorlatban tartásának költségkihatását két fő tényező határozza meg:

- *AZ ÓRÁNKÉNTI ÁTLAGOS ÜZEMANYAG FOGYASZTÁS, illetve*
- *a repülőgépek megbízhatósági paramétereiből kialakuló ÓRÁNKÉNTI ALKATRÉSZ ÉS JAVÍTÁSI KÖLTSÉGEK.* Ezek a költségek már a repülőgépek beszerzésekor ismertek és a gyártó cég által rendszerint ismertetésre kerülnek, mivel ennek alapján történik a repülések biztosításához az éves költségvetés megtervezése, a szükséges tartalék anyagok időbeni beszerzése.

Persze vannak a kiképzési repülések biztosításának egyéb költségei mint pl. a repülőterek karbantartása, a lokátor, híradó, leszállás biztosítás, irányítás, stb. Azonban ezt nem a repülőgépek, hanem a repülés biztosítás költségeinél tervezzük.

A repülőgépek költségeinek összehasonlításánál most csak a repülőgépek közvetlen költségeit vizsgálom, ezek az óránkénti üzemanyag fogyasztás és az egy órára jutó alkatrész, illetve javítási fenntartási költségek.

Az 1. sz. melléklet 1-7.sz. táblázatai mutatják a típusok óránkénti üzemanyag, illetve alkatrész, fenntartás költségeit.



Az adatok alapján főbb következtetésem az alábbiak:

- a repülőgépek alkalmazási, fenntartási költség mutatói ugyan olyan fontosak a beszerzésnél, mint a harcászati paraméterek,
- a repülőgépek beszerzésekor el kell émi, hogy a harcászati követelmények és az alkalmazási, fenntartási paraméterek között megfelelő optimumot hozunk létre. Ezalatt azt értem, hogy a repülőgépek korszerű fegyverekkel, jó paraméterekkel, képesek legyenek a légi cél leküzdésére, ugyanakkor az éves szükséges fenntartási költségeiket a költségvetés képes legyen biztosítani.

## **A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK HÁROM FŐ FELADATA, ÚGYMINT A LÉGI CÉLOK ELFOGÁSA, A CSAPÁSMÉRÉS ÉS A FELDERÍTÉS GAZDASÁGOSSÁGI SZEMPONTJAI.**

A légi célok elfogásával kapcsolatban a fejlesztési tendencia azt mutatja, hogy a célok megsemmisítési képességét nem annyira a sebességi és manőver paraméterek növelése, mint inkább a fedélzeti radar berendezés és a rakéták felderítési és indítási távolsága, valamint a rakéták önálló célra vezetési képessége határozza meg. Ezáltal két tényező lett nagyon fontos:

- *AZ INDÍTHATÓSÁG A LÁTÓHATÁRON TÚLI CÉLRA*, valamint
- a *LŐJ ÉS FELEJTSD EL* elv, ami azt jelenti, hogy az elfogó repülőgép nem követi tovább a célt.

Ezáltal a légi célok megsemmisítésénél a közel légi harc csak valamilyen váratlan tényező miatt következhet be, megvívását pedig a közel légi harc rakéták manőver paraméterei állandó javításával igyekeznek eredményessé tenni.

A csapásmérést a repülőgépek terhelhetősége, és ehhez tartozó hatótávolsága határozza meg. Teljesen nyilvánvaló, hogy vadászrepülőgépekkel légi csapást csak front mélységben hajtanak végre. Nagyobb távolságú, vagy nagyobb erejű légi csapásokhoz különböző kategóriájú bombázó repülőgépeket alkalmaznak.

Ebből fakad, hogy front esetén a vadászrepülőgépekkel történő harcászati csapásmérés mélysége általában nem haladja meg a 350-450 kilométert.

Ennek alapján az 1. sz. melléklet 8. sz. táblázatában levő adatok azt bizonyítják, hogy a feladatra mind a négy vizsgált repülőgép megfelel.

## A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE

Korunkban a vadászipülögépek a légi csapást nem annyira a nagy súlyú hagyományos bombákkal, mint inkább a korszerű „okos” / smart / fegyverekkel hajtják végre. Ezek jellegzetessége a pontos célba találás, a hatékony rombolás, vagy terület lefogás, illetve a fegyver indíthatósága az ellenséges frontvonal előtt /stand off weapon /. Ezek a fegyverek csak a legkorszerűbb repülőgépekről alkalmazhatók.

*KÖVETKEZÉSKÉPPEN TEHÁT, A BESZERZÉSKOR NEM CSAK AZT KELL VIZSGÁLNI MILYEN A REPÜLŐGÉP KÜLSŐ TEHER SZÁLLÍTÁSI KÉPESSÉGE ÉS HATÓSUGARA, HANEM AZT IS, HOGY MILYEN KORSZERŰ ÉS MENNYIRE HATÉKONY FEGYVERZET CÉLBA JUTTATÁSÁRA KÉPES.*

Mivel front mélységben mind a négy repülőgép képes a csapásmérésre a szükséges távolságra, fő kérdésnek tartom a célba juttatható fegyverzet vizsgálatát.

A felderítéssel kapcsolatban a korszerű vadászipülögépek olyan fedélzeti felderítő és célzó lokátorral rendelkeznek, mely az alattuk levő terület térképezésére, a lokátor térkép adatátvivő rendszer segítségével történő továbbítására is képes. Egy ilyen térkép kiválóan alkalmas a felderítendő objektumok elemzésére.

Azonban ezen kívül a függesztő tartókon is elhelyezhetők speciális felderítő konténerek, melyekben optikai, infra és rádiófrekvenciás felderítő berendezések lehetnek. A fő, hogy a repülőgép képes legyen ezek működtetésére. Ma már a front mélységű harcászati felderítésre nem építenek külön repülőgépeket, hanem a fenti módon oldják meg a kérdést.

Természetesen a stratégiai felderítést műholdakkal, korai előrejelző repülőgépekkel /AEW/ végzik.

A vizsgált típusok közül csak a MÍG-29 nem rendelkezik a fent leírt konténer függeszthetőséggel.

## A TÚLÉLŐ KÉPESSÉG ÉS A GAZDASÁGOSSÁG ÖSSZEFÜGGÉSE.

A korszerű vadászipülögépek egyik legfontosabb tulajdonsága a túlélő képesség. Ezalatt azt a fogalmat értjük, hogy ha a repülőgép a levegőben meghibásodik, találat éri, akkor milyen képességekkel rendelkezik ezek hatásának kivédésére és a bázisra történő visszatérésre. Általában ezt a képességet az alábbi tényezők befolyásolják:

- *A REPÜLŐGÉP ELLENSÉGES TÁMADÁS ELLENI VÉDELME.* Ebbe bele tartozik a saját fegyverzet hatótávolsága, hatékonysága, ami képessé teszi arra hogy elsőként semmisítse meg a támadót, valamint a berendezések, rendszerek többszörös tartalékolása, ami képessé teszi, a rendszer üzemképtelenné válása esetén a tartalék rendszer, vagy rendszerek egymás utáni műköedésbe lépésével a meghibásodás, vagy találat következményei kivédésére.
- *A REPÜLŐGÉP FELSZERELTSÉGE KOMPUTER VEZÉRELT REPÜLŐGÉP VEZETÉSI /FLY-BY-WIRE / RENDSZERREL,* ami képessé teszi a további repülésre még akkor is, ha egy oldalon két vezérlő felülete megsemmisült.
- *A REPÜLŐGÉP MEGFELELŐ LOPAKODÓ SAJÁTÓSÁGAI,* melyek nehezítik mind a radar, mind az infra, mind a vizuális felderíthetőségét, rontják az ellenség célzási lehetőségeit.

Mindezek a tényezők nagyon pozitívan hatnak a gazdaságosságra, mivel segítenek megőrizni a repülőgépet, mind békében, mind háborúban.

## A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK MEGBÍZHATÓSÁGI MUTATÓI ÉS A GAZDASÁGOSSÁG.

A repülőgépek megbízhatósági jellemzői nemzetközileg szabványosítottak, azokat minden gyártó cég, minden típusra, elméleti úton és a gyakorlati tapasztalatok figyelembe vételével számolja, a repülőgépről adott információs anyagaiban szerepelteti. Mint minden matematikai statisztika alapján meghatározott számérték akkor igazán pontos, ha minél szélesebb adatbázist tud figyelembe venni. A megbízhatósági jellemzők alapvetően a tervező és a gyártó által beépített szintet tükrözik, azonban ez csak szakszerű fenntartói tevékenység mellett realizálható.

A megbízhatósági paraméterek a gazdaságosság szempontjából azért nagyon fontosak, mert ezek határozzák meg a fenntartási költségeket.

Egyrészt az alkatrész igényt és mennyiséget, másrészt a munka ráfordítást. Ha a paraméterek igazak az éves alkatrész igények és a munkavégzés ezen bázison kialakított szervezete megfelelő, ha nem, úgy üzemképtelenség és a személyi állomány túlterhelése jelentkezik.

Az 1. sz. melléklet 9. sz. táblázatában feltüntettem a legfontosabb átlagos jellemzőket, melyeket általában a típusok összehasonlításánál szoktak alkalmazni. Azonban repülőgép beszerzéskor a gyártó köteles bemutatni a tétel, alkatrészenkénti, csomópontonkénti adatokat, melyek az első két év alkatrész beszerzési bázisaként szolgálnak.



## A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE

Annak kivédésére, hogy esetleg a gyártó nem megalapozott paramétereket közöl, a szerződésben ki lehet kötni, hogy ha a tapasztalati adatok túllépnek a megadott értékeken annak költségei a gyártót terhelik.

A táblázatban csak bemutatásképpen közöltem adatokat. Ezeken kívül még nagyon sok mutató vizsgálata fontos, azonban kereskedelmi okokból azokat a gyártók csak bizalmas okmányokban, tenderen, vagy szerződéskötésen hajlandók bemutatni. Ezért nagyon fontosnak tartom a beszerzőkor ajánlattevő cégek részéről szerződésbe foglalható megbízhatósági adatok bekérését.

Csak pontosítás érdekében jegyzem meg, hogy a 12. sz. táblázatban azért nem adtam meg a MÍG-29 paramétereit, mert a hazai adatok túlzottan eltértek a gyár által megadottól.

## AZ ÉLETTARTAM KÖLTSÉGEK HATÁSA AZ ÉVES KIKÉPZÉSI TERVEK VÉGREHAJTÁSÁRA.

A repülőgépek gazdaságosságának egyik legfontosabb mutatója az élettartam költség. Ebbe beleszámítják a beszerzés, a működés és a fenntartás összes költségeit. Ezen költségek közül a beszerzés költsége azonnal, a többi költség az alkalmazás során jelentkezik. Nyilvánvaló, hogy a fenntartási költségek jelentősen függenek az alkalmazás intenzitásától, azonban a megbízhatósági és a túlélő képességi paraméterek is meghatározók.

Az élettartam költségeket meghatározó főbb paraméterek az alábbiak:

- *A REPÜLŐGÉP TECHNIKAI ÜZEMIDEJE, VAGY ÉLETTARTAMA.* Ugyanis ez az a vetítési alap amire visszaosztjuk a befektetett költségeket. Nyilvánvaló, hogy minél hosszabb a repülőgép élettartama, ezen belül a rendszerben tartható ideje, annál gazdaságosabb lesz, mert annál több évvel oszthatjuk a teljes ráfordítást. *A RENDSZERBEN TARTHATÓ IDŐ FÜGG A TELJES TECHNIKAI ÉLETTARTAMTÓL, DE EZEN BELÜL FÜGG AZ ELAVULÁSTÓL.* Ezen azt értjük, hogy a repülőgép harcászati paraméterei és fegyverzete meddig képes megfelelni a kor követelményeinek. Azok a leggazdaságosabb repülőgépek, melyek rendszerei maximálisan komputer vezéreltek, ezáltal a repülőgépnek az idő során esetleg elavuló fegyverzeti, vagy más berendezését, rendszerét egyszerű szoftver cserével korszerűvé lehet tenni. Erre jó példa az F-16, melynek az elmúlt több mint húsz évben sok változata jelent meg és még

újabb változatai is készülnek. Ugyanilyen a JAS-39, ami szintén alapvetően komputer vezérelt és ezáltal folyamatosan tovább fejleszhető.

- *A REPÜLŐGÉP JAVÍTÁSKÖZI ÜZEMIDEJE*, ami alatt értjük a repülőgép használatát az ipari mélységű javításig. Bizonyos repült óra, vagy naptári idő után a legtöbb repülőgépen végre kell hajtani ipari szintű átvizsgálást és helyreállítást, azonban nem mindegy, hogy milyen gyakorisággal, illetve milyen mélységű megbontással. Ezek a paraméterek jelentősen befolyásolják a fenntartási költségeket. Általában a nagyjavítás az új termék árának 25-30%-a. A korszerű repülőgépek felszerelésre kerültek beépített hiba jelző rendszerrel, illetve a fő teherviselő elemeken terhelés mérőkkel, melyek adatait a fedélzeti komputerből repülési feladatonként összegyűjtik, elemzik és ezáltal folyamatosan ismerik a repülőgép és rendszerei tényleges technikai állapotát. Ilyen, úgynevezett állapot szerint üzemeltethető repülőgépeknél a javításközi időt viszonylag hosszúra tudják meghatározni, vagy csak a paraméterek alakulása alapján egyedileg állapítják meg. Ez jelentősen csökkenti a fenntartási költséget. Azonban csak olyan repülőgépeken alkalmazható, melyek építésénél az állapot figyelő és meghibásodást kijelző rendszert eredetileg beépítették, utólag ez már nem pótolható.
- *A FONTOSABB BERENDEZÉSEK ÉLETTARTAMA, JAVÍTÁSKÖZI ÜZEMIDEJE*. Ilyenek pl. a hajtómű, vagy más berendezések, melyek üzemideje eltér a repülőgépétől. Ezeknek a javítását, cseréjét külön végzik, költségeik jelentősen növelhetik a repülőgép fenntartási költségeit.

*AMINT AZT A MÁSODIK PONT ALATT ELEMÉZTEM A REPÜLŐ HARCKIKÉPZÉS IGÉNYLI A REPÜLŐGÉPEK ÁLLANDÓ REPÜLTETÉSÉT, A MAGAS SZINTŰ HADRAFOGHATÓSÁG PEDIG IGÉNYLI A REPÜLŐGÉPEK ÁLLANDÓ ÜZEMKÉPESÉGÉT. A KÉT TÉNYEZŐ CSAK AKKOR REALIZÁLHATÓ EGYIDEJŰLEG, HA RENDELKEZÉSRE ÁLL A KÖLTSÉGEK FEDEZETE.*

Ezért már a beszerzéskor tisztázni kell az élettartam költségeket meghatározó paraméterek alapján mennyibe fog kerülni a repülőgépek egy repült órája, amit a fenti üzemidők, a típusra kialakított javítási rendszer, és a repülőgéptől függetlenül, külön üzemidővel rendelkező berendezések határoznak meg.

*KORSZERŰ REPÜLŐGÉPEK NAGYON NAGY REPÜLHETŐ IDŐVEL RENDELKEZNEK, EZÉRT TÖBB TÍZ ÉVIG RENDSZERBEN TARTHATÓK, TÖBBSZÖR KORSZERŰSÍTHETŐK. NYILVÁN OLYAN REPÜLŐGÉPET CÉLSZERŰ BESZEREZNI, AMELYNEK EZALATT AZ IDŐTARTAM ALATT ELŐRE MEGHATÁROZHATÓAN ALACSONY LESZ A TELJES ÉLETTARTAM KÖLTSÉGE.*



## A FŐBB PARAMÉTEREK OPTIMUMA, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.

A téma kérdései tovább elemezhetők, a típusok tender során igényelhető, nyílt szakirodalomban nem fellelhető adatai alapján. Céлом csak annyi volt, hogy bizonyítsam, a harcászat - technikai és a fenntartási költség adatokat együtt kell vizsgálni, mert egy ország csak a saját nemzeti jövedelméből a védelemre fordítható részből tudja finanszírozni a védelmi eszközök fenntartását is. Ezért minden katonai szakértőt óva intenek a maximális képességek igényétől.

Minden védelmi eszköznél a harcászati és költség tényezők kiválasztásánál a lehetséges optimumra kell törekedni. Szerintem melyek ezek a vadászrepülőgépekre:

- *A HARCÁSZATI PARAMÉTEREK KÖZÜL AZ ELFOGÁST, CSAPÁSMÉRÉST, FELDERÍTÉST BIZTOSÍTÓ SZÜKSÉGES ÉS ELÉGSÉGES ÉRTÉKŰEK, RÉSZLETESEN VIZSGÁLVA, HOGY EGYES PARAMÉTEREK ÉRTÉKÉNEK NÖVELÉSE, VAGY CSÖKKENTÉSE MENNYIVEL NÖVELI, VAGY CSÖKKENTI A FENNTARTÁS KÖLTSÉGÉT,*
- *AZ ALKALMAZHATÓ FEGYVERZETI ESZKÖZÖK, VAGY RENDSZEREK MENNYIVEL NÖVELIK A REPÜLŐGÉP HARCÁSZATI HATÉKONYSÁGÁT, MENNYIRE ELŐNYÖSEK AZ ÖSSZKÖLTSÉG CSÖKKENTÉSÉNÉL,*
- *A KORSZERŰSÉG, A TÖBBCÉLÚ ALKALMAZHATÓSÁG, A SZÁMÍTÓGÉPESÍTÉS, AUTOMATIZÁLÁS SZINTJE, A TÚLÉLŐ KÉPESSÉGI, VALAMINT A MEGBÍZHATÓSÁGI PARAMÉTEREK ÉS A TOVÁBBI FEJLESZTHETŐSÉG, MILYEN NAPTÁRI ÉS REPÜLÉSI IDEJŰ RENDSZERBEN TARTÁST TESZ LEHETŐVÉ, ILLETVE HOGYAN ALAKÍTTJA AZ ÉLETTARTAM KÖLTSÉGEKET,*
- *MELYIK TÍPUS BIZTOSÍTTJA A MINIMÁLIS ÉVES KÖLTSÉGSZINTET, - ELFOGADHATÓ ÉVES KIKÉPZÉSI REPÜLÉSI ÓRASZÁM, ILLETVE REPÜLŐGÉP HADRAFOGHATÓSÁGI SZINT MELLETT, - A REPÜLŐGÉP VEZETŐK HARCKIKÉPZÉSI SZINTJÉNEK ÉS A REPÜLŐGÉPEK ELŐÍRT ÜZEMKÉPESSÉGI SZINTJÉNEK FENNTARTÁSÁHOZ.*

Mindebből az következik, hogy a beszerzési döntés előtt sok tényezőt figyelembe vevő számítást kell elvégezni, azonban minden felsorolt kritérium a típusok adatai részletes ismeretében könnyen gyorsan kiszámítható és ezzel elkerülhető a MÍG-29 vásárlás összes eddigi problémájának megismétlése.

## 1 SZÁMÚ MELLÉKLET.

A REPÜLŐGÉPEK REPÜLT ÓRÁNKÉNTI ALKATRÉSZ ÉS FENNTARTÁS IGÉNYE.

Rg. típus	F- 16C/	F/A -18C	JAS- 39	MIG- 29B
USD/Re. Óra	6500	8400	4600	17200

1.sz. táblázat.

A REPÜLŐGÉPEK REPÜLT ÓRÁNKÉNTI ÁTLAGOS ÜZEMANYAG FOGYASZTÁSA  
/ KG/ÓRA /

Rg. típus	F-16/C	F/A-18C	JAS-39	MIG-29B
Fogyasztás kg/ó	3977	4860	2430	4860
Fogyasztás Ft.	258505	315900	157950	315900

2.sz. táblázat.

A repülő petroléum 1998 év végi ára a HM részére 65000 Ft/tonna.

A repülőgépek óránkénti alkatrész és fenntartási költsége 1999 március 05-i  
1 USD = 240 Ft áron.

Rg. típus	F-16C/D	F/A-18C	JAS-39	MIG-29B
Ft.	1,560,000	2,016000	1,104,000	4,128,000

3. sz. táblázat.

FELTÉTELEZVE ÉVI 180 ÓRA / REPÜLŐGÉP REPÜLÉST, MIVEL AZ ÁTLAGOSAN  
CÉLSZERŰ REPÜLŐGÉP VEZETŐ/ REPÜLŐGÉP ARÁNY 1/1,5 AZ ÉVES  
ÜZEMANYAG KÖLTSÉG EGY 12 REPÜLŐGÉPBŐL ÁLLÓ SZÁZADRA:

Rg. típus	F-16C/D	F/A- 18C	JAS-39	MIG-29B
Ft.	46,530,900	56,862,000	28,431,000	56,862,000

4. sz. táblázat.

HA MOST FIGYELEMBE VESSZÜK, HOGY EGY 12 DB. REPÜLŐGÉPBŐL ÁLLÓ  
SZÁZAD ÉVES KÖLTSÉGEIBEN MENNYI AZ ALKATRÉSZ KÖLTSÉG UGYANERRE AZ  
IDŐTARTAMRA:

*A VADÁSZREPÜLŐGÉPEK KORSZERŰSÍTÉSE*

Rg. típus	F-16C/D	F/A-18C	JAS-39	MÍG-29B
Ft.	280,800,000	360,000,000	198,720,000	743,040,000

5. sz. táblázat.

A KÉT FENTI KÖLTSÉG EGYÜTTES ÖSSZEGE:

Rg. típus	F-16C	F/A-18	JAS-39	MÍG-29B
Ft.	327,330,900	416,862,000	227,151,000	799,902,000

6. sz. táblázat.

FENTIEK ALAPJÁN HA MOST ÖSSZEHASONLÍTJUK AZ ÉVES ÜZEMANYAG ÉS ALKATRÉSZ KÖLTSÉGEKET EGY 12 GÉPES REPÜLŐ SZÁZADRA, ÉVI 180 ÓRA/REPÜLŐGÉP REPÜLÉS ESETÉN, A TÍPUSOK VONATKOZÁSÁBAN, AKKOR A KÖVETKEZŐKET KAPJUK:

Rg. típus	Összköltség Ft.	Különbség Ft-ban	%-ban
JAS-39	227,151,000	0	0
F-16C	327,330,900	100,179,900	44
F/A-18C	416,862,000	189,711,000	184
Míg-29B	799,902,000	572,751,000	352

7. sz. táblázat.

TEHÁT A MÍG-29B ÉVES ÜZEMANYAG ÉS ALKATRÉSZ KÖLTSÉGE UGYANANNYI, UGYANOLYAN REPÜLÉSI ÓRÁRA 3,52 SZERESE, AZ F/A-18C 1,84 SZERESE, AZ F-16C PEDIG 1,44 SZERESE A JAS-39-NEK.

Természetesen ezek a költség különbségek tovább nőnek, ha figyelembe vesszük, hogy jelenleg a légi erő 27 db. MÍG-29B-t tart üzemben.

Tulajdonképpen a fenti táblázat mutatja meg, hogy miért volt az elmúlt hat év alatt olyan alacsony a MÍG-29-ek üzemképessége és repült ideje. Ennek oka, hogy egyik évben sem állt rendelkezésre a táblázatban szereplő fenntartáshoz szükséges összeg a költségvetésből.

**BOMBATERHELÉS ÉS HATÓSUGÁR MEGHATÁROZÁSA.**

Rg. Típus.	F-16C	F/A-18C	MÍG-29B	JAS-39
Külső függ. kg.	6800	7000	3000	3500
Hatósugár km.	1260	1037	750	740

8. sz. táblázat.



DR. PETÁK GYÖRGY

A fenti adatok a típusok maximális külső terhelhetőségét, illetve a típusra megadott hatósugár adatokat tartalmazzák. Ezek összhangját csak a terhelés függvényében meghatározható óránkénti üzemanyag fogyasztással lehet pontosítani.

A REPÜLŐGÉPEK MEGBÍZHATÓSÁGI ÉS FENNTARTÁSI JELLEMZŐI.

Rg. Típus	F-16/C	F/A-18C	JAS-39	MÍG-29B
Két meghibásodás közötti re. idő óra.	4,1	1,3	7,6	-
Munka óra/re. óra	3,4	11,1	2,5	-

9. sz. táblázat.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. ÓVÁRI Gyula: A Magyar Honvédség repülő eszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági kritériumok, valamint NATO csatlakozásunk figyelembevételével. A légierő fejlesztése tanulmánygyűjtemény. Honvédelmi Minisztérium. 1997. 9-117 old.
- [2] DR. ÓVÁRI Gyula: Korszerű harcászati repülőgépek műszaki üzemeltetésének sajátosságai és gazdaságossági-hatékonysági kérdései. A harcászati repülőgépek fejlesztésének szükségessége és lehetősége. Konferencia előadás gyűjtemény. Magyar Hadtudományi Társaság. 1998. 26-33 old.
- [3] DR. PETÁK György: A repülőtechnika üzemben tartása és javítása. Főiskolai jegyzet. KGYRMF. 1981.
- [4] DR. PETÁK György: A MÍG-29 típusú repülőgépek korszerűsítése. Hadtudomány. A Magyar Hadtudományi Társaság. 1999/1.
- [5] DR. PETÁK György: Repülőgépek bonyolult repülési helyzetben. Magyar Szárnyak. A Magyar Hadtudományi Társaság. 1998. 230-235.old.

*In the study I have briefly shown the main line of the fighter development and it's economical influence to the operation and maintenance tasks of the aircrafts. I wanted to point out, that in case of new aircraft procurement have to be evaluated all the listed in the study special fields to meet the economic requirements.*

# A JÖVŐ SZÁZAD REPÜLÉSÉNEK KÖRNYEZETI KIHÍVÁSA

**Dr. Pokorádi László<sup>†</sup>**  
**egyetemi docens**  
**Bera József<sup>✕</sup>**  
**egyetemi tanársegéd**  
**ZMNE VSZTK**  
**Haditechnikai tanszék**

*A légi közlekedés számára kezdetektől fogva a teljesítmény növelése, a gazdaságosság és a repülési biztonság volt a legfontosabb. Így a környezetvédelem a gazdasági élet más területeihez hasonlóan a repülésben is a periférián jelent meg, korábban sem a tervezők, sem az üzemeltetők nem tulajdonítottak különösebb jelentőséget neki. Azonban századunk környezeti kihívása a légi járművek fejlesztői és üzemeltetői számára is új követelményeket támaszt, a hagyományos műszaki tervezési és gazdaságossági paraméterek mellett egyre inkább megjelennek a környezetvédelem kérdései. Jelen tanulmányunkban a jövő század repülőgép tervezésével és üzemeltetésével összefüggő környezetvédelmi — jelentőségét tekintve elsősorban a zajvédelmi — kérdéseit és lehetséges megoldásait foglaljuk össze.*

## 1. KÖRNYEZETVÉDELMI HELYZETELEMZÉS

Napjaink alapvető emberi igénye a mobilitás, ezért a XXI. évszázad során egy várhatóan jelentős és a korábbihoz hasonlítható technikai fejlődés következményeként várható egy gyökeresen új és telített világ kialakulása. A Föld látszólagos mérete lecsökken — melyben jelentős szerepet játszik a légi közlekedés — és várhatóan az úgynevezett legújabb kori népvándorlás és a globalizálódás lesz a következő évezred első századának jellemzője [3].

A 20 évvel ezelőtti kőolajválság már jelentős hatással volt a technikai fejlődésre, de a hetvenes években a Római Klub is megjósolta, hogy az

<sup>†</sup> A szerző felsőoktatási és tudományos kutatási munkáját az Oktatási Minisztérium Széchenyi Professzori Ösztöndíjjal támogatja

<sup>✕</sup> A szerző tudományos kutatási tevékenységét a Környezetvédelmi Minisztérium támogatja.



energiaforrások kiapadása a társadalmunk végét fogja okozni. Mindezek jelentősége tagadhatatlan, hiszen a környezetvédelem sarkalatos problémája a Föld anyag- és energiakészleteinek csökkenése. Azonban a rendelkezésre álló, valamint kiaknázatlan fosszilis energiahordozó mennyiség még hosszú ideig biztosítja az emberi igények kielégítését. Napjaink fő problémája így a környezetszennyeződés, az emberi élet minőségének romlása. Gyakorlatilag a környezetet károsító tevékenység tekinthető az emberi lét legfőbb veszélyeztetőjének és az ipari fejlődés legnagyobb gátjának. Ezért tekintjük a környezetszennyezés megakadályozását és lehetőség szerinti csökkentését korunk legfontosabb kihívásának.

Az eddigi technikai fejlődést érthető okokból kifolyólag nem az emberi környezet minősége határozta meg, mozgatórugóként minden esetben más szempontok érvényesültek. A kereskedelmi repülés megjelenésével együtt jelent meg a gazdaságos üzemeltetés igénye is, az ennek megfelelő tervezési követelmények már harmincas években kialakultak. Méret, hatótáv és sebesség voltak az alapvető tervezési paraméterek. A biztonság már korán tervezési követelménnyé vált, bár egzakt valószínűségi elemzések csak napjainkban kezdenek elterjedni [4]. Később az üzemeltetési hatékonyság mutatói lettek a következő elemei a követelménylistának.

A korábbi tradicionális tervezési paraméterek mellett a „környezeti kompatibilitás”, úgymint a kibocsátott zaj, imisszió, a gyártási és karbantartási folyamatok és végső soron az újrahasznosíthatóság kérdései fogják meghatározni a jövőbeni tervezési követelményeket és technológiai stratégiákat.

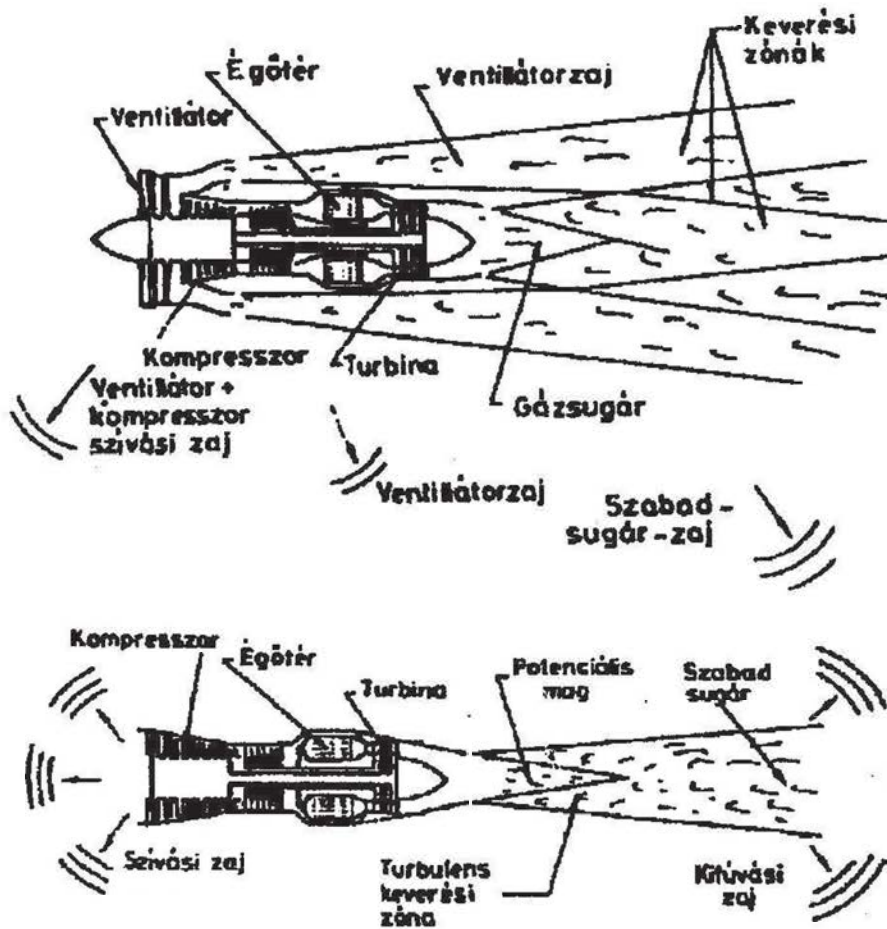
## **2. A GAZDASÁGI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KÉRDÉSEK MAI EGYENSÚLYA**

Az utóbbi évtizedekben a repülés nagyban hozzájárult az ipari fejlődéshez és a globalizációhoz, de ezzel együtt a környezetszennyezés egyik jelentős forrásává is vált. A repülés környezeti kérdései esetében is megállapíthatjuk, hogy külön kell vizsgálni a levegőszennyezés és a zajprobléma, valamint az emissziós és imissziós kérdéseket. Ennek azért tulajdonítunk jelentőséget, mivel a különböző hatások kialakulását esetenként a környezeti elemek és egyéb körülmények eltérően befolyásolhatják. Célszerű itt megjegyezni, hogy a repülés földterület igénye kevesebb mint 8 %-a a vasúti, és kevesebb mint 1 %-a a közúti közlekedés hasonló igényénél. Szakértők szerint a vasútihoz képest ötször, a közútihoz képest pedig hatszor hatékonyabb a légi közlekedés

## A JÖVŐ SZÁZAD REPÜLÉSÉNEK KÖRNYEZETI KIHÍVÁSA

földterület felhasználása.

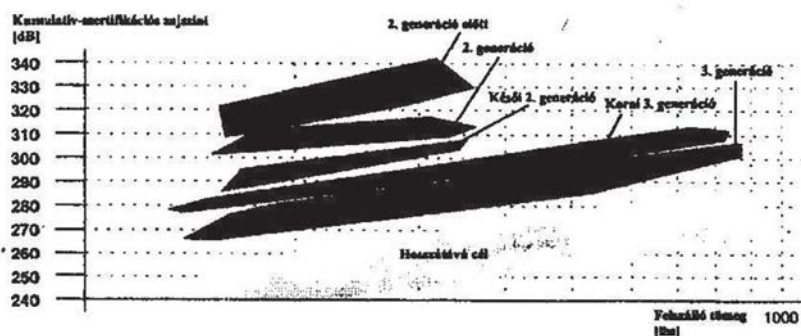
A motoros repülés kezdete óta a repülőgépek zaja leginkább a hajtóművekhez kapcsolódik. A sugárhajtóművek fő zajforrásai a levegő beömlőnyílás, a ventilátor, a fűvócső és a forró gázsugár (1. ábra).



1. ábra  
Sugárhajtóművek fő zajforrásai

Napjainkban nagy jelentőségűek mind tolóerő, mind a zajemissziót tekintve a sugárhajtású repülőgépek. Ezeknél továbbra is a gázsugár zaj a legnagyobb, eredő zajszintet döntő módon meghatározó zajösszetevő, így a zajcsökkentési célkitűzéseket is ennek érdekében határozták meg a fejlesztők. Jelentős eredményt a hajtóműgyártók a nagy kétáramúsági fokú hajtóművek

kifejlesztésével értek el. A keletkező zaj csökkentésének tendenciáját szemlélteti a 2. ábra, mely tartalmazza az utóbbi évtizedekben elért kumulatív szertifikációs szinteket is.



2. ábra  
A keletkező zaj csökkentésének tendenciája

Eltekintve a repülőgépek szertifikációjától, a gyártók mai helyzetét az egyre növekvő zajkorlátozás jellemzi. Körülbelül 550 repülőtér található, ahol olyan korlátozásokat alkalmaznak, mint leszállási tilalom, zajcsökkentési eljárások (NAP - Noise Abatement Procedures), preferált fel- és leszállópályák, valamint rárepülési módok stb. Egyre több repülőtér szerelnek fel zajmérő mikrofonokat, amelyek minősítik a le- és felszálló repülőgépeket a pillanatnyi zajszint alapján, s a leszállási díjak gyakran tartalmaznak zajbírságokat.

Összességében a jelenlegi zajproblémát az alábbiak jellemzik [7]:

- jelentős fejlődést tapasztalhattunk az utóbbi évtizedekben, melynek következtében a megnövekedett légi-forgalom ellenére csökkent a környezeti zajterhelés mértéke;

*Például a frankfurti repülőtér zajszintje 26%-al csökkent 1995-re 1980 hoz képest, miközben 56%-al nőtt az ottani fel- és leszállások száma [1].*

- világviszonylatban 5%-ra csökkent azon személyek száma, akiket közvetlenül érint a repülőgépek zaja, a hetvenes évekhez képest;
- az A320-hoz hasonló modern repülőgép zavaró zajterülete 1,5 km<sup>2</sup> és repülőtér határain belül 85 dB(A);

- általában a modern repülőgépek jobban teljesítik a szertifikációs



## A JÖVŐ SZÁZAD REPÜLÉSÉNEK KÖRNYEZETI KIHÍVÁSA

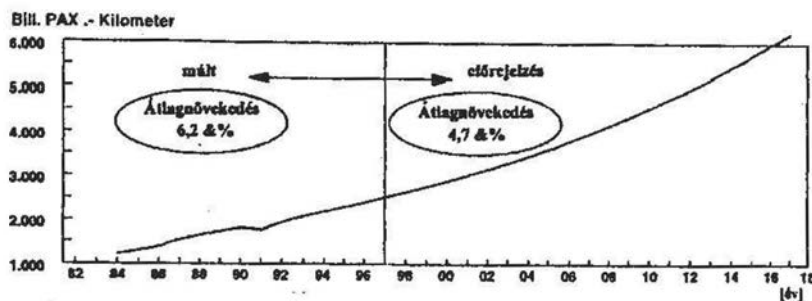
szinteket, mint a helyi repülőtéri elvárásokat, melyek sokkal szigorúbbak is lehetnek és gyakran a napszak függvényében változnak;

- a modern repülőgépek esetén a hajtómű technológiák következtében a sárkányszerkezet okozta zajszint hasonló nagyságrendűvé vált mint a hajtómű keltette zaj.

### 3. A LÉGI-ALKALMASSÁGI ÉS GAZDASÁGI KÖVETELMÉNYEK JÖVŐBENI VÁLTOZÁSA

Előrejelzések alapján a következő 10–15 évben a légi-forgalom megduplázódása várható (3. ábra). Ez azt jelentheti, hogy a jövő század húszas éveit végén kétszer ennyi repülőgép vesz részt a légi-forgalomban, zajemisszió és egyéb környezetszennyezés jelentős növekedése várható. Mindezek bekövetkezését befolyásoló tényezők:

- eddigi vizsgálataink alapján feltételezzük, hogy a légi közlekedés állandó növekedése mellett, a becsült időkeret változhat;
- Az utas- és teherforgalom megduplázódása — a repülőgépek ülőhelyszámainak maximális hasznos terhelésének növekedése miatt — nem jelenti azt, hogy kétszer ennyi repülőgép lesz a világban, mint ma.



3. ábra  
A légi forgalom várható jövőbeni alakulása

Ugyanakkor számos egyéb tényezőt is figyelembe kell vennünk az

előrejelzések során. Első a légi-közlekedés infrastruktúrájának kapacitása. Néhány repülőtér képes lesz megbirkózni az egyre növekvő forgalommal, mások viszont nem. Várhatóan nehéz feladat lesz az utasokat rávenni, hogy Londonba, Frankfurtba vagy New Yorkba repüljenek, Glasgow, München vagy Denver helyett. Az utazási célállomás módosításának oka az, hogy egyes repülőterek rendelkeznek megfelelő kapacitással, míg az utas esetleges célállomásának repülőtere nem.

Másik tényező, amit meg kell vizsgálnunk, az olyan — szintén gyorsan fejlődő — szárazföldi közlekedési formák, mint például a nagysebességű vonatok. Környezeti okok miatt kívánatos lenne a gazdasági versenyhelyzettel szemben egy környezetvédelmi szempontból is optimált teljes közlekedési rendszer kiépítése.

A fentiek alapján a repülőipar számára a hagyományos műszaki tervezési és gazdaságossági paraméterek mellett fontos követelménnyé válik a zajemisszió kérdése is. Így a légitársaságok repülőgép-vásárlással kapcsolatos döntéseit a jövőben nem csak a pénzügyi kérdések határozzák majd meg, hanem más szempontokat is figyelembe kell venniük:

- a technológiai lehetőségeket, mint piaci követelményt figyelembe véve a repülőgép környezeti kompatibilitását megfelelő repülőgép-tervezési feladattá kell transzformálni;
- A mennyiségileg meghatározható környezeti vagy infrastrukturális hatások játsszák a főszerepet, de a nem kvantálható környezeti jellemzők is egyre nagyobb hatást gyakorolnak az új repülőgépek kiválasztása során.

Az ICAO zaj-szertifikációs rendszerét közel harminc éve alkalmazzák, míg az emissziós előírásokat csak 1981-ben fogadták el. Remélhetőleg a döntéshozók felismerik majd, hogy a jelenlegi előírt repülési eljárások a — zaj szertifikációjával kapcsolatosan — nincsenek megfelelő összhangban a normál napi üzemeltetéssel. Eddigi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a jelen szertifikációs eljárásokkal összhangban lévő zaj-előírások szintjeinek csökkentése valóban az érintett népesség zajártalmának redukálásához vezet majd. Nagyon kicsi azon repülőterek száma, ahol a fel- és leszálló pálya viszonylag közel van a kerítéshez, és a lakott terület zajterhelése a kerítés túloldalán is megfelelő.

Összegezve, a környezeti zaj már napjainkban is jelentős döntési kritériumnak tekinthető a marketing tevékenység, valamint az új gépek vásárlása során. Célkitűzésként az alábbi zajkibocsátási szinteket határozták meg az új



## A JÖVŐ SZÁZAD REPÜLÉSÉNEK KÖRNYEZETI KIHÍVÁSA

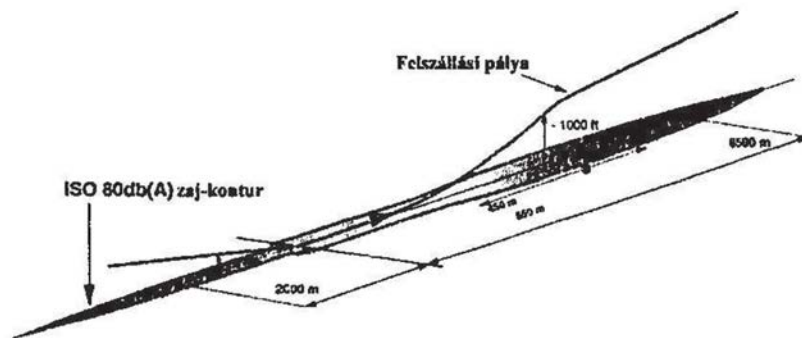
gépek tervezői számára:

-15 dB  $\approx$  2004 ;

>-20 dB  $\approx$  2010 .

Az általános elképzelések:

- a zaj-szertifikáció és az üzemeltetés során lévő pillanatnyi zajszint (zajcsökkentési eljárások, bírságok) szétválasztása;
- a jövőben a szertifikációt a „zajnyom”-ra kell alapozni (4. ábra) és törölni kell az eljárásból a jelentéktelen mérési pontokat. Egy tipikus 75 dB(A)-s „zajnyom” a repülőtér határain belül elfogadhatónak tűnik, miközben a környékbeli beépített területen az 52 dB(A) az előírt szint, ugyanakkor a zajszint az épületeken belül nem lehet káros az emberi egészségre;
- a repülőtereket ipari területeként kell kezelni.



4. ábra  
Repülési zajnyom

## 4. REPÜLŐGÉP ÜZEMELTETÉS A JÖVŐBEN

A környezet gondos kezelése nem csak technológiai kérdés, legalább annyira fontos az üzemeltetési nyereségekre való átfonnálása is. A repülő társadalom (a légitársaságok, a repülőterek, a gyártók és a hatóság) kiterjedt kutatási projektek keretében folyamatosan keresi az optimális repülési eljárásokat, és üzemeltetési módosítások bevezetésével igyekszik minimálisra csökkenteni a keletkező zajt és levegőszennyeződést. Alternatívaként szóba kerülhetnek a jövő

ügynevezett 4-dimenziós navigációs rendszerei, a fejlett repülésmenedzsment, illetve a kommunikációs (adatátviteli) és légi-forgalom menedzsment rendszerek. Ezen különböző elemek együtt kell, hogy egy új, teljes légi-közlekedési rendszert alkossanak.

Ugyanakkor minden résztvevőnek el kell fogadni az új, harmonizált követelményrendszert, melynek elemei a következők lehetnek:

- futómű kiengedés röviddel a leszállás előtt;
- alapjáratú hajtóműves bejövetelek, meredekebb siklási szögek;
- meredek kezdeti emelkedési szög;
- a pillanatnyi felszálló súlyhoz és légköri viszonyokhoz kapcsolódó tolóerő-szabályozás;
- minimális gurulási idő;
- az optimális utazómagasság nagyobb sávszélessége;
- az indulási- és cél állomás közötti legrövidebb távolság repülése (a „szabad repülés” több mint 6%-s üzemanyag-fogyasztás csökkentéssel járna).

Optimális előrejelzések alapján, a légi-forgalom fentiek szerinti növekedése mellett a javasolt technológiai programok sikeresek lehetnek, illetve a repülőipar már részben felkészült a piacirányított követelmények teljesítésére.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ipar növekedésével párosulva a repülés vezető szerepet játszik napjainkban. A légi utasforgalom és szállítás iránt a kereskedelmi igény a jövőben évi 5%-al fog növekedni. Ezzel egy időben a környezetvédelmi követelmények is egyre fontosabb szerepet játszanak az emberi tevékenységek során. A környezetbarát repülőgép és hajtómű tervezés, építés, üzemeltetés és végül az újrahasznosítás elsődleges szempontokká válnak. A gyártók és az üzemeltetők már korábban is érték el sikereket az üzemanyag fogyasztás, a levegőszennyezés és a zajkibocsátás csökkentése terén, azonban újabb és újabb szennyezési szintértéknek kell technikai eszközeiket megfeleltetniük. Ezek alapján bizakodhatunk benne, hogy az eddigi pozitív trend folytatódik a jövőben, és sikerül megtartani az ökonómiai és ökológiai egyensúlyt. A repülés társadalom felelőségének tudatában van és elfogadja a környezeti kihívásokat figyelembe véve, hogy ezek a jövő évezred repülőgép tervezésének és üzemeltetésének lehetőségei.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dialog Umwelt, Bundesverband der DeutschenLuft- und Raumfahrtindustrie (BDLI), Bonn 1997.
- [2] MICHELBERGER, P., A közlekedés hatása az ipar feladataira, Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, Budapest, I. 1998/3 p. 81-85, II. 1998/4 p. 121-126.
- [3] MICHELBERGER, P., A társadalom új elvárásai a közúti közlekedéssel szemben, kihívás a mérnöki társadalom felé, Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, Budapest, 1998/7-8 p. 234-245
- [4] POKORÁDI, L., Investigation of Aircraft Operational System with Markov-Matrix, Proc. of the 4<sup>th</sup> Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, 1994, p 437-444.
- [5] ROHÁCS J., FÁBIÁN T., KESZTHELYI GY., POKORÁDI L., A magyar repülés fejlesztésének tudományos feladatai, X. Magyar Repüléstudományi Napok, Szolnok 1993., II. kötet 206-218.
- [6] SZODRUCH J., OELKERS W., SCHUMACHER J., The Environmental Challenge as Chance for the Next Century Aircraft Design, Proc of the 21<sup>st</sup> ICAS Congress, Melbourne, 1998, CD-version.
- [7] SZODRUCH, J., Lärminderungspotentiale der Flugzeugzelle, BMBF Kolloquium „Fliegen ohne Lärm”, Marz 1998, Colonge.

## RESUME

*One of challenges for the next century air transport is the environmental protection. This paper shows the possible solution of environmental — mainly the noise pollution — questions of the next century aircraft design and operation.*



**„C” SZEKCIÓ  
OKTATÁS, KIKÉPZÉS**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. CSÚRÖS JÁNOS**

**TÁRSELNÖK: DR. SZABOLCSI RÓBERT**





## **A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER AERODINAMIKA TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSÉBEN**

**Békési László mérnök ezredes  
Egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék**

*A helikopter aerodinamika tantárgy oktatása során számos esetben problémaként jelentkezik a helikopter forgószárny működésének magyarázatakor a statikus táblai rajz alapján való megértés. Ennek a problémának a megoldását a tanszékünkön egy multimédia alkalmazással szeretném feloldani. A cikk egy példán keresztül mutatja be a tananyag elsajátítási hatékonyságának növelését.*

Az a Comeniusi elv, hogy a „tanítás során mindent, amit csak lehet, láttatni kell”, a mai napig él. Az Ő munkássága óta ugyan a technika jelentősen fejlődött, a módszerek is tökéletesedtek, a gondolata ma is érvényes.

A történelem során számos tanulást segítő eszköz jelent meg, amelyek az adott kor technikai szintjét tükrözik.

A tanítási eszközök negyedik nemzedéke pedagógiai minőségben természetesen különbözik az előző nemzedéktől, Itt a közlés az ember és gép közötti érintkezés alapján történik. Ide soroljuk: a programozott egyéni tanulást, a nyelvi laboratóriumokat, a személyi számítógépek alkalmazását az oktatásban. A komputer beépülése a hagyományos eszközökbe, biztosítja az interaktivitást. A számítógépek bonyolultabb berendezések a korábbi audiovizuális eszközöknél, azonban a fejlődés tendenciája abba az irányba mutat, hogy ezek kezelése és alkalmazhatósága mindinkább egyszerűbbé válik és ezzel felhasználási területük is gyarapszik. A pedagógusok számára ma már egyértelmű, hogy a számítógép oktatási eszközként való felhasználása változást jelent nemcsak a tanításban, de a tanulásban is. A számítógép egyesíti magában az összes médiát, így új módszerek alkalmazására nyílik lehetőség a tanítás-tanulás folyamatában, mint a modellezés, a szimuláció stb. Mivel a jelenségek a számítógép segítségével dinamikusan, folyamatukban állíthatók elő (szimulálhatók), azok mélyebb megértése válik lehetővé.

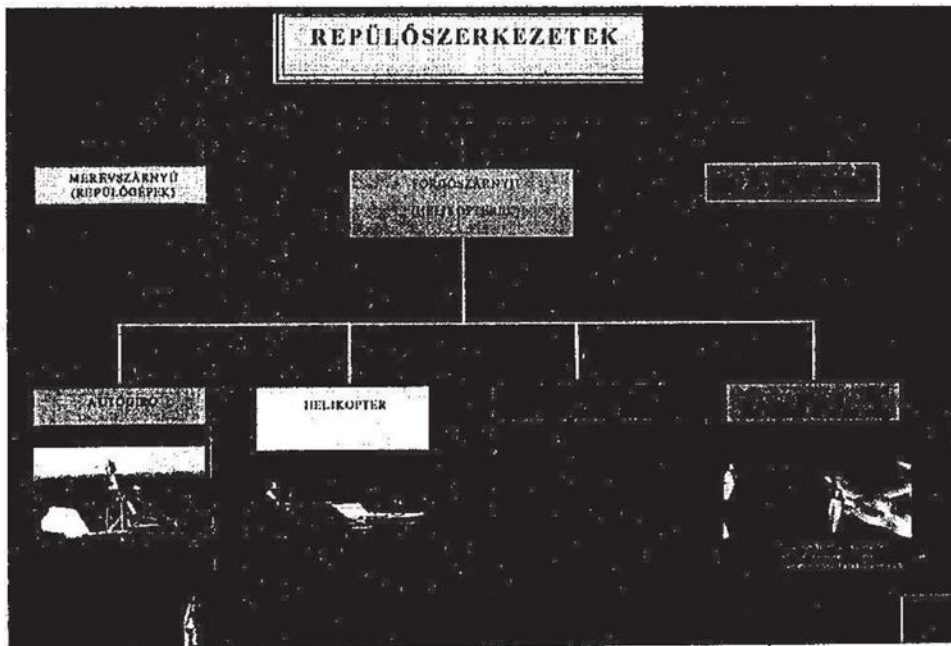
BÉKÉSI LÁSZLÓ

A számítógép segítségével végzett tanítási-tanulási folyamat egy szabályozás folyamatnak tekinthető, amelyben a tananyag közlése, megértése jelenti magát a folyamatot, és az ellenőrzés, vagyis a számonkérés, feleltetés valósítja meg a külső visszacsatolást.

A számítógép segítségével végzett oktatásról fontos azonban tudni, hogy nem maga az eszköz az, ami a tanulást hatékonyabbá teszi, hanem a tananyag és a módszer együttese dönti el a tanulás eredményességét. Meg kell azt is vizsgálni, hogy az adott tanulás cél elérése érdekében szükség van-e számítógépes tananyag elkészítésére.

A számítógépes tananyag készítése, majd alkalmazása csak akkor lehet igazán eredményes, ha tanár is és a hallgató is az anyag tartalmára, felépítésére és alkalmazására vonatkozóan megfelelő információval rendelkezik.

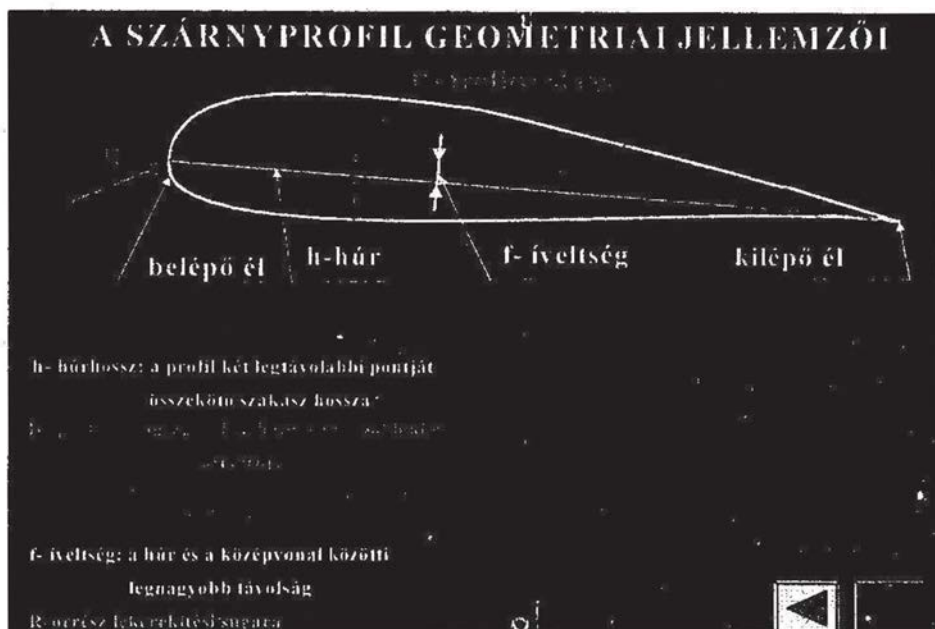
A továbbiakban a számítógép felhasználást az oktatás egy speciális területén, nevezetesen a helikopter aerodinamika tantárgyban vizsgálom, ezen belül is a forgószárny működését, az ahhoz kapcsolódó fogalmakat és elméleteket igyekszem bemutatni. Ehhez a Power Point softwer-t használtam. Abból indultam ki bevezetésképpen a repülőszerkezetek felosztásának egy lehetséges változatával elhelyezem a helikoptert a repülőszerkezetek rendszerében. A dia animált és a felosztás logikai sorrendjében jelenik meg vetítéskor az adott ábra, felirat, esetleg kép (1. sz. ábra).



1. ábra

*A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER AERODINAMIKA  
TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE*

A továbbiakban a következő dián a helikopter forgószárny-lapát egy metszetének geometriai jellemzőit mutatom be. A dia szintén a Power Point által adta lehetőségek szerint animált és logikai sorrendbe szedve jelennek meg a geometriai méretek, miközben minden egyes geometria méret megjelenése után azonnal definíciószerűen felíródik az, hogy mit is kell érteni az adott geometriai mérésen. (2.sz.ábra).



2. ábra

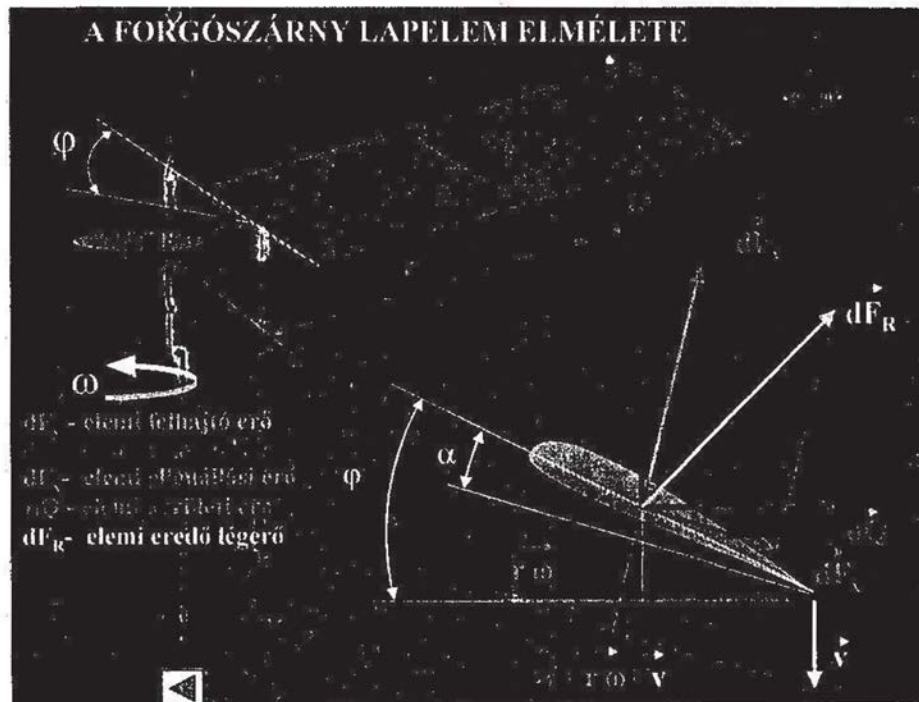
A harmadik dián a forgószárnyon keletkező vonóerő meghatározását lehet végig követni az ún. lapelem-elmélet felhasználásával. Ez a dia (3.sz.ábra) szintén animált, és a szigorú sorrend biztosítja, hogy az üres képernyőn a cím megjelenése után egy forgószárny-agy és a hozzá kapcsolódó lapát jelenik meg. Kijelölődik az a  $d$ , szélességű lapelem, amelyen keletkező erőket vizsgáljuk. A lapelem profil részé külön is felrajzolódik, majd a következő sorrendben jelennek meg az egyes animált elemek:

- a profil húrja;
- a kerületi sebességből (azaz a forgásból) származó megfúvási sebesség ( $r \cdot \omega$ );
- a profil beállítási szöge ( $\varphi$ );
- az indukált sebesség ( $v$ );



BÉKÉSI LÁSZLÓ

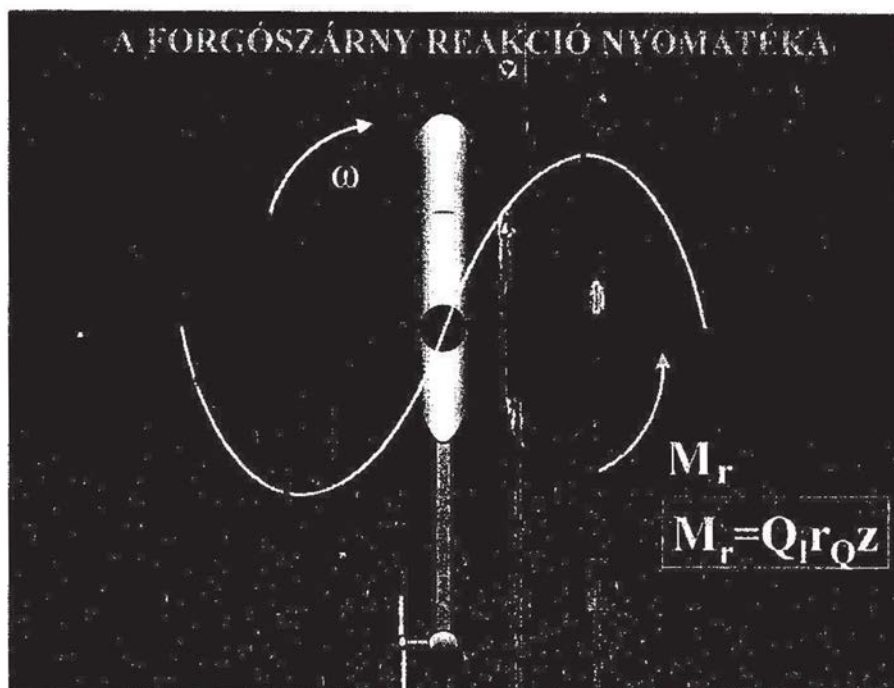
- a profil állásszöge ( $\alpha$ );
- a profil eredő megfúvási sebessége ( $W$ );
- a  $W$ -re merőleges elemi felhajtóerő ( $dF_y$ );
- a  $W$ -vel párhuzamos elemi ellenállási erő ( $dF_x$ );
- az elemi eredő légerő ( $dF_R$ );
- az elemi eredő erőnek a forgószárny-agy forgási síkjára merőleges irányú összetevő az elemi vonóerő ( $dT$ );
- az elemi eredő erőnek a forgószárny-agy forgási síkjába eső összetevője az elemi kerületi erő ( $dQ$ );
- végül pedig a „z” lapátszám figyelembevételével a teljes forgószárny vonóerejének ( $T$ ) meghatározására alkalmas összefüggés.



A negyedik dián a forgószárnyon kialakuló reakciónyomaték létrejöttét mutatom be, mint a lapátokon keletkező kerületi erők (4.sz. ábra) nyomatékát.

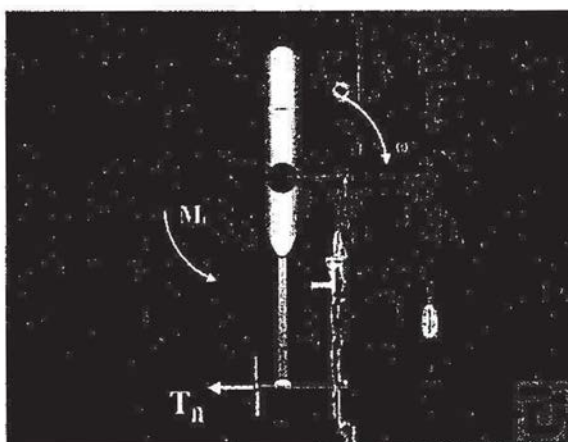


A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER AERODINAMIKA  
TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE



4. ábra

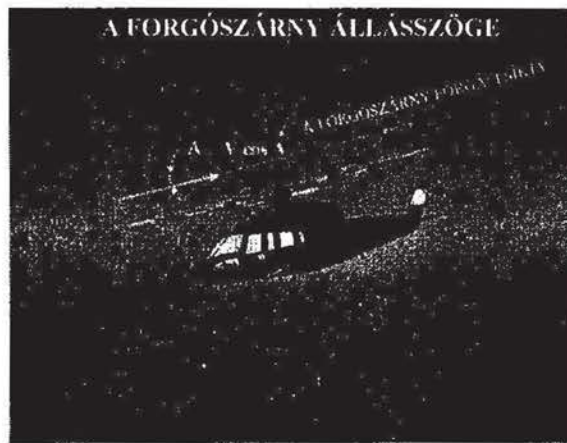
Az erőhöz közvetlenül kapcsolódik az, amit a következő dia mutat (5.sz.ábra), amelyen a forgószárny reakciónyomatékának kiegyensúlyozása látható, mégpedig a lehetséges megoldások közül, jelen esetben a faroklégszavar vonóerejével.



5. ábra

BÉKÉSI LÁSZLÓ

A statikus táblai rajzokkal legnehezebben magyarázható rész a forgószárny működésének bemutatása abban az esetben, amikor a forgószárny ferde átáramlási üzemmódban dolgozik. A 6. sz. ábrán a forgószárny állásszögének definíciója látható.



6. ábra

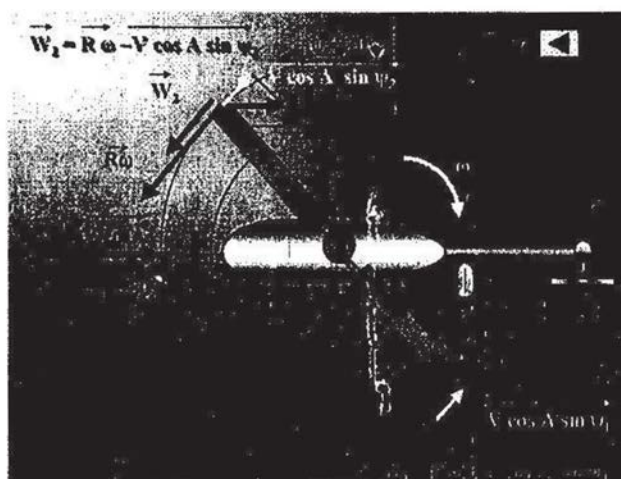
A következő három dián a forgószárny-lapátok végein lévő sebességek összegzését végezzük el, mégpedig a lapátok különböző helyzetében. A 7. sz. ábrán látjuk azt a diát, amelyen a kétlapátos forgószárny éppen a  $\Psi_1 = 0^\circ$  és  $\Psi_2 = 180^\circ$ -os helyzetében van. Az animált sebességvektorokból látható, hogy a  $V \cdot \cos A$  sebességnek itt most nem lesz vetülete a  $R \cdot \omega$  kerületi sebessége.



7. ábra

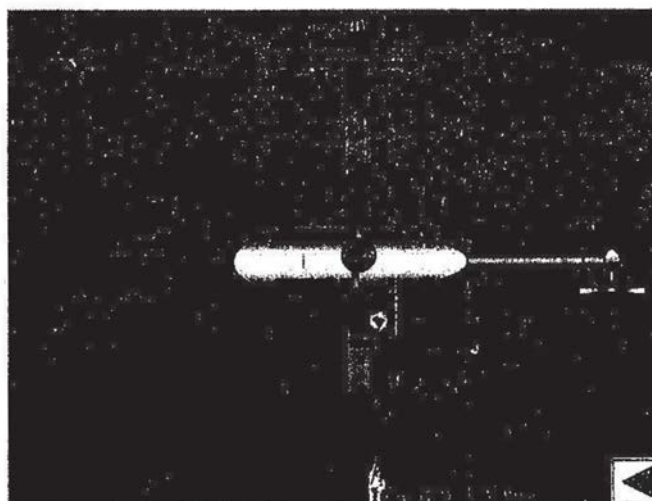
*A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER AERODINAMIKA  
TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE*

Más a helyzet akkor, ha a kétlapátos forgószárny a körülfordulás során  $\Psi_1 = 45^\circ$  és  $\Psi_2 = 225^\circ$ -os helyzetben van éppen. Ekkor a  $V \cdot \cos A$  sebességek  $R \cdot \omega$  irányára eső komponenseit össze kell adni. Az animált dián jól látszik (8.sz. ábra), hogy az úgynevezett előrehaladó lapáton a sebességek összeadódnak, míg a hátrahaladó lapátoknál kivonódnak egymásból.



8. ábra

A két sebesség teljes egészében a  $\Psi = 50^\circ$ -os helyzetben levő lapátnál adódik össze, míg a  $\Psi = 270^\circ$ -os helyzetben lévőnél pedig teljes egészében levonódik a  $V \cdot \cos A$  sebesség az  $R \cdot \omega$  kerületi sebességből (9.sz. ábra).

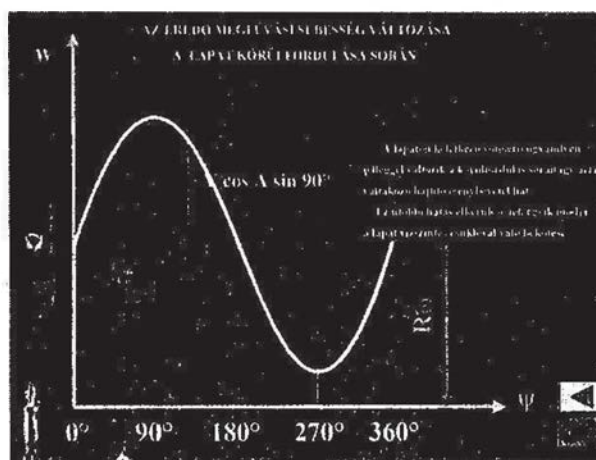


9. ábra

## BÉKÉSI LÁSZLÓ

A következő dián  $45^\circ$ -onként lehet változtatni a lapátok helyzetét, de folyamatosan körbe is lehet forgatni a különböző szögsebességekkel, miközben a számítógép kirajzolja a lapát végeken a folyamatosan változó sebességvektorokat. Ez utóbbit, mivel ekkor a gépen két programrész is fut, itt most nyomtatásban megmutatni nem tudom.

Mivel eddig bizonyítottam, hogy a lapátok megfűvási sebesség a körülfordulás során folyamatosan változik, ennek törvényszerűsége is felrajzolható, amely a 10. sz. ábrán (illetve animált dián) látható.



10. ábra

A mostani bemutató, utolsó két diáján pedig a forgószárnyon keletkező úgynevezett fordított áramlási zónával foglalkozom. Ennek magyarázata a 11. ábrán látható.



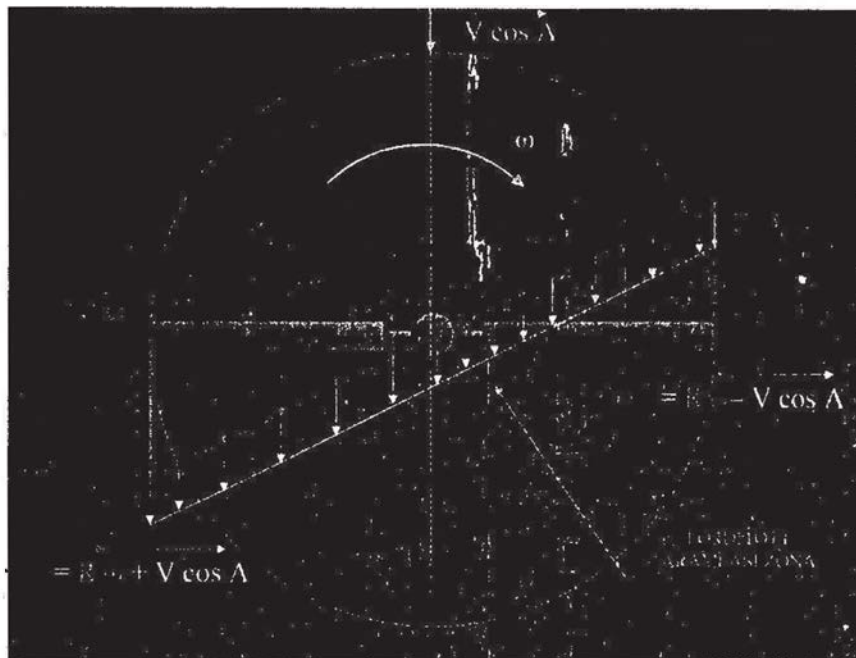
11. ábra



*A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTER AERODINAMIKA  
TANTÁRGY ELSAJÁTÍTÁSI HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE*

A megjelenő helikopterre folyamatosan vannak felvíve a kerületi sebességek a forgószárny sugarának függvényében, majd a haladó mozgás sebessége, illetve annak állandó megoszlása, amelyek összegzéseként látszik, hogy a forgószárny egy részén az áramlás a lapátokat a kilépő él felől éri.

Ugyanezt az előző problémát mutatom be az utolsó animált diámon is azzal a különbséggel, hogy a forgószárny felülnézetben látható és talán jobban kiténik a sebességvektorok összegzésekor a fordított áramlási zóna, mivel itt a szemlélő nem perspektivikusan látja a forgószárnyat.



12. ábra

Az eddig leírtakhoz szeretném hozzátenni, hogy a Power Point segítségével készült és a konferencián bemutatott diasorozat a helikopter aerodinamika tantárgy egy nagyon szűk részproblémájára igyekezett rávilágítani csupán. A rendelkezésre álló időben nyilván nem lehetett az egész tantárgyra vonatkozóan a lehetőségeket bemutatni. A bemutatott diák lapolvasó használata nélkül készültek, a rajzok Power Point-tal készültek, mintegy bizonyítva mi minden megoldható vele. Szándékomban áll egyébként a teljes helikopter aerodinamika tantárgyat hasonlóképpen feldolgozni, figyelembe véve azt is, hogy a diák ún. jegyzetoldallal együtt való kinyomtatása (ha az jól szerkesztett szöggel van ellátva) jegyzetként is felhasználható a hallgatók számára, hiszen az ábrák szinte nyomdai minőségben nyomtathatók.



## BÉKÉSI LÁSZLÓ

Végezetül néhány szó arról, milyen jelentősége van a multimédiának az oktatásban. Sokak szerint a multimédia nemcsak a szórakoztatás, hanem a művelődés (nekünk pedagógusoknak talán ez fontosabb) jövő századi eszköze. Ennek az állításnak több indoka is lehet.

- 1.) A multimédia rendszerek képesek integrálni szinte az összes eddig ismert taneszközt.
- 2.) Egy multimédiás oktató alkalmazás lehetőséget adhat az egyéni tanulási ütem kialakítására, megfelelő szabadságfokot biztosítva a hallgatónak.
- 3.) Nincs akadálya annak, hogy egyénhez szabott, vagy esetleg ahhoz alkalmazkodó programok készüljenek, mivel a multimédia hatalmas információhalmaz esetén is végtelen sok lehetőséget biztosít.

Az általam készített multimédia anyag hallgatóknak történő megmutatása azt igazolta, hogy vele az oktatás hatékonysága jelentősen javulhat, azaz a tanulás során az ismeretek elsajátításának mértéke növekszik, miközben a tanulásra fordított idő a hagyományos tanulási módszerekhez képest számottevően csökken. Úgy gondolom a fenti felsorolás minden egyes pontja egy-egy indok a multimédia oktatásban való alkalmazása mellett.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BAZOV D.I.: Helikopter aerodinamika, Transzport, Moszkva, 1969.
- [2] BARNES W. McCormick: Aerodynamics, aeronautics, and flight mechanics, Canada, 1995.
- [3] TÓTH Dezső: Multimédia LSI Oktatóközpont ISBN 963577168 s
- [4] RON Mansfield: Power Point for Windows 95, Panem Kft., Budapest, 1998.
- [5] CH. SPANIK – H. RÜGHEIMER: A multimédia alapjai, Kossuth Könyvkiadó 1995.

*In process of teaching subject of aerodynamics of helicopter understanding the explanation of working of rotoring wing by drawing them on chalkboard often occurs as a problem.*

*At the Airframe and Engine Department they succeeded in solution to these problems by multimedia. This article, through an example by using program Power Point, shows the increasing effectivity of learning the subject.*

## SZÁMÍTÓGÉPES OKTATÓPROGRAMOK A HALLGATÓK GÉPÉSZMÉRNÖK KÉPZÉSÉBEN

Kavas László mk. őrgy.  
Egyetemi tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés és Szervezéstudományi Kar  
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék

*A gépészmérnök képzésben rendkívül fontos az alaptantárgyak eredményes elsajátítása. Tanszékünk törekszik a számítógépes eszközök alkalmazásán alapuló oktatás megvalósítására. E cél érdekében mind vásárolt, mind saját készítésű számítógépes oktatóprogramokat alkalmazunk. Ezen programok alkalmazhatóságát mutatja be a cikk.*

A repülő gépészmérnök képzés egyik legnehezebb elsajátítható tantárgya a mechanika. Ez szakalapozó tantárgy, így ennek minél nagyobb hatásfokkal történő elsajátítása a ráépülő szakalapozó- és szaktantárgyak szempontjából elengedhetetlen. Az elsajátítás nehézségét mutatja az is, hogy hosszú évek óta ezen tantárgy átlaga a legalacsonyabb és itt a legnagyobb a bukások száma is. A mechanika alapozza többek között a Gépelemek, Repülőgépek automatikájának alapjai, Repülőgépek Szerkezetana, Helikopterek Szerkezetana, Repülőgépek hajtóművei, Helikopterek hajtóművei tantárgyakat. A felsorolásból kitűnik, hogy mennyire fontos a hallgatók mechanika ismeretekkel való felvértezése ahhoz, hogy ne okozzon gondot az adott szaktárgy elsajátítása. Ezért nem mindegy, hogy milyen módszerrel és eszközzel tanítjuk a Mechanikát. A tanár tökéletes szakmai felkészültsége és pedagógiai rutinja mellett elengedhetetlenül fontos a mai modern módszerek és eszközök alkalmazása[1]. A számítógép és az oktatóprogramok használata az alapképzésen túl fontos szerepet kap az induló levelező képzésben. Az akkreditációban, tapasztalatokban előttünk járó egyetemeknek példáját véve alapul kell hogy kifejlesszük saját testreszabott programjainkat (pl. GATE).

## VÁSÁROLT PROGRAMCSOMAG

Tanszékünk jelenleg olyan helyzetben van, hogy rendelkezik a Mechanikát kb. 50-60 %-ban lefedő, korszerűnek mondható szoftverekkel. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy az elmúlt években a Repülőtiszi Intézet könyvtárával együtt a tanszékünknek sikerült egy pályázatot megnyerni. Az elnyert pénzüsszegekből egy 12 programból álló, saját igényeink alapján összeállított oktatást segítő csomagot szereztünk be ami lefed néhány témakört (zömmel a szilárdságtant) és szervesen illeszkedik a követelményrendszerünkhöz. A programcsomag három egymástól elkülöníthető felhasználási területű részre bontható.

- I. Hallgatói és tanári ellenőrző példatárrendszer
- II. Gyakorló és ellenőrző példatárrendszer
- III. Tervező rendszer

I. Csoport a következő témaköröket foglalja magába:

- Külponos húzás
- Egyenestengelyű tartó méretezése
- Fogaskerék-hajtás tengelyének méretezése
- Síkbeli egyszerű rácsos tartók méretezése
- Statikailag határozott keret
- Nyúlásmérés eredményeinek kiértékelése

II. Csoport a következő témaköröket foglalja magába:

- Excentrikus húzás
- Összetett szelvények keresztmetszeti jellemzői
- Egyenesvonalú tartók igénybevételei és alakváltozási ábrái
- Főmádsodrendű nyomatékok számítása és szerkesztése

III. Csoport a következő témaköröket foglalja magába:

- Statikailag határozott egyenesvonalú tartók (tervező program)
- Statikailag határozatlan egyenesvonalú tartók (tervező program)

Az I. csoportba tartozó 6 program mindegyike egy hallgatói példányból és egy tanári ellenőrző példányból áll, míg a II. csoport 4 programja magába foglalja mind a hallgató mind a "tanári" ellenőrző részt is. A felsorolt programok összesen 10 000 példát tartalmaznak, ami nagyban megkönnyíti az

## SZÁMÍTÓGÉPES OKTATÓPROGRAMOK A GÉPÉSZMÉRNÖK KÉPZÉSBE

adott témakörök begyakorlását. A III. csoport 2 db tervezői programcsomagot tartalmaz. Ezekkel a szoftverekkel elvileg végtelen példavariáció állítható össze.

Az I. csoportba tartozó hallgatói, valamint a második csoportgyakorló szoftverjei a hallgatók rendelkezésére állnak, bármikor levehető az Intézet számítógépeiről. A hallgató miután az adott programot aktivizálta, a saját osztálykönyve szerinti helyszámot beütve kapja meg feladatát, amelyet ki is nyomtathat. Ahogy az egyes kérdések megválaszolásával (kiszámításával) kész a tanuló, úgy a részeredményeit ellenőrizheti a programon. A szoftver csak 5 tizedes pontossággal kiszámított eredményt fogad el, ezzel rákényszeríti a hallgatót a pontos munkára, amivel a mérnöki precizitást segíti elő. A program "HELP" almenüje több esetben olyan lehetőséget nyújt, amely elősegíti az egyes témakörök elméleti és gyakorlati tudásanyag összehangolását. Pl. Lehetőség van egyes szerkesztések lépésről lépésre való bemutatására a főfeszültségek és főnyúlások valamint a főirányok esetében, vagy olyan hasáb beforgatásra, amely az elforgatás mértékében mutatja a főmásodrendű nyomatékok és a deviációs nyomatékok avagy feszültségek alakulását a főirányoktól való elforgatás függvényében.

## SAJÁT OKTATÓPROGRAMJAINK

Ebben a csoportban olyan, IBM számítógépre készített programokat kell megemlítenem amelyeket a tanszék hallgatói és oktatói készítettek. Az elkészült programok részben zárodolgozatként szolgáltak, részint TDK munkaként. Témájukat tekintve a mérnökképzés néhány alapozó tantárgyának témaköreit dolgozták fel a korszerű eszközökkel való tanítás-tanulás érdekében.

A Sárkány-Hajtómű tanszéken készültek közül a következő számítógép programokat emelném ki.

- I. Könnyűszerkezetek szilárdságtana tantárgy oktatóprogram
- II. Oktatóprogram a Mechanika tantárgy Kihajlás témájához
- III. Metallográfiai Függvények grafikai modellezése

Az első két program felépítése, kezelése analóg elveken alapul ezért bemutatni részletesebben csak az I. pontban megjelöltet fogom.

## KAFAS LÁSZLÓ

A program Borland Pascal nyelven íródott, használata igen egyszerű. A program menüvezérelt és főként egérrel kezelhető. Az indítást követően a főmenüből négy oktató rész indítható:

- Többrekeszes zárt keresztmetszetű szerkezetben ébredő nyírófolyamok
- Nytított keresztmetszetek nyíróközpontjának meghatározása
- Egydobozos zárt keresztmetszetek nyírófolyamának meghatározása
- $\sigma$  (szigma)-pont módszer.

Ezenkívül információt lehet kapni a program kezeléséről. A programrészek bevezetőoldalán a "Start" menüpont lenyitásával "Lecke" vagy "Példa" választható. A lecke rész tartalmazza az elsajátítandó elméleti tananyagot, képernyő oldalakon. Ugyanitt még lehetőség nyílik a jelölés menüpontban, az aktuális részben használt jelölések megismerésére, külön kiemelve is.

A "Példa" menüpont választásával a tanuló a megszerzett elméleti tudásának ellenőrzésére példamegoldási lehetőséget talál. A program használója egyéni adatok bevitelével tetszőleges számú példa megoldásán keresztül ellenőrizheti példamegoldó készségének szintjét.

A 3. pontban felsorolt metallográfia témájú oktatóprogram szintén négy alprogramrészt tartalmaz.

- I. Hőkezelés
- II. Vaskarbid állapotábra
- III. Alumínium ötvözetek
- IV. Szövetelemek

A programnyelv megegyezik az előzővel, de Delphi fejlesztő környezetben készült. Használata igen egyszerű, és rendkívül látványos. A program a következő lehetőségeket nyújtja a tanulóknak:

I. A "Hőkezelés" programrész megismerteti a hőkezelési eljárásokat úgy hogy az egyén tanulási, felfogási ritmusának megfelelően, gombnyomásra lép mindig tovább a hőkezelési diagram kirajzolásában az oktatóprogram ("Név alapján" nyomógomb). A tanulás eredményességének ellenőrzésére is lehetőséget találunk amikor is a gép által kirajzolt hőkezelési diagramhoz kell a tanulóknak az aktuális nevet hozzárendelni ("Ábra alapján" nyomógomb).

II. A "Vaskarbid állapotábra" programrész 4 alternatívát kínál fel:

- Teljes állapotábra
- Kiválások :



## SZÁMÍTÓGÉPES OKTATÓPROGRAMOK A GÉPÉSZMÉRNÖK KÉPZÉSÉBEN

- Jellegzetes vonalak
- Jellegzetes T és C %

Ezen alprogramok feladata megismertetni:

- a teljes vas-karbid állapotábrát (vonalait, hőmérsékleti értékeit, szakterminológiai jelöléseit).
- adott C%-hoz tartozó lehülési folyamatot, és lehülés során keletkező fázisokat

Természetesen szintén lehetőséget nyújtva az önellenőrzés elvégzésére.

III. Az "Alumínium ötvözetek" programrész hasonlóan dolgozza fel a témát mint a 2-es pontban említett, ezért ezt részletesebben már nem kívánom bemutatni.

IV. Az utolsó alprogram a tananyag érdekesebb tétele érdekében 30 szövegelem mikroszkópos képét mutatja be.

## A PROGRAMOK ALKALMAZÁSÁNAK MÓDSZERTANI KÉRDÉSEI

Felmerülhet a kérdés, hogy didaktikailag hogyan alkalmazzuk ezeket a szoftvereket. Sajnos a lehetőségeink eléggé korlátozottak, mivel az előadásokhoz nincs olyan kisegítő hardver eszköz, ami lehetővé tenné az adott program használatát a frontális osztálymunkánál és ezzel minőségileg más szemléltetést. Ez az eszköz nem más mint az LCD kivetítő. Sajnos az intézetben lévő kivetítők olyan gyenge minőséget produkálnak, hogy ezekkel való tanítás ill. szemléltetés e gyenge minőségű kivetítés miatt katasztrofális didaktikai hiba lenne. Ezt régebben C-64 alkalmazásnál úgy oldottuk meg, hogy több TV készülékre vittük ki a számítógép jelét. Ez most kivitelezhetetlen. Mivel nem kívánunk didaktikailag visszalépni az oktatásban, ezért kénytelenek vagyunk a hagyományos módszerekhez és eszközökhöz visszanyúlni, hiszen mindenki tisztában van vele, hogy a számítógép és szoftver együttes alkalmazásának megvan a feltétele, azaz egy nagy volumenű anyagi beruházást kell megvalósítani hardver egységek tekintetében. Ezek az eszközök a NATO országok képzési rendszerében, úgy funkcionálnak, mint nálunk a tábla és a

## KATAS LÁSZLÓ

kréta. Tehát, ha nem lépünk ebben a kérdésben a lemaradási "olló" csak tovább nyílik.

De álljon itt a programok alkalmazásának eddig használt illetve a jövőben elképzelt lehetősége az előbbi feltételek teljesülése esetén:

Az alkalmazott munkaformák:

- a. frontális osztályfoglalkozás
- b. csoportmunka

Szervezeti keretek:

- a. gyakorlati foglalkozás
- b. egyéni tanulás
- c. konzultáció

## FRONTÁLIS OSZTÁLYFOGLALKOZÁS

A frontális osztályfoglalkozáson a tanár az egész tancsoport előtt előadás keretében tanítja, magyarázza és mutatja be az elméleti összefüggéseket a hallgatónak. A magyarázaton kívül -azzal logikus összefüggésben- igen nagy gondot fordít a tananyaggal kapcsolatos szemléltetésre, bemutatásra. Itt történik az információhordozók (transzparenszek, falitablók, táblai vázlatok, modellek) bemutatása, természetesen a megfelelő vizuális eszközök segítségével. Az általunk alkalmazott programokkal lehetőség nyílik arra, hogy kiegészítsük a tanórákon alkalmazott és bevált hagyományos eszközöket, illetve információhordozókat az információközlés és feldolgozás korszerű eljárás módjával. A tantervi tananyag feldolgozása során szemléltetésre, bemutatásra a számítógép és az LCD kivetítő összekapcsolásával és együttes alkalmazásával új oktatástechnikai eszközcsalád kínálkozik, amely véleményem szerint tovább javítja a tanítás-tanulás folyamatában alkalmazott módszerek hatékonyságát. A tananyag tartalmához illeszkedő programok alkalmazásával a személyi számítógép a foglalkozás ütemének megfelelően képes az ismeretfeldolgozás tanár által tervezett algoritmusának megvalósítására, függvények, ábrák gyors, pontos szerkesztésére, amelyet jól láthatóan azonnal kivetít a számítógéphez illesztett LCD.

## SZÁMÍTÓGÉPES OKTATÓPROGRAMOK A GÉPÉSZMÉRNÖK KÉPZÉSÉBEN

Meggyőződésünk, hogy a többi eszközzel összhangban a számítógép és az LCD alkalmazása fokozza a tanítási órák tervszerűségét, céltudatos, tervszerű, szervezett folyamatának megvalósítását. Ennél a munkaformánál igen figyelemreméltó azaz előny, hogy a tanár táblai munkájával párhuzamosan használt személyi számítógéppel, ugyanazon idő alatt többfajta igénybevétellel és tartótipus variációval mélyebb ismereteket tud adni a hallgatóknak, mint hagyományosan. A számítógép a monitoron illetve LCD kivetítőn keresztül nemcsak az igénybevételeknek megfelelő nyomtatéki, nyíróerő, normálerőfüggvényeket szemlélteti, hanem mindig pontos számértékkel szolgál az adott műszaki-technikai kérdésekre, amivel hozzájárul a hallgatók "gyakorlati érzékének" fejlesztéséhez.

## CSOPORTMUNKA - GYAKORLATI FOGLALKOZÁS

Ezen munkaforma végrehajtásának szervezeti keretét a tanrenden belül számítástechnikai kabinetben végrehajtott gyakorló foglalkozás biztosítja. A programokban feldolgozott témákon belül az egyes műszaki probléma bevezetésére, bizonyítására, megerősítésére olyan számítógépes gyakorlatokat alkalmazunk, amelyek biztosítják a hallgatók önálló tevékenységét és a műszaki feladat (probléma) többvariációs megközelítését, megoldását. Ez a módszer biztosítja a hallgatók szimulációs tevékenységét, a probléma-lehetőség több hallgató számára egyidőben lehetséges megközelítését, megoldását és rögzítését. A variációk számát az egyén tananyagismerete, az egy-egy variáció eredményéből levonható következtetések elemzéséhez meglévő személyes képessége határozza meg. Így tehát egy-egy hallgató képességeinek megfelelően több vagy kevesebb variáció megoldása után, rövidebb vagy hosszabb idő alatt jut el az adott téma megértéséhez, egyéni sajátosságai által meghatározott megértés szintjén. A szimuláción alapuló ismeretszerzés és rögzítés elsajátítás módjának tanórai alkalmazásában azt tartjuk didaktikai és pszichológiai szempontból jelentősnek, hogy a hallgatók egyéni sajátosságaik alapján végigmehetnek a megismerésnek minden egyes szakaszán és eljuthatnak az egyéni sajátosságuknak megfelelő tudásszintre. A módszer alkalmazásánál olyan tapasztalataink is vannak, amelyek arra utalnak, hogy a tananyag feldolgozásának végére kiegyenlíti, a tananyagra vonatkozó előismeretek különbségéből adódó esélyegyenlőségeket, illetve egyenlőtlenségeket. A csoportmunkánál az előző munkaformánál kiemelt előnyök jelentkeznek, de ezek mellett meg kell említeni, hogy ennél a munkaformánál még lehetőség nyílik az elsajátítás mélységének ellenőrzésére is. Példaként említhetjük

## KAVAS LÁSZLÓ

mechanikából azt a módszert, amikor a hallgatóknak az igénybevételi függvényeket adjuk meg és feladatul kérjük a terheléseket. Ennél a módszernél a hallgató önmagát - a tanár pedig a hallgatót - tudja ellenőrizni, hiszen csak akkor jelenik meg a monitoron a táblára felrajzolt vagy transzparensen kivetített függvény, ha a tanuló helyesen gépelte be a feladat megoldásához kapcsolódó elméleti és gyakorlati ismeretanyagot.

## EGYÉNI TANULÁS (ÖNKÉPZÉS)

Ezen szervezeti keret alkalmazásánál már nincs tanári irányítás, de ugyanazok a didaktikai és pszichológiai pozitív hatások érvényesülnek, mint az előzőekben leírt munkaformáknál. Az egyéni tanulásnál lehetősége van a hallgatóknak arra, hogy azokat a variációkat tanulmányozzák a programok alkalmazásával, amelyek problémát jelentenek számukra. Terveink szerint a tanulásnak ezt a formáját utókompenzációs folyamattá kívánjuk fejleszteni.

## KONZULTÁCIÓK

Ennek végrehajtása osztály-tanteremben történik személyi számítógép alkalmazásával, tanári irányítással. A számítógépet a problémától függően a tanár vagy a hallgató kezeli [1,2].

Úgy gondolom, feltétlenül meg kell említeni azt az előnyt is a számítógép alkalmazásánál, amely lehetővé teszi a tanárnak a tanórákra való eredményesebb felkészülést, valamint az évközi feladatok variációinak gyorsabb és hatékonyabb ellenőrzését.

## Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Szabó László- Kavas László: Mechanika elektronikus példatár alkalmazása a Sárkány-Hajtómű szakos hallgatók gépészmérnöki képzésében  
(Repüléstudományi közlemények, ZMNE RI, 1998, 89-95 o.)
- [2] Szabó László: A számítógép alkalmazása a tanítás-tanulás folyamatában  
(Módszertani közlemények, Budapest 1990)

SZÁMÍTÓGÉPES OKTATÓPROGRAMOK A GÉPÉSZMÉRNÖK KÉPZÉSBE

- [3] Ádány Sándor: Személyi számítógép alkalmazási lehetőségei a repülőgépek könnyűszerkezetek szilárdságtana oktatásában (Főiskolai szakdolgozat, ZMNE RI 1998)
- [4] Fronek Antal: Mechanika tantárgy kihajlás téma oktatóprogramja (Főiskolai szakdolgozat, SZRTI 1997)
- [5] Sipos József: Metallográfiai függvények grafikai modellezése IBM számítógépen (TDK pályamunka, ZMNE RI 1998)

*The attainment of basic subjects is extremely important in the engineering training. Our department has aspired to realizing of teaching based on computer application. In the interest of this aim we have adopted both bought and self made softwares. The article is showing applications of these training softwares.*





## **A MŰKÖDŐ MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ AERODINAMIKA TANTÁRGY OKTATÁSA SORÁN**

**Békési László mérnök ezredes  
egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi egyetem  
Vezetés-és Szervezéstudományi Kar  
Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék**

*Az aerodinamika tantárgy oktatásakor sok esetben probléma merül fel a statikus táblai rajz alapján való magyarázatkor. E probléma feloldását a sárkány-hajtómű tanszéken a modellek felhasználásával sikerült megoldani. A cikk egy példa felhasználásával mutatja be, hogy a modell használatával hogyan növekszik a tananyag elsajátítási hatékonysága.*

### **BEVEZETÉS**

A tantervi anyag elemeinek (képzetek, tények, fogalmak, szabályok, törvények, folyamatok stb.) a tanítás-ismeretátadás, illetve a tanulás-ismeretfeldolgozás folyamatának leginkább megfelelő logikus rendszerbe foglalása és ugyanezen rendszerhez harmonikusan illeszthető, ismeret-elemek megértését és rögzítését mindig a leghatékonyabb módon elősegítő különböző média típusok kiválasztása útján válik lehetővé az oktatás hatékonyságának a növelése.

### **A MŰKÖDŐ MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE**

A taneszközök a tanítás-tanulás folyamatába szervesen beépülnek, amelynek számos meghatározó tényezője van: a tanulás elérendő célja, a tanulók életkori

## BÉKÉSI LÁSZLÓ

sajátosságai, a tartalom stb.: a pedagógiai szituáció más tényezőire pedig éppen a taneszközök hatnak meghatározó jelleggel: az egyes eszköztípusok hatékony alkalmazása megfelelő szervezési formát és módszereket kíván.

Az oktatástechnológia a tervezés, a gyártás előkészítése és a kipróbálás tanulságainak elemzése, értékelése területén, olyan módon foglalkozik a taneszközökkel, hogy mindezeket az összefüggéseket figyelembe kell, hogy vegye.

A fentiekből egyértelműen következik a oktatás technikus és az oktatástechnológus feladatköre. Mindkét szakember ismerethalmaza közös határterületből táplálkozik, azonban míg az oktatástechnológus pedagógiai, addig az oktatástechnikus műszaki szakember. A tanszékünkön oktatott tantárgyak taneszközfejlesztése tekintetében az előbb említett két feladatkört ugyanaz a tanár kell, hogy megoldja, mivel jelenleg oktatástechnológusi beosztás az intézetünkönél nincs. Így a tanárnak tudatosan ki kell használni az összes lehetőséget, hogy a meglévő illetve általa tervezett oktatástechnikai eszközöket a didaktikai feladatnak legmegfelelőbben alkalmazza.[2]

A működő modellek ugyan nem tartoznak már szorosan a taneszközök legújabb nemzedékébe mégis állítom, hogy mint háromdimenziós eszköz, úgy az adott tananyag megértéséhez, mint annak későbbi rögzítéséhez éppen az adott tananyag jellegzetességeire való tekintettel kiválóan megfelel. Mit is érthetünk modell alatt?[5]

Modellen olyan eszmeileg elképzelt vagy anyagilag realizált rendszert értünk, amely visszatükrözve vagy reprodukálva az eredeti objektumot képes azt úgy helyettesíteni, hogy tanulmányozása új információt ad az objektumról.

A tudományos-technikai modellezés során felhasznált modellek jelölésére az e téren hagyományosnak tekinthető terminusokat használjuk: „matematikai”, „fizikai” modellek abban és csak abban az értelemben, amellyel e tekintetben felruházták.

Valamennyi modell közös tulajdonsága a valóság ilyen vagy olyan ábrázolásának a képessége. Attól függően, hogy milyen eszközökkel, milyen feltételek mellett és a megismerés milyen objektumára realizálódik ez a közös tulajdonság, nagyon sokféle modell lehetséges, amelyek különböznek egymástól mind tartalmuk és típusuk, mind céljuk és rendeltetésük, mind építőanyaguk, mind pedig a modell és az eredeti közötti kölcsönhatás tekintetében.

A modellnek a megismerésben játszott szerepének következetes és rendszerezett tanulmányozása során mindenekelött el kell igazodnunk a tudományos modellek sokaságában.[1]

*A MŰKÖDŐ MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ AERODINAMIKA  
TANTÁRGY OKTATÁSA SORÁN*

E célból meg kell nézni elemi osztályozásukat, amely kifejezésre juttatja nem csak különbségeiket, hanem azt a közöst is, ami valamennyi tudományos modellt egyesíti.

A mi esetünkben az osztályozás alapját a modell anyagi értelmezése határozza meg, amely szerint ez mindig a valóság része – mélyebb megismerés céljából történő – visszatükrözésének, reprodukálásának eszköze.

Megvizsgálva ebből a szempontból a különböző modelleket, valamint figyelembe véve a modell és eredetije közötti kapcsolatot, megállapíthatjuk, hogy ennek a viszonynak (amely minden esetben a visszatükröződést vagy reprodukálást jelent) a variálódását a következők határozzák meg:

- Először, a reprodukálás módja, vagyis azok az eszközök, amelyek segítségével megalkotják a modellt;
- Másodsor, azoknak az objektumoknak a jellege, az objektív valóság azon területe, amely a modellekben reprodukálódik.

Következésképpen lehetséges a modelleket mind formájuk (felépítésük módja), mind tartalmuk (a modellezett valóság minősített specifikuma) szerint osztályozni. Magától értetődik, hogy a modellek tartalmi különbségei határozzák meg a formai vonatkozásban fennálló különbségeket.

A modellek felépítési módjától, valamint azon eszközöktől függően, amelyekkel a tanulmányozott objektumok modellezése megvalósul, a modellek két nagy csoportja különíthető el:

1. Anyagi (materiális) – más kifejezésekkel: valóságos, reális, vagy dologi – modellek;
2. Eszmei (ideális) – más kifejezésekkel: képzelt, spekulatív, vagy gondolati – modellek.

Az első csoporthoz tartozik – e cikkben csak ezzel a csoporttal kívánok foglalkozni – minden lehetséges modell, amely, bár emberi alkotás eredménye, mégis objektíve létezik.

Az anyagi modellek maguk is három csoportba oszthatók. Az első csoportba olyan alkotások tartoznak, amelyeket azért hoznak létre, hogy reprodukálják vagy ábrázolják valamely objektum térbeli viszonyait és tulajdonságait. Az ilyen modelleknek az eredeti objektumhoz való viszonya mindig a geometriai hasonlóságon, mint szükséges feltételen keresztül jellemezhető. Ehhez a csoporthoz tartoznak a különböző makettek (pl. repülőgépek, helikopterek, hajók kicsinyített másolatai), helyszínrajzok, kristályok kémiában használatos térbeli modelljei stb.

## BÉKÉSI LÁSZLÓ

A második csoport olyan modellekből áll, amelyek nem csak és nem is annyira a természeti objektum térbeli tulajdonságait reprodukálják, hanem inkább a tanulmányozott folyamatok dinamikáját, valamint a tanulmányozott jelenségek tartalmát és lényegét kifejező különböző függőségi kapcsolatokat és törvényszerű összefüggéseket, struktúrákat, következésképpen méreteket, paramétereket és más jellemzőket. Itt a modell-viszony alapja a modell és az objektum fizikai hasonlósága, ami feltételezi fizikai természetük azonosságát vagy hasonlóságát és mozgástörvényeik egybeesését.

Az ilyen anyagi modellnek az ábrázolt rendszerhez való viszonya a tér, vagy az időskála megváltozása.

A térskála megváltozásán alapuló modellek példái a repülőgépek, repülőgép légcsavarak, helikopterek, helikopter forgószárnyak stb. kicsinyített, ugyanakkor működő modelljei.

Az anyagi modellek harmadik csoportját olyan rendszerek alkotják, amelyek anyagi természete nem azonos az objektummal, s nem jellemző rájuk az objektummal való „fizikai” vagy geometriai hasonlóság.

Az információhordozó funkció eltérő az anyagi, illetve gondolati modelleknél.

Az anyagi modell információhordozó annak a formának a mértékében, amely megfelel az általa képviselt objektumnak. A modellnek ez a megfelelése csökkenti az ugyanezen objektumra vonatkozó ismereteink határozatlanságát, s egyben csökkenti az ugyanezen objektum más lehetséges modelljei közül való választások számát is. Ezért azt lehet mondani, hogy a modell az információ hordozója, s következésképpen az objektumról nyerhető információk közbenső forrása.

Figyelembe véve e szerepét (funkcióját), az anyagi modell következő részdefiníciója adható meg: *a modell olyan képződmény, amely valamilyen másik objektumról szóló információt hordoz.*

Így a modell ismeretelméleti képmás, mert használata során mindig olyan rendszerként kell tekinteni, amely ismeretelméletileg másodlagos a megismerés (tanulmányozás) objektumához képest.

A modellel történő magyarázat elve azon alapszik, hogy a fizikai hasonlóság, vagy analógia egyik tagja. A szóban forgó relációt a magyarázandó terület modellje, valamint a jelenség egy jól ismert területének struktúrája között lehet megállapítani (mely struktúra egyszerűsített képmásként a modellben ábrázolható), amely utóbbi már rendelkezik elmélettel, s ennek révén a rajta végbemenő folyamatok érthetőek számunkra.[6]



*A MŰKÖDŐ MODELLEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ AERODINAMIKA  
TANTÁRGY OKTATÁSA SORÁN*

A modell a megismerési folyamat egyik mozzanata lehet, olyan csomópont, vagy idealizált struktúra, amelyben egyfelől az elmélet teljesül, másfelől a valósággal homoform- relációban áll.

Az egyik irányban-, amely a valóságtól és a megfigyelt tényektől az elmélet felé halad- a modell a kísérletekből születő hipotézisek szerves része, a megfigyelt tények és jelenségek interpretációjának az eszköze, amely lehetővé teszi magyarázatukat azon területre vonatkozó elméleti tételek segítségével, ahonnan a modell származik.

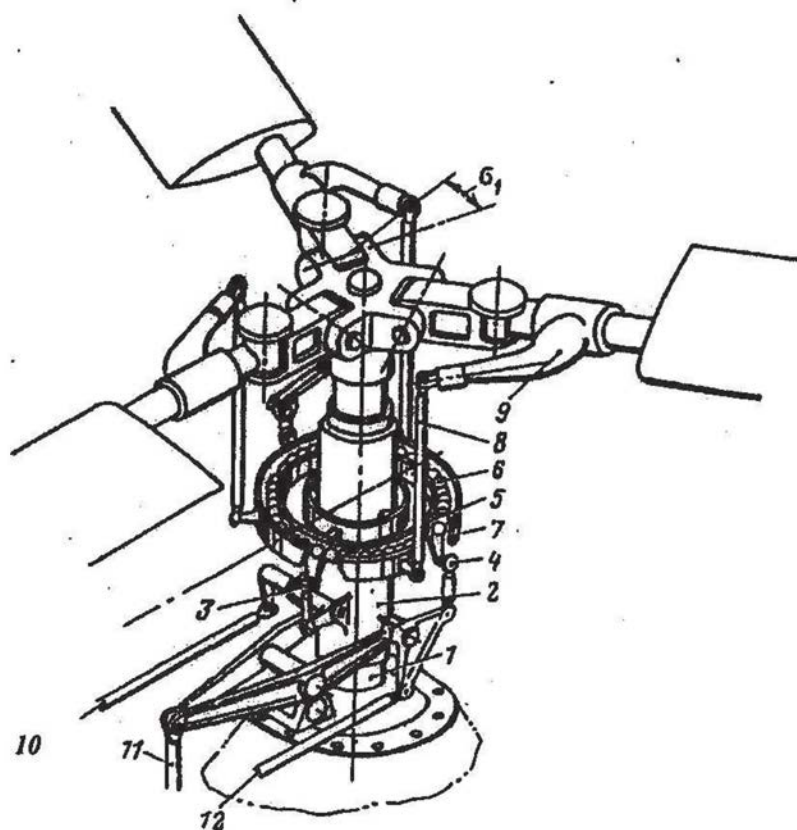
A másik irányban-, amely a formális elméletektől ezek objektív tartalma felé halad- a modell az elmélet tartalmi interpretációját szolgálja, ami az egyik interpretációs szintről a másikba való átmenet következtében lehetőséget ad végső soron az elmélet azon tárgyi területének megmutatására, amely már a reális világhoz tartozik.

A tanszékünkön készített és használt eszközök közül most nézzünk meg egyet, amely az 1.ábrán látható vonalas rajz alapján készült és a „Helikopter aerodinamika” tantárgy oktatásakor jó eredményességgel alkalmazható.[7]

A helikopterek kormányzását-mint ismeretes- a forgószárny vezérlésével lehet megvalósítani.

Ezen eszközök kiválasztásakor (az 1.ábra megvalósított szerkezete) a következő szempontok lettek figyelembe véve:

1. A konkrét tananyag, jelen esetben a forgószárny vezérlése, a valóságos helikopter közvetlen megfigyelésével nem lehetséges, azért sem, mert működés közben a balesetveszély miatt nem lehet hozzá közel menni, ugyanakkor gazdaságtalan lenne minden alkalommal a hajtóműveket beindítani;
2. A fizikai hasonlóságot figyelembe véve, a táblán nem ábrázolható mozgások, azok jellege, egymásutánisága tantermi körülmények között bemutatható legyen;
3. A valóság egy olyan egyszerűsített változatát kívánatos alkalmazni, amelyen felismerhetők a valóságos helikopter- forgószárny vezérlés lényeges jegyei, elemei, jellemzői;
4. A tanszék laboratóriumában meglévő egyszerű szerszámgépekkel, valamint selejt repülőgép, illetve helikopter-alkatrészek felhasználásával legyártható legyen.



1. ábra

A vezérlő automata és a forgószárny agy elvi felépítése

- 1-forgószárny tengely; 2-közös beállítási szög tengelye; 3- a hosszirányú vezérlés bekötése;  
4- a keresztirányú vezérlés bekötése; 5- álló gyűrű; 6- golyós csapágy; 7- forgó gyűrű;  
8-toló-vonó rudak; 9- axiális csuklók bekötése; 10- hosszirányú vezérlés tolórúdja;  
11- közös beállítási szög vezérlés bekötése; 11- keresztirányú vezérlés tolórúdja

## **A MODELL HASZNÁLATÁNAK HATÉKONYSÁGA**

Az adott téma oktatásakor a modell, célszerűen kiválasztott eszköz jelentősen segíti a tanár munkáját, hiszen be tudja vele mutatni az ilyen típusú forgószárny-vezérlés szerkezetét, működését, az összes alkatrész elnevezését ugyanakkor azonnal illesztheti a már megtanított fogalmak rendszerébe.

Bemutatható a működő modell segítségével:

- a légerők hatása (vonóerő és kerületi erő) a forgószárny lapátokra;
- az axiális csuklók szerepe;
- a vízszintes csuklók jelentősége;
- a vezérlő automata szerepe és szerkezete;
- a közös lapát-beállítási szög vezérlésének folyamata statikusan és dinamikusan;
- a ciklikus lapát-beállítási szög vezérlésének folyamata, és annak hatása a forgószárnyra

Nagyon fontos, hogy a hallgató egyidejűleg látja, hogy a botkormány elmozdításának milyen hatása van a forgószárnyra.

A hallgatók maguk is használhatják a modellt, újra és újra átélve a közvetlen észlelést és érzékelést, azt behelyezve a már ismert törvényszerűségek rendszerébe jelentős mértékben megerősíthetik, és tartóssá tehetik a megértést.

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

A mostani konferencián az adott téma felvázolásával és egy konkrét működő modell bemutatásával az volt a célom, hogy a korszerű oktatástechnikai eszközrendszerek mellett még mindig nagyon eredményesen használhatók a háromdimenziós és valós működő modellek az oktatás hatékonyságának növelése érdekében, gazdaságosan, balesetmentesen és millós beruházást igénylő eszközök beszerzése nélkül.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BÉKÉSI László A működő modellek szerepe a repülőgép- és helikopter sárkány-hajtómű szakon tanuló hallgatók képzésében, Katonai főiskolai közlemények, 1986/X/1
- [2] NÁDASI - VÁRI Médiumpok rendszerezése és kiválasztása, OKK /kéziratl/, 1976
- [3] VÁRI Péter Médiump kiválasztás, OKK. 1979
- [4] BAZOV D.I. Helikopter aerodinamika, Transzport, Moszkva, 1969
- [5] Szakoktatási Pedagógiai Intézet, Útmutató egyes szemléltető eszközök elkészítéséhez, Budapest, 1974
- [6] MARTINOVA A.K. Helikopter aerodinamikai kísérleti vizsgálatok, Masinosztróenyie, Moszkva, 1972
- [7] DMITRIEV I SZ.-Eszaulov Sz.Ju. Egyforgószárnyas helikopterek vezérlő rendszerei, Masinosztróenyie, Moszkva, 1969
- [8] BÉKÉSI László Dinamikus modellek alkalmazási lehetősége a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelése érdekében, ZMNE. Repülőti Intézet, Repüléstudományi Közlemények, X.évf.25.sz. 1998/2

*In process of teaching of aerodynamics understanding the explanation by drawing on chalkboard often occur as a problem. At the Airframe and Engine Department they succeeded in solution to these problems by demonstrating models. This article, through an example by using a model, shows the increasing effectivity of learning the subject.*

**„D” SZEKCIÓ  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK II.**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. TURCSÁNYI KÁROLY**

**TÁRSELNÖK: DR. LUDÁNYI LAJOS**





# **A DELPHI PROGRAMRENDSZER ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A REPÜLŐESZKÖZÖK ÜZEMELTETÉSE SORÁN ALKALMAZOTT ANYAGOK RAKTÁROZÁSÁBAN ÉS TÁROLÁSÁBAN**

**Kovács Klára egyetemi szakoktató  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Repülő sárkány-hajtómű tanszék**

*A repülőcsapatok gazdaságos és hatékony üzemeltetésének meghatározó eleme a repülőanyag-gazdálkodás és biztosítás. A MH központi raktárbázisa megbízható, számítógéppel támogatott nyilvántartási rendszerrel rendelkezik, aminek a korszerű tervezéshez, készlet felhasználáshoz potenciálisan rendelkezésre álló lehetőségei még nincsenek kellően kihasználva. Az alábbiakban a meglévő rendszer épp általam kidolgozás alatt álló fejlesztési változatát kívánom bemutatni.*

## **A RAKTÁROZÁS-TÁROLÁS SZÁMÍTÁSTECHNIKAI PROBLÉMÁI**

A repülőgépek biztonságos üzemeltetésének egyik feltétele, hogy bármely meghibásodás esetén a javításhoz szükséges anyagok a rendelkezésre álljanak. A feladat megoldásához jól ellátott raktárak szükségesek. Nem megoldható azonban, hogy minden repülőtéren, minden anyagból maximális készlet álljon rendelkezésre, mivel ez akkora többlet költséget és többlet anyagmennyiséget eredményezne, aminek gazdaságossága megkérdőjelezhető. Itt nem a mindennapokban felhasznált fogyóeszközökről (pl. anyacsavarok) van szó, hanem a repülések műszaki kiszolgáláshoz szükséges anyagokról. A repülő csapatok isaszegi raktárbázisán hosszú évek folyamán létrehoztak egy jól működő raktározási rendszert. A későbbiekben a raktár áttért a számítógéppel segített adatfeldolgozásra, mely adatbázisában egy-egy anyagról többféle gazdaságossági-, műszaki mutatót tartanak nyilván. Van olyan, aminek közel

száz jellemzője található meg. A nyilvántartásban szerepelnek a különböző műszaki adatok - a méretektől kezdve, az esetleges üzemidőig -, de természetesen a beszerzéshez, felhasználáshoz, javításhoz szükséges mutatókat is nyilvántartja a rendszer.

Néhány évvel ezelőtt a Magyar Hcnvédségben bevezették az egységes Eszköz Analitikai Nyilvántartó Rendszert. Minden alakulat áttért a számviteli törvényben meghatározottaknak megfelelő program használatára. Ez azonban a speciális feladatoknak nem felel meg, mivel nem tud nyilvántartani egy anyagról olyan sokféle információt, mint ami az isaszegi raktárbázisban rendelkezésre áll, illetve a folyamatos, gyors logisztikai biztosításhoz szükséges. Ez a probléma nagyon egyszerűen megoldható a Delphi rendszer segítségével. A rendelkezésre álló adatbázisok tartalmazzák az Eszköz rendszerhez szükséges információkat. Nem kell mást csinálni, mint egy lekérdezést készíteni, ami egy olyan adattáblát generál, amit az Eszköz rendszer fel tud dolgozni, mert lehetőség van e rendszeren belül, a lemezzről, illetve file-ból származó adatokat feldolgozásának. A Delphi biztosítja ezt, mert az Eszköz rendszer olyan nyelven készült, ami a dBase adatbázis-kezelőt használja és ezt a Delphi is alkalmazni is képes. Mivel a rendszer felépítése titkos, ezt természetesen az Eszköz rendszert készítő programozók tudják csak végrehajtani, mert ők ismerik a bemeneti táblák felépítését. Fontos lenne biztosítani, hogy az idők folyamán felgyűlt adathalmaz ne vesszen el, mert az itt tárolt információk felhasználhatók a repülőtechnika jobb kiszolgálására. Ezek között különösen fontosak a különböző statisztikai számítások, amelyek az anyagok, eszközök és berendezések beszerzésének tervezését számottevően meggyorsítják.

## A DELPHI ALAPJAI

A Delphi programrendszer alkalmazhatóságának megértését megkönnyítheti a programnyelvek fejlődésének vázlatos áttekintése.

Az első nagygépes programozási módszer az úgynevezett "gépi kód" volt, ami tulajdonképpen még nem is igazán mondható a mostani értelemben vett nyelvnek. Ez lehetővé tette, hogy a memóriát közvetlenül programozzuk. Tulajdonképpen két bitsorozatot tartalmazott, ami "megmondta" a gépnek, hogy melyik memóriacím milyen értéket tartalmazzon.

A következő állomás az Assembly nyelv, ami már nem olyan közvetlen, mint elődje, de ez is a memóriacímek átprogramozását tette lehetővé. A legnagyobb különbség, hogy itt már vannak parancsszavak. Az ezen a nyelven

*A Delphi programrendszer alkalmazásának lehetőségei a repülőeszközök üzemeltetése során alkalmazott anyagok raktározásában és tárolásában*

készült programokhoz fordító programok szükségesek, ami a gép számára érthető bitek sorozatává alakítja át a programsorokat.

Az előző két nyelv hátránya, hogy gépenként különbözők, tehát előfordulhat, hogy ugyanazt a problémát az egyik processzorral másképpen lehet megoldani, mint a másikkal.

A személyi számítógépek elterjedése és egyre szélesebb körű felhasználása során biztosítani kellett, hogy a felhasználók is tudjanak saját, igényeiknek megfelelő programokat készíteni. Biztonsági célok elkerülhetetlenné tették, hogy a memória közvetlen programozásának lehetőségét kivegyék a programkészítő kezéből. Olyan nyelvre volt szükség, ami az emberi gondolkodáshoz közelebb áll, minden gépen futtatható programot készít - a fordító segítségével -, könnyű javítani stb. A különböző munkaterületeken dolgozók között azonban felmerült az igény is, hogy a saját szakmájuknak jobban megfelelő programnyelveket hozzanak létre. Ilyen például a Fortran, Algol, C, Pascal, Clipper stb. A programok írásakor az egyik legfontosabb feladat a megfelelő nyelv kiválasztása. Ez nem is olyan egyszerű feladat, mert mint a különböző nyelvek más-más jellegű feladatok megoldására készültek. Úgy kell ezt érteni, hogy az egyik az adatbázisok kezelésében erős, a másikkal könnyebb megoldani a gazdaságossági problémákat, míg a harmadik inkább a mérnöki gyakorlatban előforduló feladatok megoldására alkalmasabb. Ezek közül a Pascal és a C terjedt el a legjobban, mert könnyen kezelhetők, jól használhatók a műszaki és gazdasági életben egyaránt, ugyanakkor "szép" programok készíthetők velük.

A Delphi programrendszer az objektumorientált Pascal nyelven alapul. A Pascal olyan programozási nyelv, ami a legáltalánosabban elterjedt, objektum orientáltsága pedig lehetővé teszi, hogy hasonló adatszerkezetek, illetve feladatok készítésekor ne kelljen mindent újra programozni, hanem felhasználhatók legyenek az előzőekben elkészített szerkezetek úgy, hogy "örököltetjük" a szerkezetüket és a bennük definiált eljárásokat, függvényeket. Azokat az objektumokat, amikből örököltetünk szülő objektumnak hívjuk, míg az öröklő objektumok a leszármazott, vagy gyerek objektumok. Az az előnyük is megvan, hogy a szülő objektumok eljárásai, függvényei átdefiniálhatók a követelményeinknek megfelelően. Mindez tulajdonképpen érvényes a C nyelvre is, bár annak elemei, szerkezete kicsit különbözik a Pascal-tól.

Mi is az a Delphi? A gyártó hivatalos megfogalmazása szerint:

"A Delphi olyan Windows-os alkalmazásfejlesztő eszköz, amelyet az alábbi fontosabb tulajdonságok kombinációja jellemez:

- A vizuális, komponensalapú felépítéséből következő gyors alkalmazásfejlesztés (RAD-Rapid Application Development).

- Az optimalizálásra is képes forrásnyelvi fordítóprogram.



- A testre szabható adatbázis-hozzáférés." [1]

Az objektumorientált programozás alapelemeit, az egységbefoglalást (encapsulation), az öröklődést (inheritance) és a polimorfizmust (polymorphism) az Turbo Pascal-hoz hasonlóan tartalmazza. Tovább lépést jelent, hogy lehetőségünk van az objektumok hozzáférési jogainak szélesebb körű meghatározására, melyek már a program tervezésekor beállíthatók. Ezek a következők:

- nyilvános (public);
- saját (private);
- védett (protected);
- publikált (published).

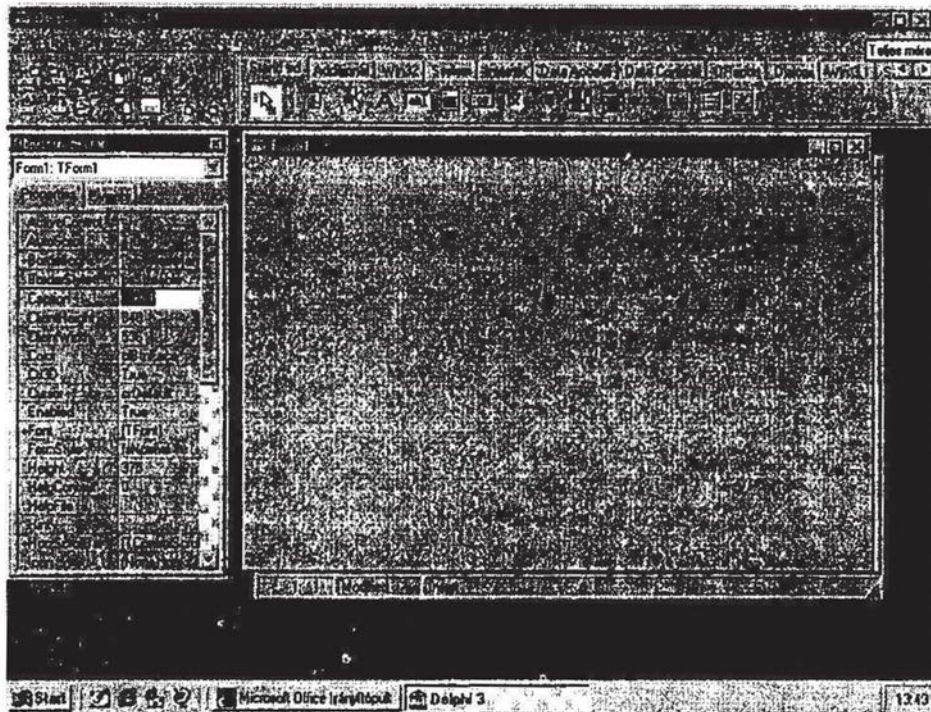
Azon események kezelését is lehetővé teszi, amelyek eddig oly sok fejtörést okoztak programkészítőnek és felhasználónak egyaránt, például a különböző hibák felmerülése, amik után a program egyszerűen "lemerevedett", a nem mentett adatok elvesztek, és még sorolhatnám a különböző problémákat. Most lehetőségünk van kikényszeríteni a "rendes befejezést" pl. bezárhatjuk a nyitott adatbázisokat, a menthető adatokat menthetjük akár más néven is stb. Támogatja az úgynevezett nyitott tömbök létrehozását, ami azt jelenti, hogy a megszokottól eltérően nem kell megadni a méretét, hanem a program futása során derül ki, hogy tulajdonképpen mekkora is lesz.

Szólnom kell még egy nagyon fontos dolgról. A gyártó megfogalmazásában szó van a vizuális és komponens alapú alkalmazásfejlesztésről. A 1. ábrán látható, hogy a Delphi 3.0 verziója hogyan jelentkezik be.

Megfigyelhető, hogy az ablak öt részre van osztva. Az első rész a menüsor, ami tulajdonképpen egy szabvány Windows menü. Alatta balra található az eszközzaletta, ami szintén a szabványos elemeket tartalmazza, a megszokottól kicsit eltérő képekkel. Az eszközzaletta mellett a komponenspaletta helyezkedik el, ami a Windows-ban megszokott elemeket tartalmazza megszokott jelekkel, funkcióiknak megfelelő csoportosításban. A legalsó sorban pedig az Object Inspector és egy üres Form kapott helyet. A Form egy Windows alkalmazás ablaka. Ide helyezzük el a komponenspalettáról a kiválasztott elemeket. A rajta lévő rácpontokhoz igazíthatjuk őket - ott fognak megjelenni futtatáskor -, de a helyük számmal is megadható az Object Inspector Properties (tulajdonságok) oldalán, a megfelelő értékek beírásával. Ez kicsit nehézkes, mert pixelben kell dolgozni. Vannak látható és nem látható komponensek. Ez a különbség onnan adódik, hogy egy menü komponens felhelyezése csak a tervezési időben látható, futtatáskor már természetesen csak a beleírt menüpontok. A látható komponensek viszont már tervezéskor is a helyükön vannak.



*A Delphi programrendszer alkalmazásának lehetőségei a repülőeszközök üzemeltetése során alkalmazott anyagok raktározásában és tárolásában*



1. ábra

Nagy segítség az Object Inspector. Az itt megjelenő tulajdonságok tervezési időben beállíthatók, és ezek egy része futtatáskor, másik része már tervezéskor hatályba lép. Az Events (események) oldalon kezdődik el a tulajdonképpeni programozás. Itt kell megadni, hogy pl. egy gombra való kattintáskor mi történjen. Megnyitja a programszerkesztőt és megírhatjuk a megfelelő programrészletet.

Nagy segítség a programozásban a Delphi rendszer, mert leveszi a programozó válláról az egyik legnagyobb gondot, hogy a program szép is legyen ne csak hasznos. Nem kell hosszú napokat eltölteni a szép programok kialakításával és azzal foglalkozni, hogy átszámolgassuk a koordinátákat, ha egy másik gépre kerül át a program. A jól bevált kattintásos módszerrel egyszerűen felhelyezhetők az elemek a Form-ra. Húzással áttehetők másik helyre, ha nem tetszik, kiválaszthatók a színek, megadható a megfelelő betűtípus, az egér formája, lehetőség van a standard Windows-os értékek megadására - ami egyforma minden gépen - és még sorolhatnám a programozást kiváltó lehetőségeket.

## A DELPHI ADATBÁZIS-KEZELÉSE

A Delphi nem kimondottan adatbázis-kezelő nyelv, de igen jól felszerelt komponensekkel rendelkezik a felmerülő problémák megoldásához. "Az adatbázis-kezelő rendszerek elsődleges célja az információ-szolgáltatás, amihez négy dologra van szükség:

- adatok;
- hardver;
- szoftverek (adatbázis-kezelő rendszer);
- felhasználók.

E négy alkotóelem összességét Információs rendszernek nevezzük." [2] Természetesen az információ és az adat nem azonos. A számítógépen tárolt adatokból a felhasználó számára fontos információk nyerhetők ki. Talán nem haszontalan tisztázni mi is az az adatbázis.

"Az adatbázis tartalmaz:

- adatokat;
- az adatok közötti összefüggéseket." [3]

Az adatbázis-kezelőkkel szemben támasztott követelmények közül az alábbiakat fontos kiemelni:

- adatfüggetlenség: az információkérés legyen független az adatok tárolási módjától;
- adatok közötti kapcsolatok ábrázolása: ha ez nincs meg, akkor egy használhatatlan adathalmazunk van;
- adatvédelem: illetéktelenektől való védelem, valamint a felhasználók ne okozhassanak véletlenül hibákat;
- adatsérülések javíthatósága: az üzemzavarokból, vagy géphibákból adódó sérülések kezelése;
- adatok megosztása: többfelhasználós adatbázisoknál szükséges.

Az adatbázis-kezelők felépítésüket tekintve igen különbözők, de egyes alapvető funkcióikban egyformák. Mindegyiknek van:

- adatleíró nyelve: az adatbázis formai leírására szolgáló elem;
- adatkezelő nyelve: ami az adatok manipulálását teszi lehetővé;
- képernyő tervezője: a képernyőn történő műveletek megjelenésére;
- jelentés készítője: a tárolt adatokból kimutatások, jelentések elkészítésére.

A Delphi rendszerben sikerült megoldani a különböző adatbázis-kezelőkkel már elkészített adathalmazok egyszerű felhasználását, ezáltal nincs szükség a

*A Delphi programrendszer alkalmazásának lehetőségei a repülőeszközök üzemeltetése során alkalmazott anyagok raktározásában és tárolásában*

meglévő adatok újbóli gépre vitelére. Ezek lehetnek a saját gépünkön elhelyezkedő lokális-, illetve távoli, hálózati adatbázisokban. A rendszer lehetővé teszi, hogy saját magunk is készítsünk adattáblát, amit úgy állíthatunk elő, hogy a már meglévő adatbázisunkhoz alkalmazkodjon, vagy átkonvertálhatjuk egy másik fajta adatbázis-kezelőbe.

A Delphi komponenspalettáján két oldalon helyezkednek el azok az elemek, amelyek segítenek megvalósítani az adatbázis-kezelést. A Data Access oldalon a nem vizuális komponensek érhetők el. Ezek segítségével a különböző adatbázisok helyei, egymáshoz való kapcsolódási módjai adhatók meg. A Data Controls oldalon pedig a felhasználói felület elkészítéséhez szükséges komponenseket helyezték el. Az elemek segítségével bonyolult, mégis könnyen kezelhető programok készíthetők.

A Delphi alkalmazásának van még egy további előnye is. Minden adatbázis-kezelőnek van egy adatkezelő nyelve. Az egyik az úgynevezett SQL. Ennek az a hátránya, hogy a felhasználónak olyan ismeretekkel kell rendelkeznie egy adatbázisról, ami nem várható el tőle. A Delphi segítséget nyújt abban, hogy a felhasználó ezt használja holott nem is tud róla semmit. Könnyen megoldható a Data Access és Data Control komponensek segítségével, hogy saját kereső kérdéseket fogalmazzunk meg, és ezek eredményét szabadon konvertálhassuk át egy külön adattáblába. Ez a rendszer - holott nem kimondottan adatbázis kezelésre készült - minden lehetőséget megad, amire szükségünk van.

Szólnom még egy nagyon fontos dologról. A különböző kimutatások, jelentések készítéséről. Ezek jelentősége mindenki előtt ismert, hiszen ezek alapján mondható meg, hogy mi, mennyi, hol és milyen mennyiségi és/vagy minőségi mutatók szerint található meg a raktárban. Vannak olyan jelentések, amik előírt időközönként szükségesek. Ilyenek például a leltározások után készítenedők, vagy éppen a következő évre tervezett és a felhasználásból adódó beszerzések tervezéséhez szükségesek. Ezen kívül mindig előfordulnak olyan esetek, hogy valamilyen kimutatást kell készíteni. A Delphi-nek erre egy egyszerű komponense van, az úgynevezett Report. A Report felhasználásával az ismétlődő jelentések, kimutatások rendszere egyszerűen feldolgozható, mert egy üres nyomtatvány elkészítése után csak a megfelelő gombra kattintva a gép önmaga elkészíti a megfelelő formai követelményekkel és tartalommal ellátott jelentést, ami nyomtatás és aláírás után továbbítható. Az előzőekben említett saját keresőkérdés megfogalmazása után már bonyolultabb a dolog, mert komolyabb programozásra van szükség, a nyomtatott jelentés elkészítéséhez.



KOVÁCS KLÁRA

## VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉS

Eddigi tapasztalataim azt mutatják, hogy a Delphi programrendszerrel készített programok felhasználóbarátok, könnyen elkészíthetők és módosíthatók. A vele alkotott raktári nyilvántartó rendszer könnyen konvertálható adatbázist eredményez és az Eszköz rendszer fel tudja használni. Bevezetésének fontosságát még az is indokolja, hogy a számítógépeken manapság szinte kizárólag a Windows '95-ös, vagy magasabb verziójú "operációs rendszer" fut. Így egységes felületű, gyors, más Windows-os programokhoz konvertálható, megszokott kezelésű és szélesebb körben felhasználható programokat tudnánk készíteni, felhasználni.

## IRODALOMJEGYZÉK

[1] Juhász Mihály-Kiss Zoltán-Kuzmina Jekatyerina-Sölétormos Károly-Dr. Tamás Péter-Tóth Bertalan: DELPHI ÚT A JÖVŐBE, ComputerBooks Budapest, 1998. 3. oldal

[2] Ua. 242. oldal

[3] Ua 242. oldal

*Organizaton and maintenance of a reliable supply system is a significant requirement for economical and effective management of the Air Force units. The store centre of the Hungarian Armed Forces has got an up-to-date, computer-controlled registration system; however, its potencialities have not been fully exploited yet in the field of planning and optimum utilization of stocks. In what follows, I wish to demonstrate a version of improvement of the present system, which has been being elaborated by me recently.*

## **A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL**

**Dr. Ludányi Lajos mk. alezredes  
egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar  
Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A neurális hálózat egy új számítási paradigma, amely számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik. A cikk a neurális hálózat radartechnikai alkalmazhatóságát vizsgálja egy konkrét megoldáson keresztül.*

A neurális hálózatok olyan számítási feladatok megoldására létrejött párhuzamos feldolgozást végző adaptív eszközök, melyek eredete a biológiai rendszerektől származtatható.

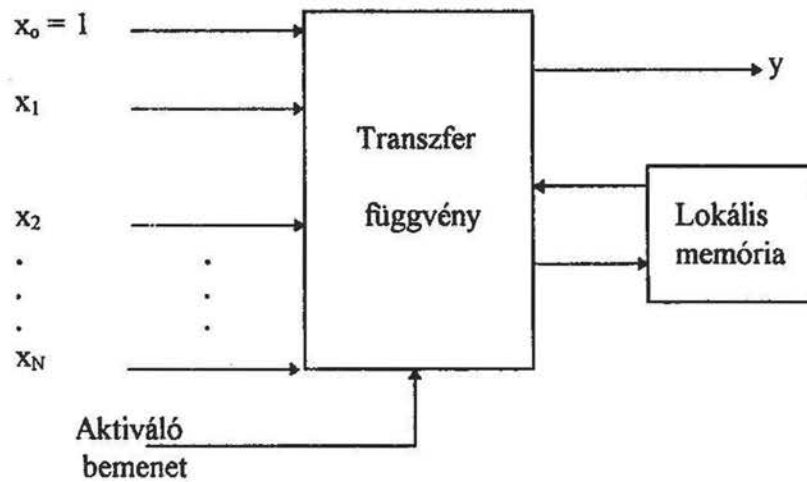
Ezen hálózatok olyan hardver vagy szoftver megvalósítású párhuzamos, elosztott működésre képes információ feldolgozó megoldások, melyek

- rendelkeznek tanulási algoritmussal (amely általában minta utáni tanulást jelentenek);
- azonos vagy hasonló típusú lokális feldolgozást végző műveleti elemek rendezett topológiájú összekapcsolt rendszeréből áll;
- rendelkeznek a megtanult információ felhasználását lehetővé tevő előhívási algoritmussal.

A neurális hálózat műveleti eleme a neuron, amely egy több bemenetű, egy kimenetű eszköz, rendelkezhet lokális memóriával, melyben akár bemeneti, akár kimeneti értéket tárolhat.

A bemeneti és tárolt értékekből az aktuális kimeneti értéket tipikusan nemlineáris transzfer függvény alkalmazásával hozza létre, melyet aktiváló függvénynek neveznek.





1. sz. ábra  
A neuron általános, elvi felépítése

A neuron működését képletben összefoglalva (diszkrét hálózatra):

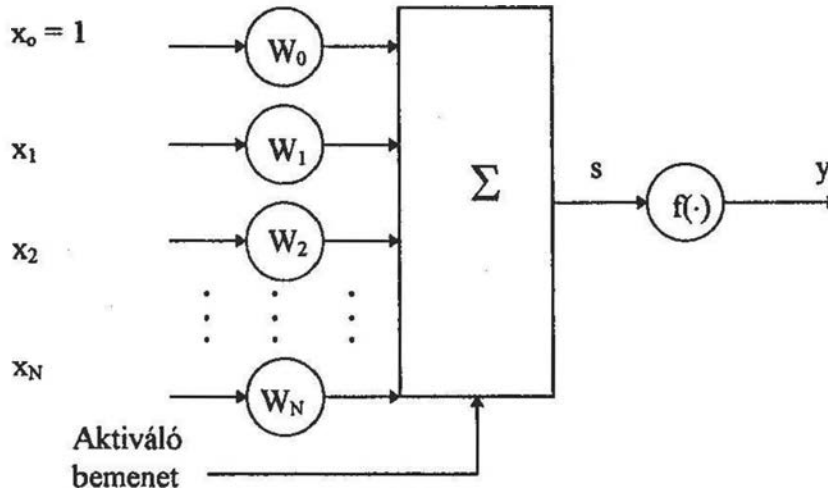
$$y(k) = f[\bar{x}(k), \bar{x}(k-1), \dots, \bar{x}(k-M_x), y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-M_y)],$$

ahol

$$\bar{x}(k) = [x_0(k), x_1(k), \dots, x_N(k)]^T \quad (1)$$

A műveleti elemek legegyszerűbb változata az egyenrangú bemenetekkel rendelkező memória nélküli neuron, melynek felépítése a 2. sz. ábrán látható:

A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL



2. sz. ábra

Egyenrangú bemenetű, memória nélküli neuron felépítése

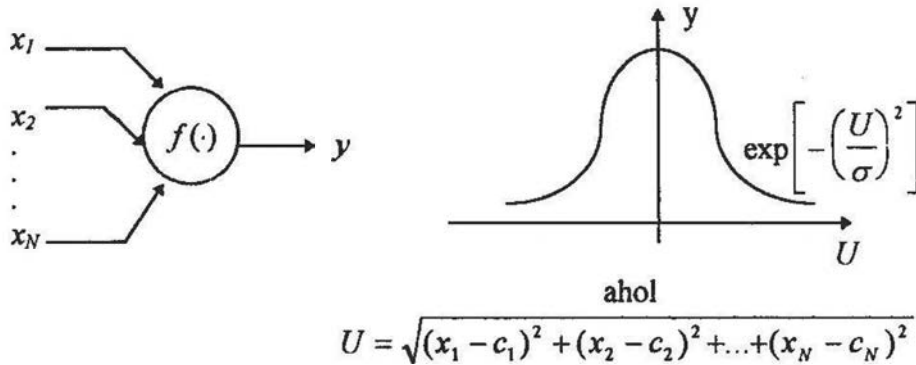
Tehát az  $x_i$  skalár bemenetek  $w_i$  súlyozással kerülnek összegzésre, majd a súlyozott összeg egy nemlineáris elemre kerül:

$$s = \sum_{i=0}^N w_i x_i = \bar{w}^T \bar{x} \quad (2)$$

Az  $f(\cdot)$  függvényt aktivációs függvénynek is szokás nevezni, amely tipikusan küszöbfüggvény jellegű leképezés, értelmezési tartománya a valós számok halmaza, értékészlete pedig a valós számok egy korlátos részhalmaza.

A leggyakrabban alkalmazott aktivációs függvények a lépcsőfüggvény, a telítéses lineáris, a tangens-hiperbolkusz és a szigmoid függvény.

A memória nélküli neuronok másik típusát kapjuk, ha a 2. sz. ábrán látható struktúra azon speciális változatát használjuk, amikor minden bemenet közvetlenül a nemlineáris elemre jut, azaz elmarad az összegzés és a nemlinearitás N-bemenetű. Ennek napjainkban használt típusa az RBF (Radial Basis Function) hálózatban használt neuron (3. sz. ábra):



3. sz. ábra  
Bemeneti összegző nélküli neuron

Az ábrából látható, hogy a neuron kimenete a bemeneti  $\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$  -vektor és a neuronra jellemző  $\bar{c} = [c_1, c_2, \dots, c_N]$  -vektor távolságának nemlineáris függvénye. A legelterjedtebb esetben Gauss-görbét használnak nemlinearitásként, melynek nemcsak a  $\bar{c}$  -vektor, hanem a statisztikából is ismert  $\sigma$  -szórás is a paramétere.

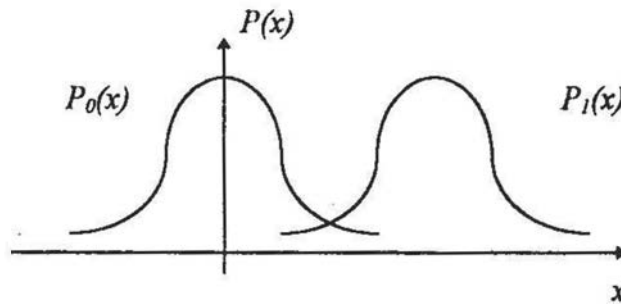
A vizsgált témakör felveti azt a megfontolást, miszerint a radarjelek detektálását elemezni lehet a neurális hálózat alkalmazásával. A radartechnikában a detektálási feladat klasszikus megfogalmazása a következő: a vevő bemenetére egy meghatározott időintervallumban sztochasztikus folyamat realizációja (mintafüggvény) jut, amely vagy a jel és a zaj együttese, vagy csak a zaj. Valamely szabály alapján dönteni kell, hogy a két, egymást kölcsönösen kizáró feltevés közül (azaz hogy a realizáció tartalmaz, illetve, hogy nem tartalmaz jelet) melyiket fogadjuk el. A döntéshez a mintafüggvény valamely  $x$  -paraméterét, például a feszültségét használják fel.

A jelhez keveredő zaj hatására bármely  $x$ -érték véges valószínűséggel előfordulhat, függetlenül attól, hogy tartózkodik-e a vizsgált térrészben cél vagy nem, azaz a vevő bemenetén a céljel megjelenik-e vagy nem.

A döntés ezért csak statisztikai megfontolások alapján lehetséges a statisztikus döntésmélet módszereinek felhasználásával.

A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL

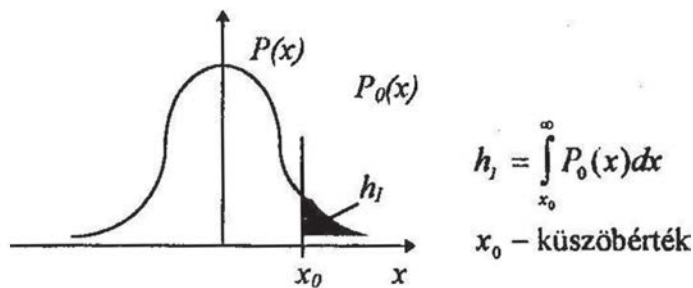
A valószínűségi változónak felfogott  $x$ -menyiség jellemzésére meg kell adni annak sűrűségfüggvényét. A jel van és a jel nincs két lehetséges állapotnak két feltételes sűrűségfüggvény felel meg. Ezeket jelöljük  $P_0(x)$   $P_1(x)$ -szel, ahol  $P_0(x)$  legyen a zaj, a  $P_1(x)$ - pedig a jel+zaj sűrűségfüggvénye (4. sz. ábra):



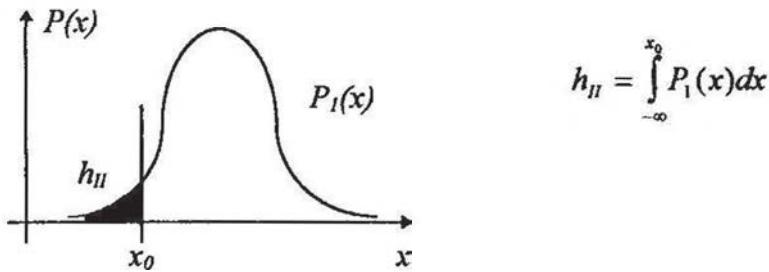
4. sz. ábra  
Feltételes sűrűségfüggvények

Az ábrából látható, hogy az  $x$ -paraméter ismeretében csak feltételezéssel élhetünk a jel meglétére, vagy hiányára vonatkozóan, mivel a  $P_0(x)$  és  $P_1(x)$  sűrűségfüggvények átfedik egymást. Ezeket a feltételezéseket hipotéziseknek nevezik.

Mivel a zaj a döntésben hibát okoz, ezért az ábrából látható, hogy bármelyik hipotézist fogadjuk el, döntésünk téves is lehet (5. sz., 6. sz. ábrák):



5. sz. ábra  
Elsőfajú hiba értelmezése



6. sz. ábra  
Másodfajú hiba értelmezése

Az elsőfajú hiba azt jelenti, hogy jelként észleljük a zajt, és nagyságát a  $P_v$ -vaklárma valószínűsége vagy az úgynevezett téves detekció valószínűsége határozza meg.

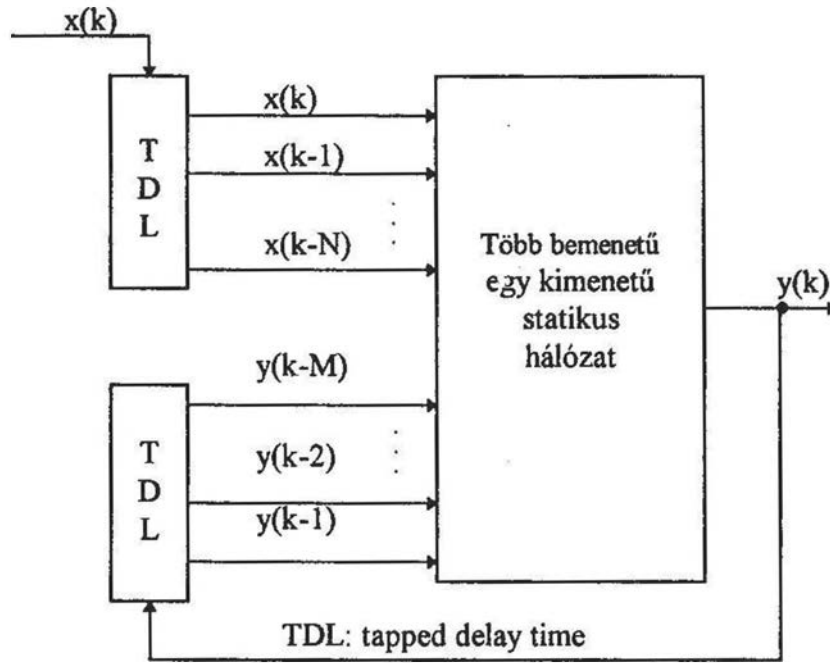
A másodfajú hiba (a zaj elfedi a hasznos jelet) a  $P_d$ -detekciós valószínűség csökkenésének mértékét jelenti. A radartechnikában követelmény, hogy a  $h_I = P_v$ -vaklárma valószínűség egy megadott kicsiny, például  $10^{-12}$  nagyságú, míg a  $P_d = 1 - h_{II}$  detekciós valószínűség a lehető legnagyobb legyen.

Tudvalévő az is, hogy a gyakorlatban a döntést a hipotézis elfogadásáról nem egyetlen mintafüggvény alapján, hanem az egymás után ismétlődő vételi periódusokban vett mintafüggvények integrálása után hozzák meg. Az integrálás a jel-zaj viszonyban javulást eredményez, azaz az egyetlen jel vételéhez képest úgynevezett integrálási nyereség keletkezik.

A bevezető részben bemutatott hálók legfontosabb jellemzője, hogy a bemenetükre kerülő adatok és az ezekhez tartozó kívánt kimenetek közötti statikus leképezés megtanulására képesek. A radartechnikában azonban olyan hálóra van szükségünk, ahol a hálózat válasza nem csak a bemenettől, hanem az időtől is függ. Ezek olyan hálózatok lesznek, amelyek emlékezettel, memóriával rendelkeznek, azaz nem csak a pillanatnyi bemeneti értéktől, hanem régebbi bemeneti és/vagy a régebbi kimeneti értékektől is függ.

Egyik megoldási módszer, ha a hálózat bemeneteinek számát megnöveljük és az egyes bemenetekre a tényleges be- illetve kimenőjel késleltetett értékeit adjuk késleltető tagokon keresztül (7. sz. ábra):





7. sz. ábra  
Általános időfüggő neurális hálózat

Az időfüggő neurális hálózat egyik típusa a rekurzív háló, amely emlékezettel rendelkezik, tehát egy bemeneti szekvenciára egy kimeneti szekvenciával válaszol. A kimenet a k-adik időpillanatban a visszacsatolás miatt:

$$y_i(k) = f[\bar{x}(k), \bar{y}(k-1)] \quad (3)$$

Tekintsük a következő egyszerű példát.  
Legyen egy lineáris szűrő átviteli függvénye:

$$\Phi(s) = \frac{1}{Ts + 1} \quad (4)$$

Áttérve a Laplace-operátoros jelölésmódról Z-transzformációs jelölésre:

$$\Phi(Z) = Z\{\Phi(s)\} = \frac{Z \cdot a}{Z - e^{-aT_i}} \quad (5)$$

ahol

$$a = \frac{1}{T}$$

$T$  – a szűrő állandója

$T_k$  – mintavételi idő

Mint ismeretes a rekurzív hálóra, mint szűrőre igaz, hogy:

$$y(k) = \sum_{i=0}^N a_i x(k-i) - \sum_{j=1}^M b_j y(k-j) \quad (6)$$

Elosztva a (3) egyenletet  $Z$ -vel, kapjuk:

$$\Phi(Z) = \frac{a}{1 - e^{-aT_k} \cdot Z^{-1}} = \frac{Y(Z)}{X(Z)} \quad (7)$$

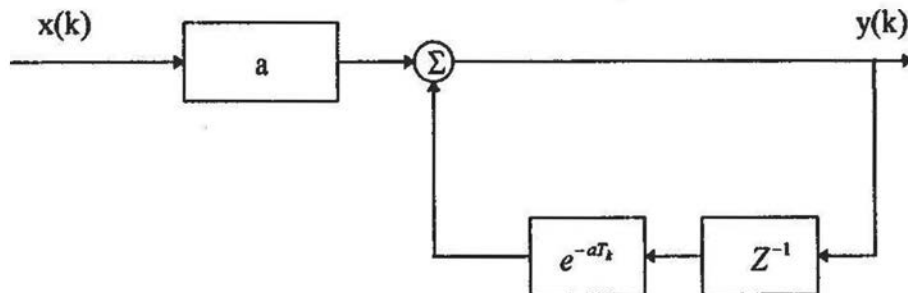
ahol

$$N = 0; a_0 = a; M = 1; b_1 = e^{-aT_k}$$

Ebből következően:

$$y(k) = ax(k) + e^{-aT_k} y(k-1) \quad (8)$$

A (8) egyenlet neurális hálója (8. sz. ábra):



8. sz. ábra  
A lineáris szűrő időfüggő neurális hálója

A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL

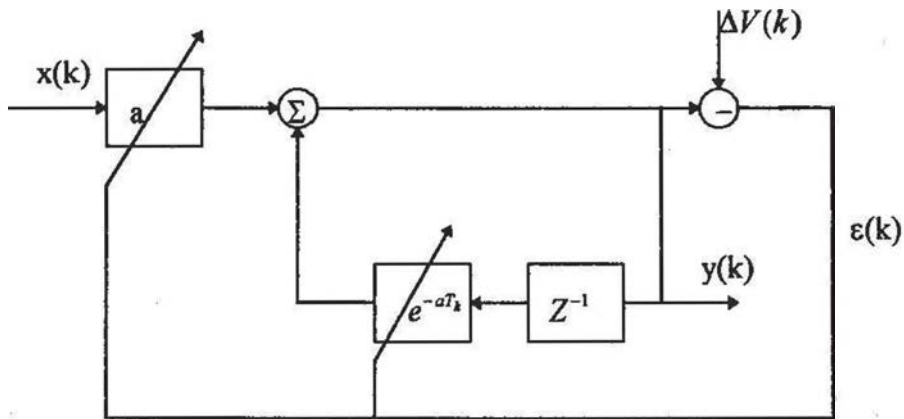
A kapott neurális háló nem más mint a radarjelek detektálásának egyik alapvető eszköze, a jel-zaj viszonyt növelő jelintegrátor.

A neurális háló  $y(k)$  kimenőjele az integrálási nyereség lesz, melynek értéke függ az  $x(k)$ -től, az  $a$ -tól és a  $b_1$ -től.

Mivel

$$b_1 = e^{-aT_k} = e^{\frac{-T_k}{T}} \quad (9)$$

így függ a szűrő  $B = \frac{1}{T} = 2\pi\Delta F$  sávszélességétől is. Ha előre adott az integrálási nyereség  $[\Delta V(k)]$ , akkor visszacsatolt rekurzív neurális hálót kapunk (9. sz. ábra):



9 sz. ábra

Adott integrálási nyereséget biztosító neurális háló

A 10-11. sz. ábrák: szimulációs futtatás hatásvázlatai zavarással, illetve zavarás nélkül.

A lineáris szűrő és a neurális háló (mint jelintegrátor) összehasonlító szimulációja a 12-21. sz. ábrán látható.

DR. LUDÁNYI LAJOS

### Ábraszámok

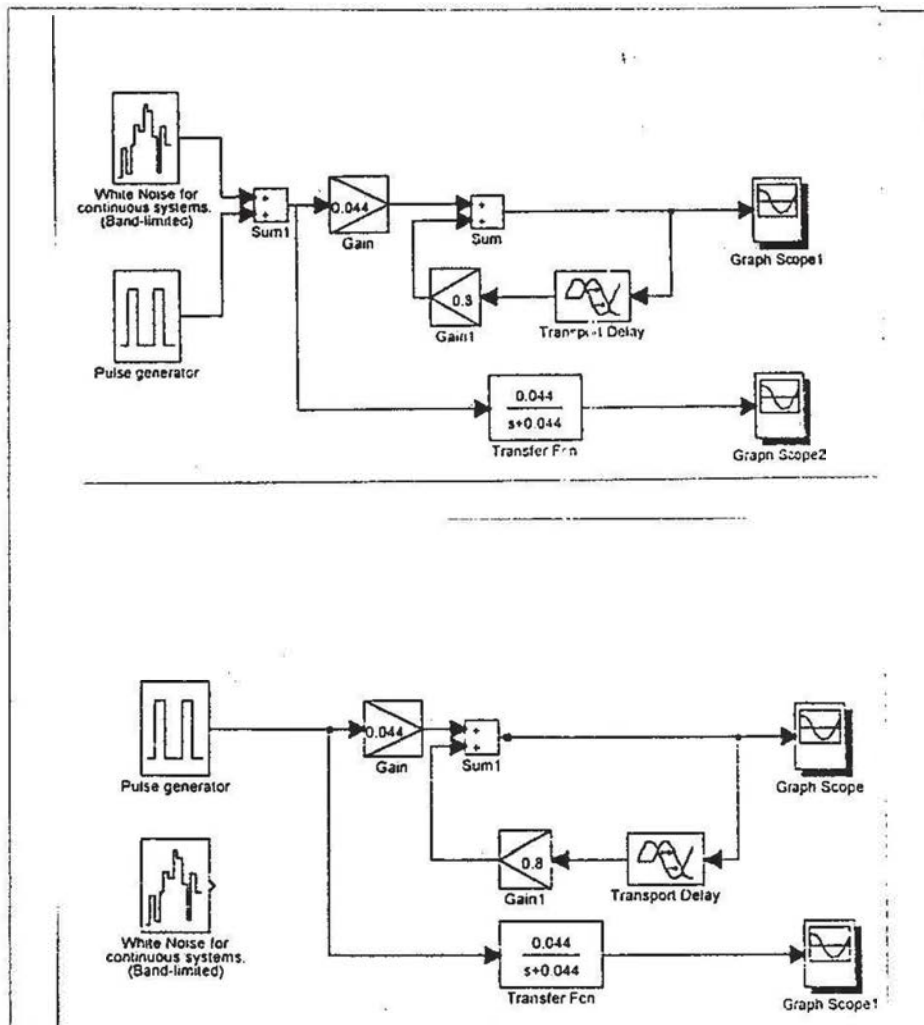
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$\beta$	0,8	0,1	0,4	0,8	0,9	0,94	0,8	0,8	0,8	0,8
$T$	23,5	2,2	5,52	23,5	49,6	91,4	23,5	23,5	23,5	23,5
$T_k$	5	5	5	5	5	5	1,5	2	8	15
Zavar	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Csorba János: A fedélzeti rádiólokátorok működésének elméleti alapjai - KGYRMF, jegyzet, Szolnok, 1986.  
[2] Dr. Horváth Gábor: Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásaik - BME, Budapest, 1995.

*The neural network is a new computational paradigm, which has many advantages. This paper deals with applicability of neural network in radar technics through an example.*

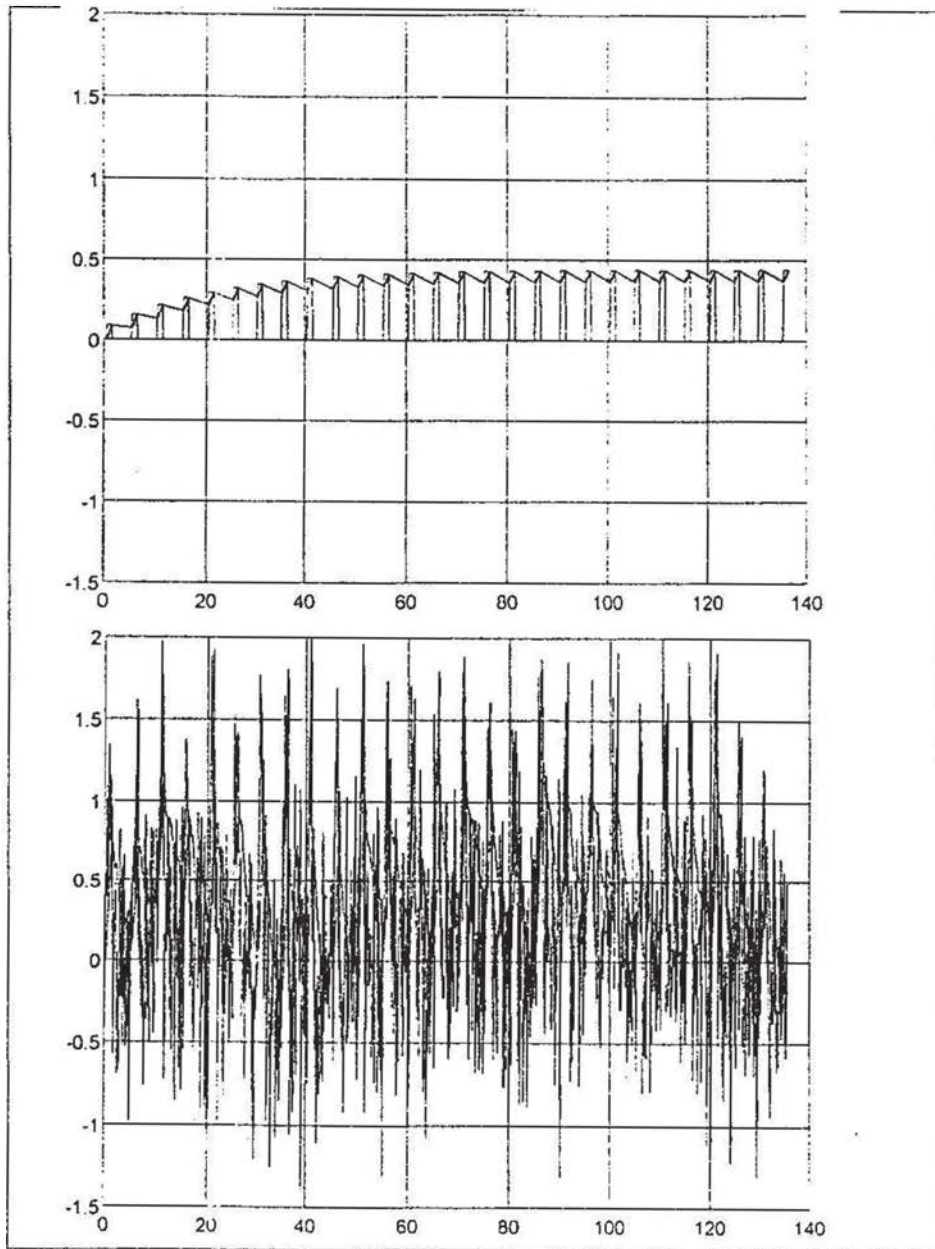
A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL



10-11. sz. ábra

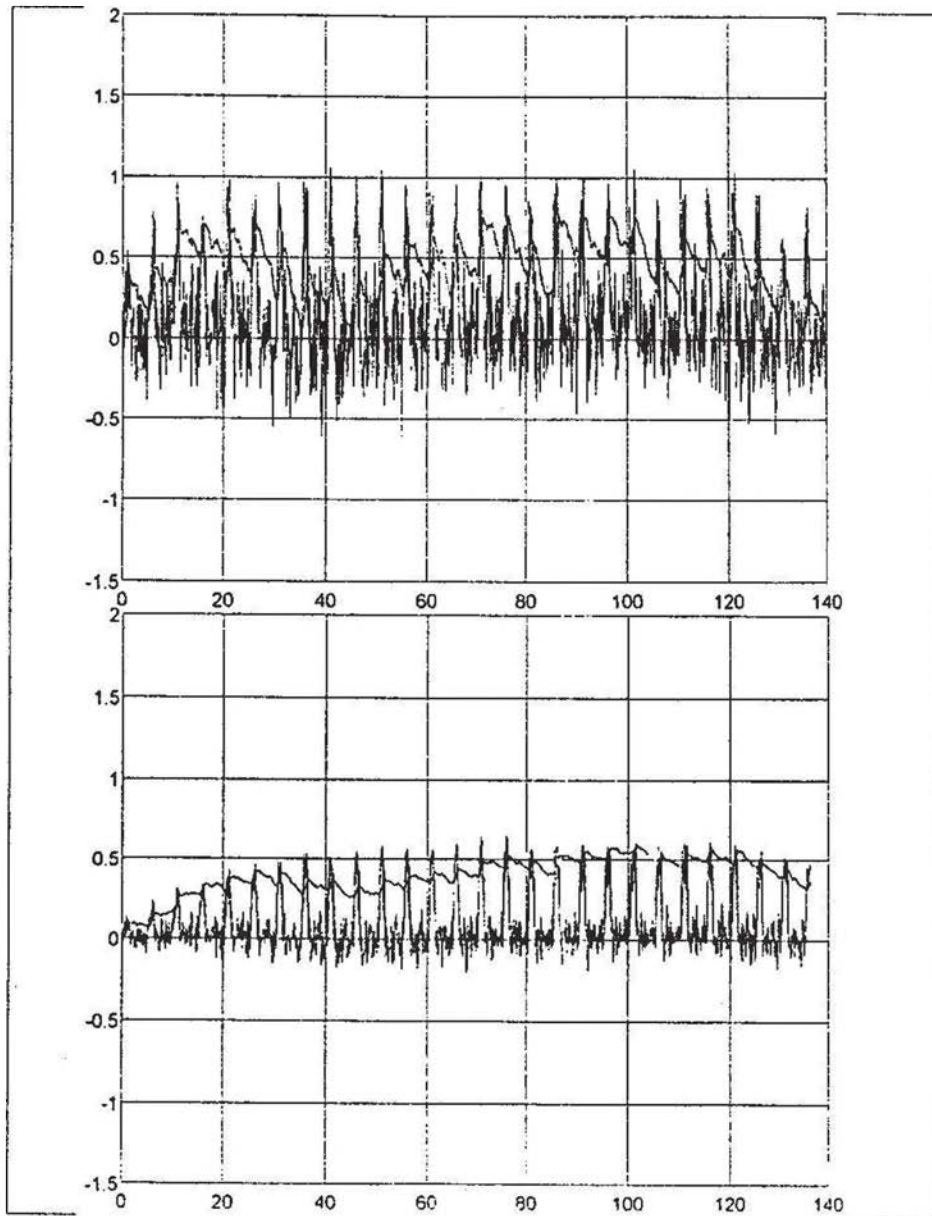


DR. LUDÁNYI LAJOS



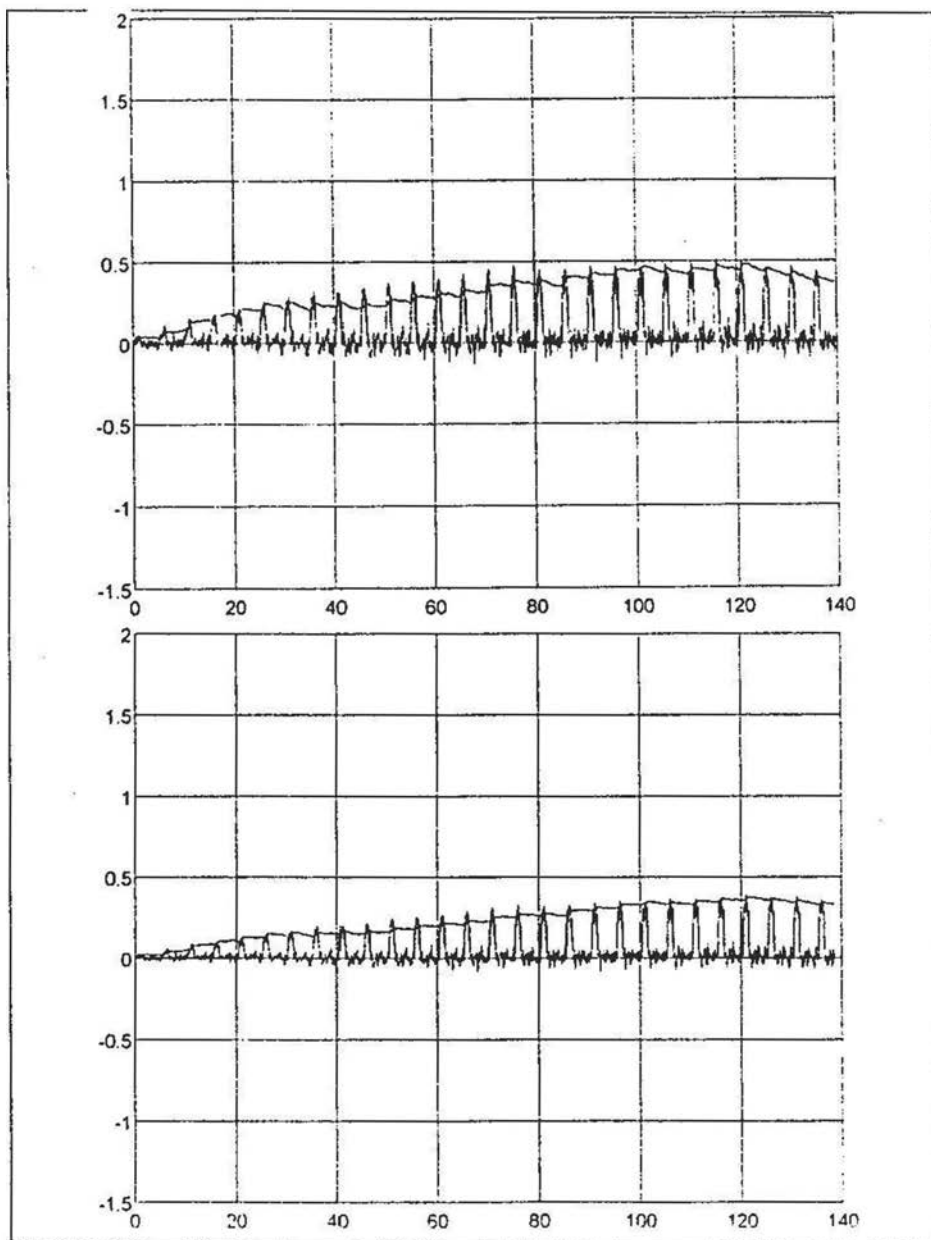
12-13. sz. ábra

*A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL*



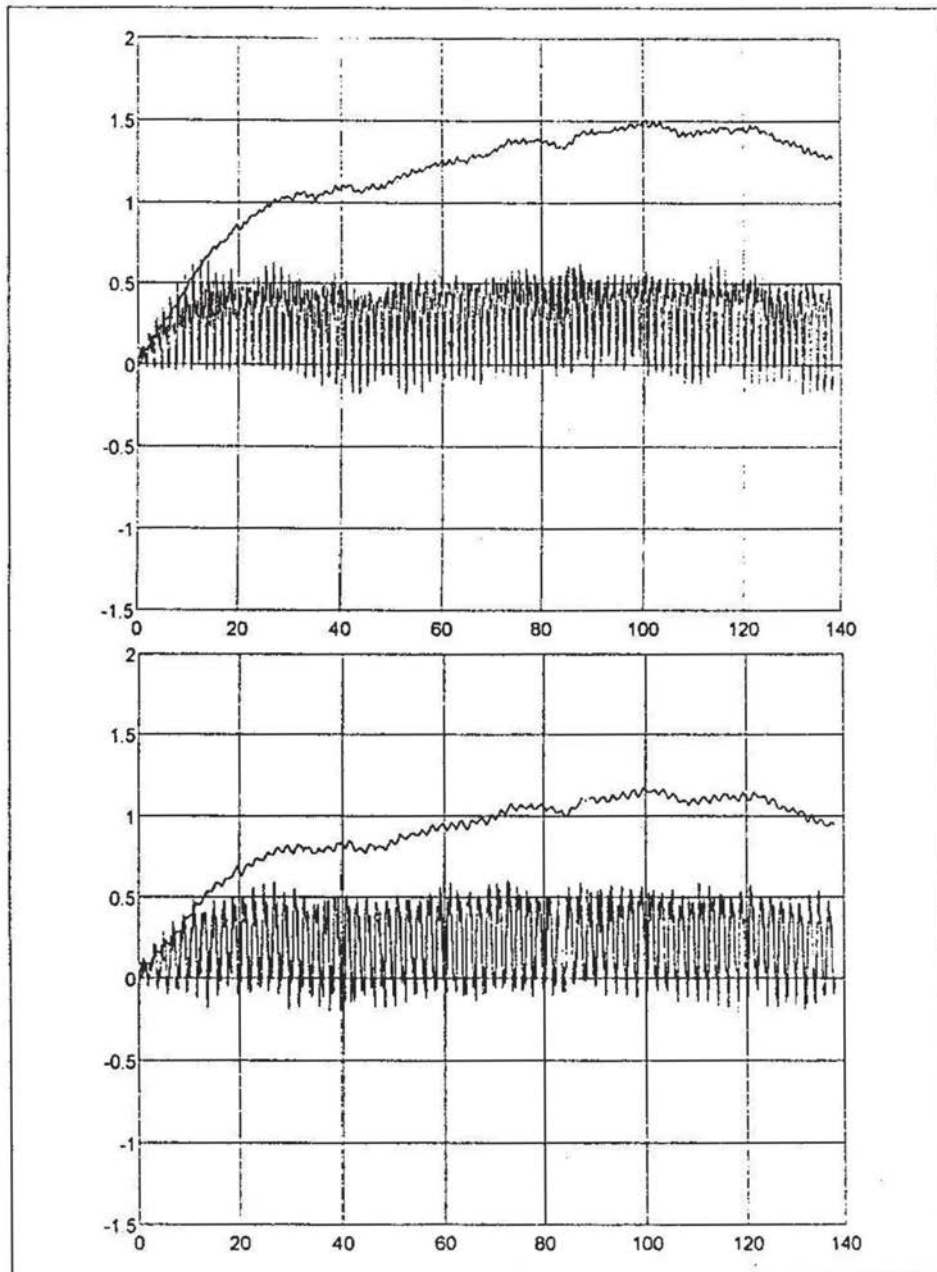
14-15. sz. ábra

DR. LUDÁNYI LAJOS



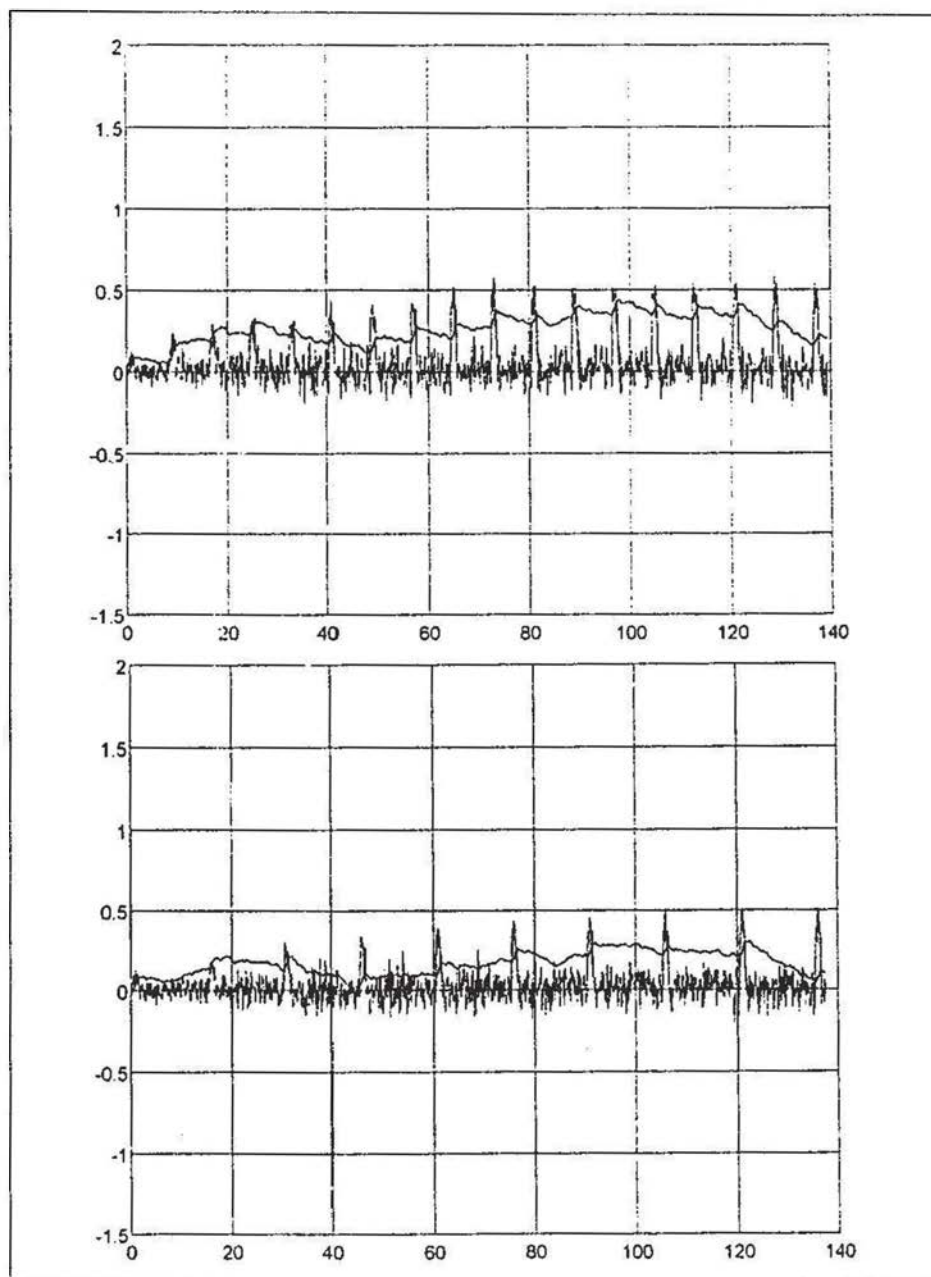
16-17. sz. ábra

A RADARJELEK DETEKTÁLÁSA NEURÁLIS HÁLÓZAT ALKALMAZÁSÁVAL



18-19. sz. ábra

DR. LUDÁNYI LAJOS



20-21. sz. ábra



## **SOLUTION OF THE CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®**

**Assoc. Prof. Róbert SZABOLCSI**  
**"Miklós Zrínyi" National Defence University**  
**Faculty of Management and Command**  
**Department of Aircraft Onboard Systems**

*The purpose of the author is to present the set of m-files created by himself for the solution of the control system analysis and design problems. The paper deals with the basic problems of the control system analysis and design, namely the control system building, control system model conversions, control system model properties, control system time domain behaviour, control system frequency domain behaviour and finally application of the gain selection for the control system are outlined in the present article. Each chapter contains examples presenting how to apply MATLAB® for solution of the analysis or the design tasks. The m-files attached to this paper had been created for use with MATLAB® 5.2 supplemented with Control System Toolbox.*

### **CONTROL SYSTEM MODEL BUILDING WITH MATLAB®.**

This section is based upon [10] concerning model building built-in functions of the Control System Toolbox. The big set of functions outlined in [10] can be given as follows:

append.m - append system dynamics, augstate.m - augment states as outputs, parallel.m - parallel system connection, series.m - series system connection, feedback.m - feedback system connection, close.m - close loops of system, blkbuild.m - build state-space system from block diagram, connect.m - block diagram modelling, sselect.m - select subsystem from larger system, ssdelete.m - delete inputs, outputs or states from model, reg.m - form continuous controller/estimator from gain matrices, dreg.m - form discrete controller/estimator from gain matrices, estim.m - form continuous state estimator from gain matrix, destim.m - form discrete state estimator from gain matrix, conv.m - convolution of two polynomials, rmodel.m - generate random

continuous model, drmodel.m - generate random discrete model, ord2.m - generate A,B,C,D for a second-order system, pade.m - Padé approximation to time delay.

### AN EXAMPLE FOR CONTROL SYSTEM MODEL BUILDING.

Let us consider the control system, which is shown in Figure 1.

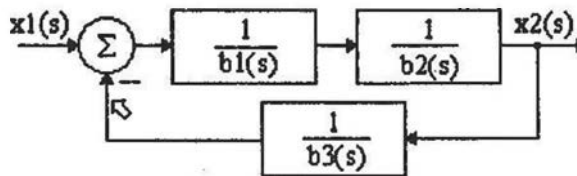


Figure 1.  
Block Diagram of the Control System

Supposing that the control system feedforward path represents a series connection of two second order terms and the feedback path is a first order lag. Let us consider a second order terms with the general transfer function as defined below

$$Y_1(s) = \frac{1}{b_1(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\xi_1\omega_1s + \omega_1^2}, \quad Y_2(s) = \frac{1}{b_2(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\xi_2\omega_2s + \omega_2^2} \quad (1)$$

where  $\omega$  is the natural frequency,  $\xi$  is the damping ratio. This mathematical model can be generated using "ord2.m" program of the Control System Toolbox.

Let the parameters of the second order terms be as they are given below:

$$\xi_1 = 0.8; \omega_1 = 2 \text{ rad / sec}; \xi_2 = 0.7; \omega_2 = 3 \text{ rad / sec} \quad (2)$$

The first order lag in the feedback path has been considered with mathematical model as it shown below:

$$Y_3(s) = \frac{1}{b_3(s)} = \frac{1}{1 + 0.1s} \quad (3)$$

## SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®

For the generating of the transfer function of the second order lag one can use the `ord2.m` program of the Control System Toolbox. For getting these transfer functions one should run the MATLAB® program N°1 (see APPENDIX A1.) under the prompt in the MATLAB® main window. One can get the following transfer functions:

$$Y_1(s) = \frac{1}{s^2 + 3,2s + 4}; Y_2(s) = \frac{1}{s^2 + 4,2 + 9} \quad (4)$$

The transfer function of the feedforward path can be derived as

$$Y_4(s) = Y_1(s)Y_2(s) = \frac{1}{s^4 + 7,4s^3 + 26,44s^2 + 45,6s + 36} \quad (5)$$

Opening the closed loop in the feedback path at the arrow sign one can have the open loop transfer function as it given below:

$$Y_o(s) = Y_1(s)Y_2(s)Y_3(s) = \frac{1}{0,1s^5 + 1,74s^4 + 10,04s^3 + 31s^2 + 49,2s + 36} \quad (6)$$

The closed loop transfer function can be derived as follows

$$W_c(s) = \frac{x_2(s)}{x_1(s)} = \frac{Y_4(s)}{1 + Y_o(s)} = \frac{0,1s + 1}{0,1s^5 + 1,74s^4 + 10,04s^3 + 31s^2 + 49,2s + 37} \quad (7)$$

In this example the special set of m-files chosen by the author has been used for the application. For more details the interested in application of other programs of MATLAB® reader should refer to references [3,4,5,6,10].

## CONTROL SYSTEM MODEL CONVERSIONS WITH MATLAB®.

This section is based upon reference [10] concerning model conversion built-in functions of the Control System Toolbox. The set of functions outlined in reference [10] can be given as follows:

`c2d.m` - continuous to discrete-time conversion, `c2dm.m` - continuous to discrete-time conversion with method, `c2dt.m` - continuous to discrete conversion with delay, `d2c.m` - discrete to continuous-time conversion, `d2cm.m` - discrete to

continuous-time conversion with method, residue.m - partial fraction expansion, poly.m - roots to polynomial conversion, ss2tf.m - state-space to transfer function conversion, ss2zp.m - state-space to zero-pole conversion, tf2ss.m - transfer function to state-space conversion, tf2zp.m - transfer function to zero-pole conversion, zp2tf.m - zero-pole to transfer conversion, zp2ss.m - zero-pole to state-space conversion.

### AN EXAMPLE FOR CONTROL SYSTEM MODEL CONVERSIONS.

Let us consider the control system defined in the previous section in Fig.1. For the control system model conversion in this paper there are applied the "tf2ss.m", "tf2zp.m" and "c2d.m" programs of the Control System Toolbox of MATLAB®. The MATLAB® program for application of the mentioned above model conversions is given in Appendix A2. For getting the model conversions one should run the program in the MATLAB® main window.

Let us consider the closed loop transfer function defined by eq (7). The closed loop transfer function can be converted into the state-space model as follows

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu; y = Cx + Du \quad (8)$$

One can have the following matrices of the state-space model:

$$A = \begin{bmatrix} -17,4 & -100,4 & -310 & -492 & -370 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; C^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 10 \end{bmatrix}; D = 0 \quad (9)$$

The "tf2zp.m" program finds the SIMO control system factored transfer function form as it defined in [10] to be as follows:

$$W_c(s) = \frac{Z(s)}{p(s)} = \frac{[s - z_1][s - z_2] \dots [s - z_m]}{[s - p_1][s - p_2] \dots [s - p_n]} \quad (10)$$

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

where  $z_i$  are the zeros and  $p_j$  are the poles of the system.

After running the program given in Appendix A2, one can have the following zeros and poles of the control system:

$$\begin{aligned} z_1 &= -10; p_1 = -10,0103; p_{2,3} = -2,1666 \pm 2,1080 i \\ p_{3,4} &= -1,5282 \pm 1,3075 i \end{aligned} \quad (11)$$

If there is a need of conversion of the continuous control system into the discrete one you should use the "c2d.m" program. The dynamic system state equation defined by eq (8) can be converted into the following discrete state equation:

$$\mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}_d \mathbf{x}(n) + \mathbf{B}_d \mathbf{u}(n) \quad (12)$$

Before use this program programmer should define the sample time  $T_s$ . In this particular case sample time  $T_s$  has been supposed to be 0,01 sec. One can have the following matrices of eq (12):

$$\mathbf{A}_d = \begin{bmatrix} 0,8358 & -0,9347 & -2,8638 & -4,5256 & -3,3903 \\ 0,0092 & 0,9952 & -0,0147 & -0,0233 & -0,0175 \\ 0 & 0,01 & 1 & -0,0001 & -0,0001 \\ 0 & 0 & 0,01 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,01 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{B}_d = [0,0092 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

For having the discrete system time domain behaviour let the discrete output equation matrices be as follows:

$$\mathbf{C}_d = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 10]; \mathbf{D}_d = 0 \quad (14)$$

Running the MATLAB® program in main window of MATLAB® gives the time domain behaviour of the discrete time system. The continuous system is firstly converted into the discrete system model. Secondly, the discrete state space model is converted to the transfer function model. For getting the discrete system time domain behaviour there has been used the "dstep.m" function of the



RÓBERT SZABOLCSI

Control System Toolbox. Result of the computer simulation can be seen in Fig. 2.

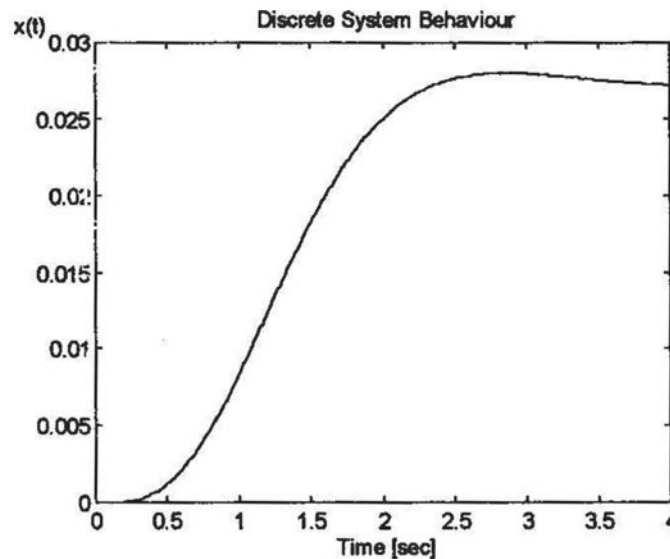


Figure 2.

Discrete System Time Domain Behaviour

In this example the special set of m-files chosen by the author has been used for the application. For more details the interested in application of other programs of MATLAB® reader should refer to references [3,4,5,6,10].

## ANALYSIS OF THE CONTROL SYSTEM MODEL PROPERTIES WITH MATLAB®.

This section is based upon reference [10] concerning control system model properties built-in functions of the Control System Toolbox. The set of functions outlined in [10] can be given as follows: `tzero.m` - transmission zeros, `eig.m` - system eigenvalues, `roots.m` - roots of polynomial, `ctrb.m` - controllability matrix, `obsv.m` - observability matrix, `damp.m` - damping factors and natural frequencies, `ddamp.m` - discrete damping factors and natural frequencies, `dcgain.m` - continuous steady-state (D.C.) gain, `ddgin.m` - discrete steady-state (D.C.) gain, `covar.m` - continuous covariance response to white noise, `dcovar.m` - discrete covariance response to white noise, `gram.m` - controllability and

observability gramians, dgram.m - discrete controllability and observability gramians, dsort.m - sort discrete eigenvalues by magnitude, esort.m - sort continuous eigenvalues by real part, printsys.m - special formatted print of system.

## CONTROLLABILITY OF THE CONTROL SYSTEM.

Let us consider the linear time invariant (LTI) model of the control system given with its state space model [1,2,7,8]:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, y = Cx + Du \quad (15)$$

where  $x$  represents the  $n$ -dimensional state vector,  $u$  represents the  $m$ -dimensional input vector,  $y$  is the output vector,  $A$  is an  $(n \times n)$  state matrix,  $B$  is an  $(n \times m)$  input matrix,  $C$  is an  $(p \times n)$  output matrix and  $D$  is an  $(p \times m)$  direct feedforward matrix.

Controllability of the control system is a property of the coupling between the input and the state. Thus controllability involves matrices  $A$  and  $B$  of the state and output equations.

**Definition 1.** The control system is said to be *controllable* if and only if all initial state variables of the system, namely  $x_i(0)$ , can be transferred to their final state, say  $x_i(T)$ , in finite time by the application of the control vector  $u(t)$  [7]. If this condition takes place for all initial times  $t_0$  and all initial states  $x(t_0)$ , the control system can be said *completely controllable*.

The LTI control system defined by eq (15) can be said completely controllable if and only if the  $(n \times nm)$  controllability hypermatrix  $M$  has rank  $n$ , i. e. if matrix  $M$  has  $n$  linearly independent columns. The controllability matrix  $M$  can be defined as follows [7]:

$$M = [B \quad AB \quad A^2B \quad A^3B \quad \dots \quad A^{n-1}B] \quad (16)$$

For the single input systems the controllability matrix  $M$  becomes to the  $(n \times n)$  square matrix and in this particular case the system can be noted as controllable if and only if  $M$  is non-singular, i. e. its determinant is non-zero one. The complete controllability is the sufficient condition for the closed loop stability.

**Examples for the Controllability Test of the Control System.**

Let us consider the lateral dynamics of the hypothetical aircraft given in [7] to be:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10 & 0 & -10 & 0 \\ 0 & -0,7 & 9 & 0 \\ 0 & -1 & -0,7 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 20 & 2,8 \\ 0 & -3,13 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_a \\ \delta_r \end{bmatrix} \quad (17)$$

where  $\omega_x$  is the roll rate,  $\omega_y$  is the yaw rate,  $\beta$  is the sideslip angle,  $\gamma$  is the roll angle,  $\delta_a$  is the deflection of the ailerons and finally  $\delta_r$  is the rudder angular deflection, respectively.

Let us check the controllability of the aircraft for the particular case when there is supposed a malfunction in rudder deflection and the aircraft is controlled by deflection of the ailerons only. In this case one can consider only the first column of the input matrix **B** for checking of the controllability of the aircraft [3,4,5,6,9,10,11]. The MATLAB® program can be found in Appendix A3.

Firstly let us consider a case when the input is the aileron. The input matrix **B** becomes to the column vector as it shown below:

$$b_1 = [20 \ 0 \ 0 \ 0]^T \quad (18)$$

Let us run the program under MATLAB® prompt outlined in Appendix A3. and get the controllability matrix **M**<sub>1</sub>. One can have:

$$M_1 = \begin{bmatrix} 20 & -200 & 2000 & -20000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 20 & 2000 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

which has rank 2, i.e. the aircraft is not controllable. The aircraft position can be controlled around longitudinal axis using only ailerons but it cannot be controlled around its vertical axis.

Let us consider the special case when the aircraft is controlled using the rudder. The input matrix **B** becomes as follows

$$b_2 = [2,8 \ -3,13 \ 0 \ 0]^T \quad (20)$$

Finding the controllability matrix one can write that

$$\mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} -2,8 & -28 & 248,7 & -2443,2 \\ -3,1 & 2,2 & 26,6 & -58,1 \\ 0 & 3,1 & -4,4 & -23,6 \\ 0 & 2,8 & -28 & 248,7 \end{bmatrix}, \quad (21)$$

which has rank 4, i. e. the aircraft is controllable.

In McLean's textbook [1] there is an optimal control law synthesis example. Check the controllability of the aircraft dynamic model, which has been used for the controller design. The twin-engined jet fighter aircraft longitudinal motion dynamic model - for the flight conditions described in [1] - was as follows

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} v_x \\ \alpha \\ \omega_z \\ \vartheta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,007 & 0,012 & 0 & -9,81 \\ -0,128 & -0,54 & 1 & 0 \\ 0,064 & 0,96 & -0,99 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ \alpha \\ \omega_z \\ \vartheta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -0,036 \\ -12,61 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e, \quad (22)$$

where  $v_x$  is the horizontal speed,  $\alpha$  is the angle-of-attack,  $\omega_z$  is the pitch rate,  $\vartheta$  is the pitch attitude and  $\delta_e$  is the angular deflection of the elevator, respectively.

For the uncontrolled aircraft analysis let us run the MATLAB® program N<sup>o</sup>3 outlined in Appendix A3. and get the controllability matrix  $\mathbf{M}_4$ . One can have the controllability matrix as follows:

$$\mathbf{M}_3 = \begin{bmatrix} 0 & -0,0004 & 123,553 & -122,7619 \\ -0,036 & -12,5906 & 19,2483 & -50,6207 \\ -12,61 & 12,4493 & -24,4118 & 50,5535 \\ 0 & -12,6100 & 12,4493 & -24,4118 \end{bmatrix}, \quad (23)$$

which has rank of 4, i.e. all state variables of the aircraft are controllable ones.

## OBSERVABILITY OF THE CONTROL SYSTEM.

Observability of the control system is the property of the coupling between the state and the output of the system. Thus, observability involves matrices **A** and **C** of the state and output equations.

**Definition 2.** The control system is said to be *observable* at  $t_0$  if initial state vector  $\mathbf{x}(t_0)$  can be determined from the output function  $\mathbf{y}(t_0, T)$  (or output sequence) for  $t_0 \leq t \leq T \leq \infty$ , where  $T$  is the finite time. If this condition takes place for all  $t_0$  and  $\mathbf{x}(t_0)$ , the control system is said to be *completely observable*.

The LTI control system defined by eq (15) can be said completely observable if and only if the  $(n \times np)$  observability hypermatrix  $N$  has rank  $n$ , i. e. if matrix  $N$  has  $n$  linearly independent columns. The observability matrix  $N$  can be defined as follows [1,7]:

$$N = \begin{bmatrix} C^T & A^T C^T & (A^T)^2 C^T & (A^T)^3 C^T & \dots & (A^T)^{n-1} C^T \end{bmatrix} \quad (24)$$

If there is considered the single input system the observability matrix  $N$  is the square one of order  $(n \times n)$  and the condition for control system observability requires that  $N$  be non-singular, i.e. its determinant is non-zero one with no pole-zero cancellations [1,7].

### Examples for Observability Test of the Control System.

Let us consider the aircraft lateral motion dynamics defined by eq (17). Let us find the observability of the aircraft when the output of the aircraft is the roll rate  $\omega_x$ . In this case the output matrix can be derived as follows [7]:

$$C_1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (25)$$

Using matrices  $A$  and  $C$  the MATLAB<sup>®</sup> program can be created for finding the observability matrix  $N$  [3,4,5,6,9,10,11]. For this purpose run the MATLAB<sup>®</sup> program N<sup>o</sup> 4 outlined in Appendix A4. One can have the observability matrix  $N_1$  as follows:

$$N_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -10 & 0 & -10 & 0 \\ 100 & 10 & 107 & 0 \\ -1000 & -114 & 984,9 & 0 \end{bmatrix}, \quad (26)$$

which has rank of 3, thus the control system is unobservable.

Let us suppose that the output variable of the aircraft is the roll angle  $\gamma$ . The output matrix can be written as



$$C_2 = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (27)$$

One can have the observability matrix  $N_2$  by running the MATLAB® program N<sup>o</sup>4 as follows:

$$N_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ -10 & 0 & -10 & 0 \\ 100 & 10 & 107 & 0 \end{bmatrix}, \quad (28)$$

which has the rank of 4, thus the system is completely observable.

Let us suppose that the output variables of the aircraft are the roll rate  $\omega_x$  and the roll angle  $\gamma$ . The output matrix can be written as follows

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

One can have the observability matrix  $N_3$  by running the MATLAB® program N<sup>o</sup>4. The rank of the observability matrix is 4, i.e. the system is completely observable.

## ANALYSIS OF THE CONTROL SYSTEM TIME DOMAIN RESPONSE WITH MATLAB®.

Analysis of the time domain behaviour of the control systems is aided by the following functions of the Control System Toolbox of MATLAB® computer package: `step.m` - step response of the control system, `dstep.m` - discrete step response of the control system, `initial.m` - continuous system initial condition response, `dinitial.m` - discrete system unit sample response, `lsim.m` - continuous system simulation to arbitrary inputs, `filter.m` - SISO system z-transform simulation, `ltitr.m` - low level time response function.

### An Example for the Analysis of the Control System Time Domain Behaviour.

Let us consider the system dynamics to be defined with the transfer function as given here:

$$Y(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 5} \quad (30)$$

Find the step response of the system to a unit input step function. For this purpose let us run the MATLAB® program outlined in Appendix A5. After running of this program you can get the step response of the system to the sudden unit change in the input signal. Result of the computer simulation can be seen in Figure 3.

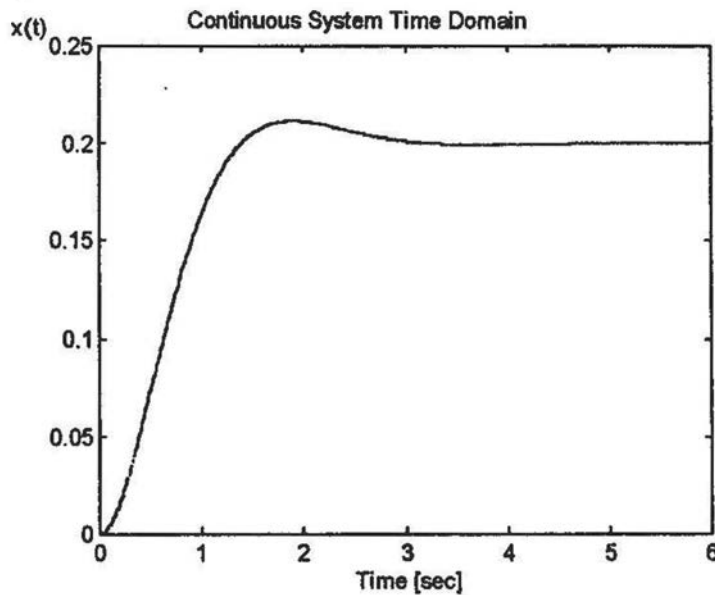


Figure 3.  
Step Response of the Control System

From Figure 3. it can be deduced that the steady-state value of the output signal is 0,2. The second order term defined by transfer function (30) has overshoot related to the steady-state value of the output signal.

## ANALYSIS OF THE CONTROL SYSTEM FREQUENCY DOMAIN BEHAVIOUR WITH MATLAB®.

Analysis of the frequency domain behaviour of the control systems is aided by the following functions of the Control System Toolbox of MATLAB®

computer package: bode.m - Bode plots, dbode.m - discrete Bode plots, fbode.m - fast Bode plots of continuous systems, margin.m - phase and gain margins, nichols.m - Nichols plots, dnichols.m - discrete Nichols plots, ngrid.m - grid lines for Nichols plot, nyquist.m - Nyquist plots, dnyquist.m - discrete Nyquist plots, sigma.m - continuous singular value frequency plots, dsigma.m - discrete singular value frequency plots, freqz.m - z-transform frequency response, freqs.m - Laplace-transform frequency response, ltifr.m - low level frequency response function.

### An Example for the Analysis of the Control System Frequency Domain Behaviour.

Let us consider the system dynamics to be defined with the transfer function as follows:

$$Y(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 5} \quad (31)$$

For getting the Bode plot of the system the "bode.m" program of the Control System Toolbox has been used. The gain and phase curves can be plotted running the program given in Appendix A6. The Bode plot can be seen in Fig. 4.

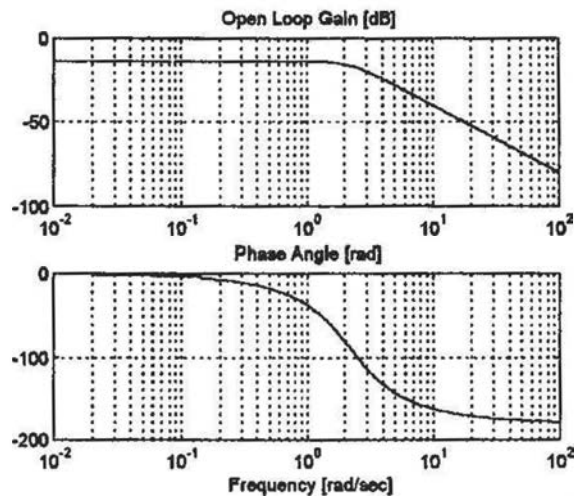


Figure 4.  
Control System Bode Plot

From Figure 4. it can be seen that the system transfer function defined by eq (30) is the low pass filter and at frequencies bigger 2 rad/sec the system is



damping the input signals. The phase angle goes to -180 degrees while frequency goes to infinity. For more information about plotting Bode plots the interested reader should refer to references [9, 10].

## GAIN SELECTION FOR THE CONTROL SYSTEM WITH MATLAB®.

Analysis of the time domain behaviour of the control systems is aided by the following functions of the Control System Toolbox of MATLAB® computer package: `lqr.m` - linear-quadratic regulator design, `lqr2.m` - linear-quadratic regulator design using Schur method, `lqry.m` - regulator design with weighting on the outputs, `dlqr.m` - discrete linear-quadratic regulator design, `dlqry.m` - discrete regulator design with weighting on the outputs, `lqe.m` - linear-quadratic estimator design, `lqe2.m` - linear-quadratic estimator design using Schur method, `lqew.m` - general linear-quadratic estimator design, `dlqe.m` - discrete linear-quadratic estimator design, `dlqew.m` - general discrete linear-quadratic estimator design, `lqrd.m` - discrete regulator design from continuous cost function, `lqed.m` - discrete estimator design from continuous cost function, `acker.m` - SISO system pole placement, `place.m` - pole placement.

## THE LINEAR QUADRATIC REGULATOR PROBLEM APPLIED FOR THE GAIN SELECTION IN THE AUTOMATIC FLIGHT CONTROL SYSTEMS

### Meaning of the Modern Optimal Control Theory

The optimal control system is the special kind of control system, which can be characterized with high level dynamic performances. The optimal automatic flight control system can provide for the aircraft better flying and handling qualities. For judging when the control system is the optimal one there can be used and can be evaluated the following integral criterion [1]:

$$J = \int_{t_0}^T L(x, u, t) dt \rightarrow \text{Min} \quad (32)$$

The system is regarded as the optimal one if between the starting point of the optimization  $t_0$  and the final moment  $T$  the integral performance index has the minimized value. In case of minimization of the performance index the integral criterion is known as the cost function or pay-off function.

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

In that case when the control system can be characterized with limitations of its state variables the integral performance index can be rewritten as:

$$J = \int_{t_0}^T (\mathbf{e}^T + \lambda \mathbf{u}^T) dt \rightarrow \text{Min} \quad (33)$$

where  $\lambda$  is the Lagrange multiplier,  $\mathbf{e}$  represents the error vector and can be derived as the difference between the actual and the commanded value of the state vector

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_c \quad (34)$$

If one places some constraints on each control input  $u_j$  of the control vector  $\mathbf{u}$  the integral performance index can be defined as:

$$J = \int_{t_0}^T (\mathbf{e}^T \mathbf{Q} \mathbf{e} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \rightarrow \text{Min} \quad (35)$$

where  $\mathbf{Q} \geq 0$  and  $\mathbf{R} > 0$  weighting matrices of the state variables and control inputs respectively.

If there is the problem of optimal control of the aircraft to be solved when the aircraft is considered to be stabilized at some trimmed flight state the error vector  $\mathbf{e}$  is identical to the state variables of the aircraft so the performance index can be determined as [1,2,5,7,8]:

$$J = \int_{t_0}^T (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \rightarrow \text{Min} \quad (36)$$

The quadratic terms  $\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x}$  and  $\mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}$  can be explained as follows:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} &= \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & q_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & q_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 x_1 \\ \dots \\ q_n x_n \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n q_i x_i^2 \end{aligned} \quad (37)$$



$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u} &= \begin{bmatrix} u_1 & \dots & u_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & r_2 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & r_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & r_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} u_1 & \dots & u_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 u_1 \\ \dots \\ r_n u_n \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^n r_j u_j^2
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

The integral criterion (36) is not the only but the most common one, which is used in aeronautical sciences.

When the integral performance index (36) is minimized through derivation of the optimal control vector  $\mathbf{u}$  for the control system with dynamics defined below

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}
 \tag{39}$$

the problem is often called as the Linear Quadratic Problem.

The most important requirement, which is prescribed for the automatic flight control system is the quick reference signal tracking ability and the simultaneous capability as much as possible to reject the unwanted effects from the internal and external disturbances. The steady - state error may be minimized by increasing of the controller gain, but any increase of its tends the control system to the stable working boundary. These two requirements conflict and the control system design may be achieved as a consequence of some compromise.

The problem is to be solved is the next: for a given aircraft with the linear time invariant model find the control vector  $\mathbf{u}$ , which will minimize the performance criterion (36). This problem also called as the minimum energy control problem. The linear optimal control law, which is minimizing the performance index (36) defined by [3,4,5,6] as follows :

$$\mathbf{u}^0(t) = -\mathbf{K}\mathbf{x}(t)
 \tag{40}$$

where  $\mathbf{K}$  is the static feedback gain matrix.

Let is assumed, that the aircraft's dynamics given by its state space representation in the body - fixed coordinate system:

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u} \quad (41)$$

where  $\mathbf{y}$  is the output vector,  $\mathbf{C}$  and the  $\mathbf{D}$  are the output and the feedforward matrices, respectively.

The block diagram of the control system built by eqs (40) and (41) for the particular case of  $\mathbf{D}=0$  can be seen in Figure 5.

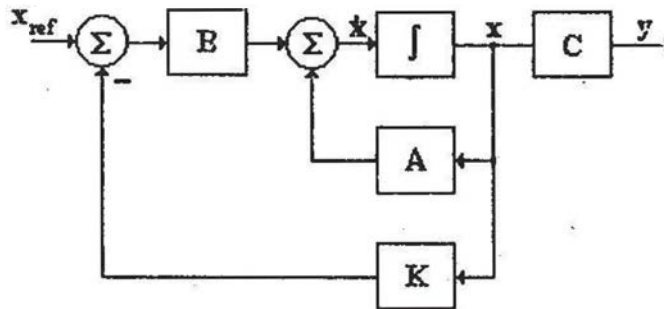


Figure 5.  
Block Diagram of the Control System

Substituting the optimal control law (40) into the first equation of (41) results in

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{B}\mathbf{K}\mathbf{x} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K})\mathbf{x} \quad (42)$$

Supposing that the eigenvalues of the matrix  $\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K}$  have negative values or, if there is any complex with negative real part. Substituting eq (40) into eq (36) result in the following equation:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{x}^T \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K} \mathbf{x}) dt = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \mathbf{x}^T (\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \mathbf{x} dt \rightarrow \min \quad (43)$$

The minimization of the quadratic integral criterion (43) will be achieved using the second method of Liapounov. This method based upon assumption that for any  $\mathbf{x}$  vector takes place the next equation:

$$\mathbf{x}^T (\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \mathbf{x} = - \frac{d}{dt} (\mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x}) \quad (44)$$

where  $\mathbf{P}$  is a positive definite or real symmetric matrix. Taking the derivative from the right side of eq (44) results in:

$$\mathbf{x}^T(\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K})\mathbf{x} = -\mathbf{x}^T \mathbf{P} \dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{P} \mathbf{x} = -\mathbf{x}^T \left[ (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K})^T \mathbf{P} + \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}) \right] \mathbf{x} \quad (45)$$

By the means of the second method of Liapounov for a given positive definite matrix  $\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}$  there is exists a positive definite matrix  $\mathbf{P}$  such that

$$(\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K})^T \mathbf{P} + \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}) = -(\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \quad (46)$$

The performance criterion  $J$  in this case can be evaluated as :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \mathbf{x}^T (\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \mathbf{x} dt = - \left[ \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x} \right]_0^{\infty} = -\mathbf{x}^T(\infty) \mathbf{P} \mathbf{x}(\infty) + \mathbf{x}^T(0) \mathbf{P} \mathbf{x}(0) \quad (47)$$

It was also assumed that all eigenvalues of the matrix  $\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}$  has negative real parts. In this case one can write that  $\mathbf{x}(\infty) \rightarrow 0$ . Therefore, the quadratic integral criterion may be written as follows:

$$J = \mathbf{x}^T(0) \mathbf{P} \mathbf{x}(0) \quad (48)$$

The performance index  $J$  depends on the initial conditions  $\mathbf{x}(0)$  and the matrix  $\mathbf{P}$ .

The weighting matrix  $\mathbf{R}$  is the positive definite Hermitian or the real symmetric matrix and we can write that :

$$\mathbf{R} = \mathbf{T}^T \mathbf{T} \quad (49)$$

where  $\mathbf{T}$  is the nonsingular matrix. Then eq (46) can be rewritten in the following manner:

$$(\mathbf{A}^T - \mathbf{K}^T \mathbf{B}^T) \mathbf{P} + \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}) + \mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{K} = 0 \quad (50)$$

Doing multiplications in eq (50) it can be rewritten in the following manner:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} + (-\mathbf{K}^T \mathbf{B}^T \mathbf{P} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{K} + \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{K}) + \mathbf{Q} = 0 \quad (51)$$

It is known that  $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T$  and  $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{T}^{-1}(\mathbf{T}^T)^{-1}$ . The polinom in the brackets in eq (51) may be rewritten as it shown below

$$\begin{aligned} \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{K} - \mathbf{K}^T \mathbf{B}^T \mathbf{P} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{K} &= \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{K} - \mathbf{K}^T \left[ \mathbf{T}^T (\mathbf{T}^T)^{-1} \right] \mathbf{B}^T \mathbf{P} - \mathbf{P}^T \mathbf{B} \mathbf{K} + \\ &+ (\mathbf{P}^T - \mathbf{P}) \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} = \\ &= \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{K} - \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} - \mathbf{P}^T \mathbf{B} (\mathbf{T}^{-1} \mathbf{T}) \mathbf{K} + \mathbf{P}^T \mathbf{B} \left[ \mathbf{T}^{-1} (\mathbf{T}^T)^{-1} \right] \mathbf{B}^T \mathbf{P} - \\ &- \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} = \\ &= \left[ \mathbf{K}^T \mathbf{T}^T - \mathbf{P}^T \mathbf{B} \mathbf{T}^{-1} \right] \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right] - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} = \\ &= \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right]^T \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right] - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \end{aligned} \quad (52)$$

Eq (51) can be rewritten with consideration of eq (52). One can write that

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} + \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right]^T \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right] - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} + \mathbf{Q} = 0 \quad (53)$$

The minimization of  $J$  requires the minimization of

$$\left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right]^T \left[ \mathbf{T} \mathbf{K} - (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \right] \quad (54)$$

Since eq (54) is nonnegative, its minimum occurs when it is zero or, in that case when

$$\mathbf{T} \mathbf{K} = (\mathbf{T}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \quad (55)$$

Hence the optimal feedback gain matrix can be found as follows by [18,19]:



$$K^o = T^{-1}(T^T)^{-1}B^TP = R^{-1}B^TP \quad (56)$$

Equation (56) determining the feedback gain matrix of the optimal control law defined by eq (40). In case when eq (55) takes place eq (53) can be rewritten in the following manner:

$$A^TP + PA - PBR^{-1}B^TP + Q = 0 \quad (57)$$

Equation (57) also called as the reduced - matrix Ricatti equation ( algebraic Ricatti equation - ARE ) for the time invariant cost matrix P.

The optimal control law synthesis contents the following two steps:

- 1, solution of the ARE - eq (57) - in order to get the matrix P,
- 2, substituting matrix P into eq (56). The resulting feedback gain matrix K is an optimal for the chosen Q and R matrices.

### An Example for the Application of the LQR Problem.

Let us consider the directional control system of the generic aircraft. The block diagram of the control system can be seen in Figure 8.2. During solution of this problem there was considered the so called single degree of freedom approximation of the mathematical model of the aircraft [8,9,12].

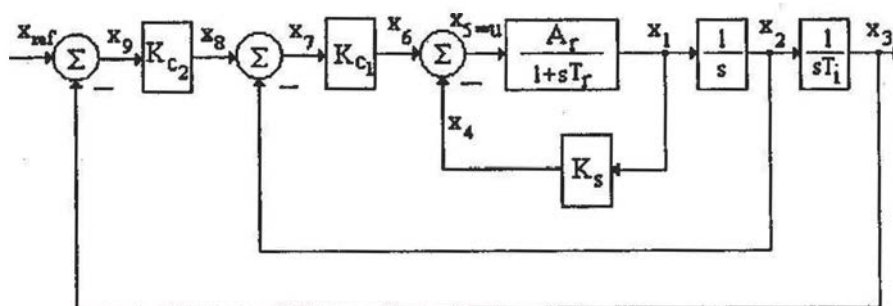


Figure 6.  
Block Diagram of the Directional Control System

The state variables can be deduced from Figure 6. They are as follows:

$$x_1 = \omega_x ; x_2 = \gamma ; x_3 = \psi \quad (58)$$



where  $\omega_x$  is the roll rate,  $\gamma$  is the roll angle and  $\psi$  is the direction angle.

The design problem can be formulated as follows: find the optimal control law  $u_0$  for the aircraft, which provides for the control system the prescribed dynamic characteristics. This problem can be solved using methodology outlined in this chapter. For this it is necessary to determine the state equation and the output equation of the control system. From Figure 6, one can deduce the following equations:

$$x_1 = u \frac{A_r}{1+sT_r} \rightarrow u = x_1 \frac{1+sT_r}{A_r} = \frac{x_1}{A_r} + s x_1 \frac{T_r}{A_r} \quad (59)$$

or  $\dot{x}_1 = -\frac{x_1}{T_r} + u \frac{A_r}{T_r}$  és  $x_4 = K_S x_1$  ;  $u = x_6 - x_4 = x_6 - K_S x_1$

Secondly,

$$x_2 = \frac{x_1}{s} \rightarrow \dot{x}_2 = x_1 ; x_6 = K_{C_1} x_7 ; x_7 = x_8 - x_2 ; x_8 = K_{C_2} x_9$$

$$u = -K_S x_1 + K_{C_1} x_7 = -K_S x_1 + K_{C_1} (x_8 - x_2) = -K_S x_1 - K_{C_1} x_2 + K_{C_1} x_8 = (60)$$

$$= -K_S x_1 - K_{C_1} x_2 + K_{C_1} K_{C_2} x_9 ,$$

Thirdly,

$$x_3 = \frac{x_2}{sT_l} \rightarrow \dot{x}_3 = \frac{x_2}{T_l} ; x_9 = x_{ref} - x_3 \quad (61)$$

Let us consider the zero value reference signal  $x_{ref} = 0$ , therefore  $x_9 = -x_3$ . The control vector can be determined as

$$u = -K_S x_1 - K_{C_1} x_2 - K_{C_1} K_{C_2} x_3 = -\begin{bmatrix} K_S & K_{C_1} & K_{C_1} K_{C_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = -\mathbf{K} \mathbf{x} \quad (62)$$

where  $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_S & K_{C_1} & K_{C_1} K_{C_2} \end{bmatrix}$  is the static feedback gain matrix and the state vector can be derived as  $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{bmatrix}^T$ .

Thus one can write the state equations of the control system in the following manner:

$$\dot{x}_1 = -\frac{x_1}{T_r} + u \frac{A_r}{T_r} ; \quad \dot{x}_2 = x_1 ; \quad \dot{x}_3 = \frac{x_2}{T_i}, \quad (63)$$

or using the well-known matrix notation one can write that

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} u, \quad \mathbf{y} = \mathbf{C} \mathbf{x} \quad (64)$$

Matrices and vectors of the model are found to be followings

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3]^T ; \quad \mathbf{u} = u ; \quad \mathbf{B} = \left[ \begin{array}{ccc} \frac{A_r}{T_r} & 0 & 0 \end{array} \right]^T ; \quad \mathbf{A} = \left[ \begin{array}{ccc} -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_i} & 0 \end{array} \right] ; \quad \mathbf{C} = \left[ \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (65)$$

Let us the dynamics and kinematics of the aircraft be as follows:

$$A_r = 2,86 \text{ s}^{-1} ; \quad T_r = 0,568 \text{ s} ; \quad T_i = 17 \text{ s} \quad (66)$$

The state and the input matrices of the eq(8.33) are to be

$$\mathbf{A} = \left[ \begin{array}{ccc} -1,7605 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0588 & 0 \end{array} \right] ; \quad \mathbf{B} = [5,0352 \quad 0 \quad 0]^T \quad (67)$$

Let us analyze the uncontrolled aircraft time domain behaviour. During analysis the step response of the aircraft is determined for the angular deflection of the ailerons. The aircraft dynamics can be characterized with the dynamics of the first order system. The roll rate transient behaviour can be seen in Figure 7. From Figure 6. the integral relationship between roll rate and roll angle, and also between roll angle and the direction angle can be deduced. The roll angle transient behaviour and the direction angle transient behaviour can be seen in Figure 8. and Figure 9. For getting of results of the control system design let us run the MATLAB<sup>®</sup> program outlined in Appendix A6.

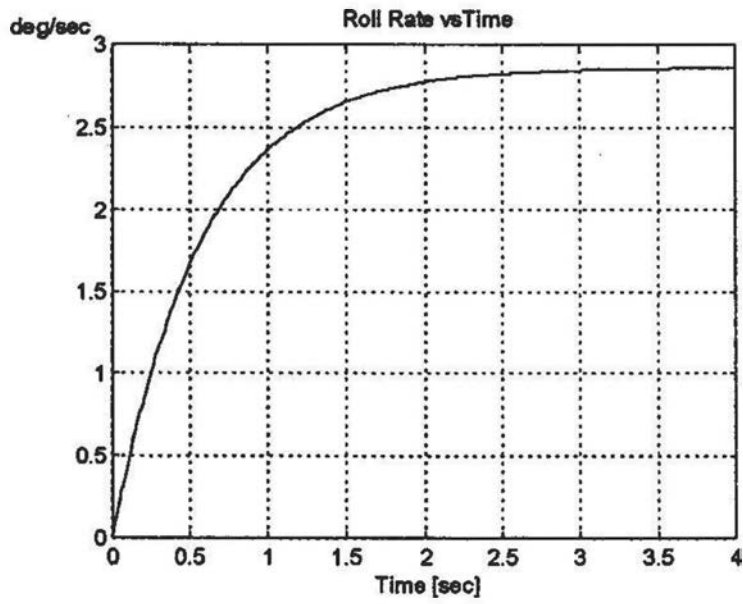


Figure 7.  
Time Domain Behaviour of the Aircraft Roll Rate

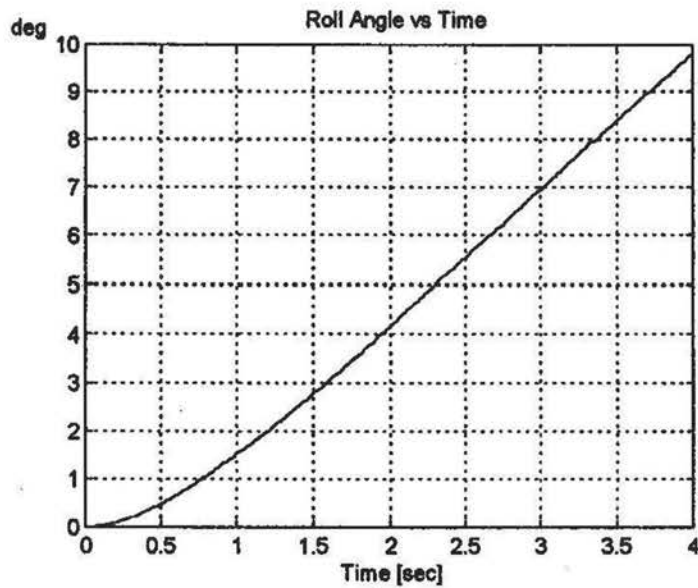


Figure 8.  
Time Domain Behaviour of the Aircraft Roll Angle

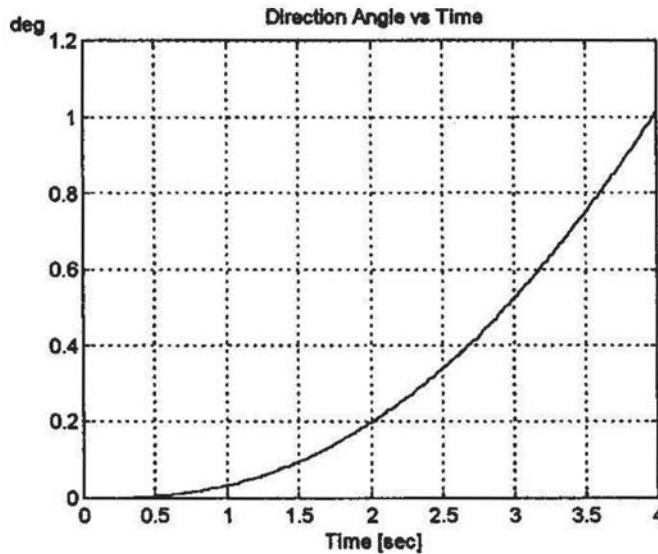


Figure 9.  
Time Domain Behaviour of the Aircraft Direction Angle

Let us solve the LQR problem for the direction control system. The aim of the control law synthesis is to provide for the closed loop system the following eigenvalues [18,19,20,21]:

$$\lambda_{1,2} = -0,7 \pm 0,8i ; \lambda_3 = -2,8 \quad (68)$$

The weighting matrices in integral performance index (36) can be determined using the inverse square rule. Most of flight control systems can be characterized with existence in the flight control systems several limitations. Limitations may be developed by designer in order to provide necessary flight safety characteristics or limitations can be achieved by the flying characteristics of the given type of the aircraft.

During control law synthesis there are supposed the following limitations in the flight control system:

$$|\omega_{x \max}| = 18^0 / \text{sec}, |\gamma_{\max}| = 90^0, |\psi_{\max}| = 20^0, |\delta_{a \max}| = 3^0 \quad (69)$$

Applying the inverse square rule for the selection of the elements of weighting matrices **Q** and **R** one can write that [10]:

$$\mathbf{Q}_1 = \begin{bmatrix} 3,0864 * 10^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 1,2345 * 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 0,0025 \end{bmatrix} ; \mathbf{R}_1 = [0,1111] \quad (70)$$

### SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®

For the solution of the LQR problem the "lqr2.m" file of the Control System Toolbox of the computer package MATLAB® (Version 5.2) has been used [10,11].

Minimization of the cost function (36) using matrices (70) results in the following static feedback gain matrix:

$$K_1 = [0,0808 \quad 0,0887 \quad 0,15], \quad (71)$$

or in the other manner

$$K_s = 0,0808, K_{c_1} = 0,0887, K_{c_2} = 1,6910 \quad (72)$$

Let us derive the closed loop eigenvalues. They are as follows [19,20,21,22,23]:

$$\lambda_{1,2} = -0,1087 \pm 0,1047i, \lambda_3 = -1,9499 \quad (73)$$

It is easily can be seen that the closed loop system with its dynamic characteristics is not satisfy the design requirements defined by eq (68). During time domain analysis of the directional control system a step change of the directional angle has been considered. Results of the computer simulation of the closed loop system can be seen in Figures 10., 11., and 12.

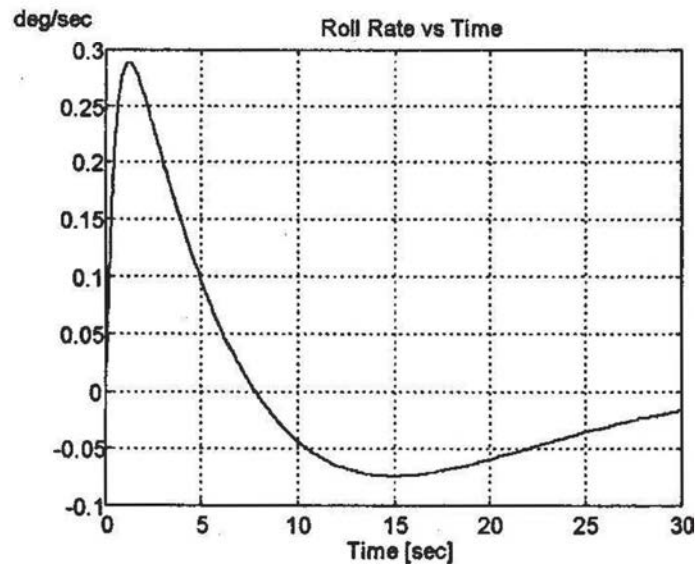


Figure 10.

Closed Loop System Behaviour - Time Domain Analysis of the Roll Rate



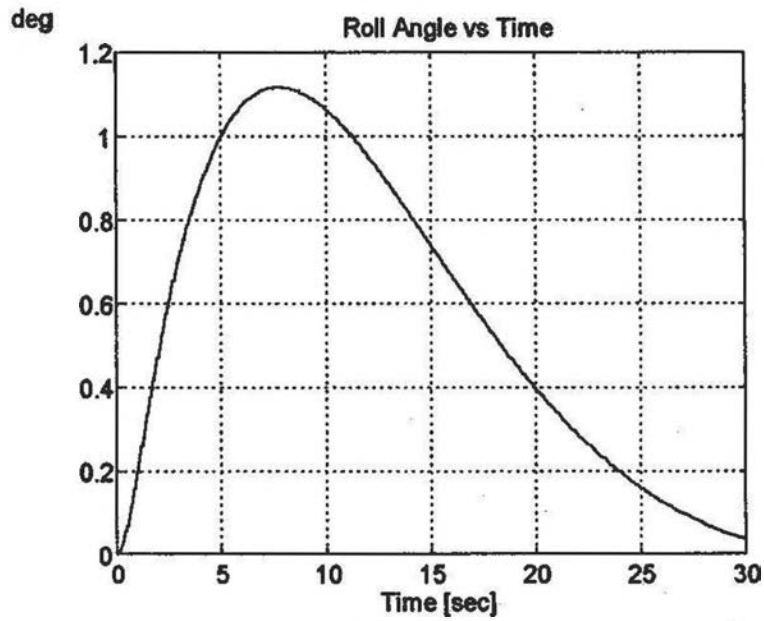


Figure 11.  
Closed Loop System Behaviour - Time Domain Analysis of the Roll Angle

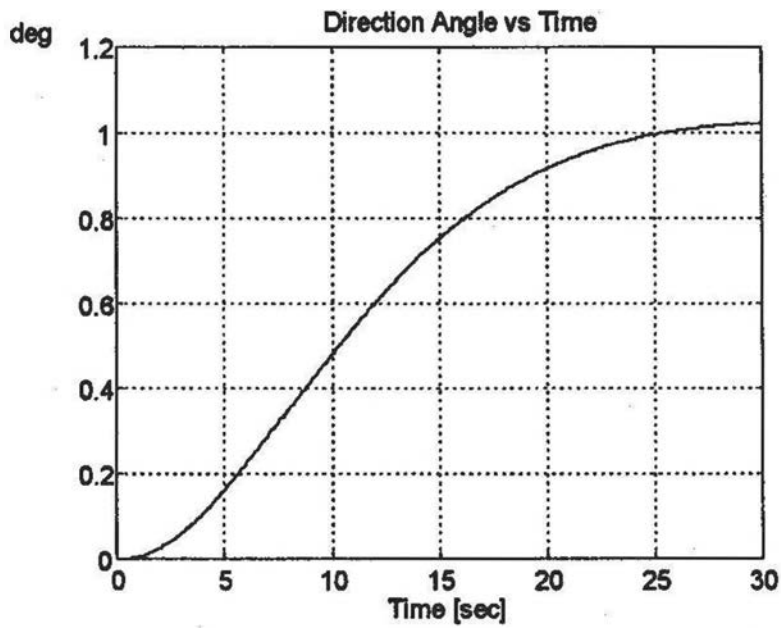


Figure 12.  
Closed Loop System Behaviour - Time Domain Analysis of the Direction Angle

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

Let the parameters of the weighting matrices be as they listed below:

$$\mathbf{Q}_2 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3,0864e-2 & 0 \\ 0 & 0 & 2000 \end{bmatrix}; \mathbf{R}_2 = [20] \quad (74)$$

In this case the static feedback gain matrix can be found minimizing eq (36). The LQR problem has been solved for the set of weighting matrices given with eq (74). The static feedback gain matrix has been found to be as [9,10]:

$$\mathbf{K}_2 = [0,4633 \quad 0,9786 \quad 10,00], \quad (75)$$

or in the other manner

$$K_s = 0,4633, K_{c_1} = 0,9786, K_{c_2} = 10,2186 \quad (76)$$

The closed loop eigenvalues have been found to be as follows

$$\lambda_{1,2} = -0,7171 \pm 0,7740i, \lambda_3 = -2,6593 \quad (77)$$

It is easily can be seen that closed loop eigenvalues defined by eq (68), which represents the design specification are very close to the closed loop eigenvalues determined for the directional control system with the static feedback gain  $\mathbf{K}_2$ .

The results of the flight control system time domain analysis in case when there is analyzed the reference signal tracking ability can be seen in Figures 13., 14., and 15.

During analysis the step change in the reference direction angle has been considered. The results of the time domain analysis have been calculated using MATLAB® computer package supplemented with Control System Toolbox [9,10].

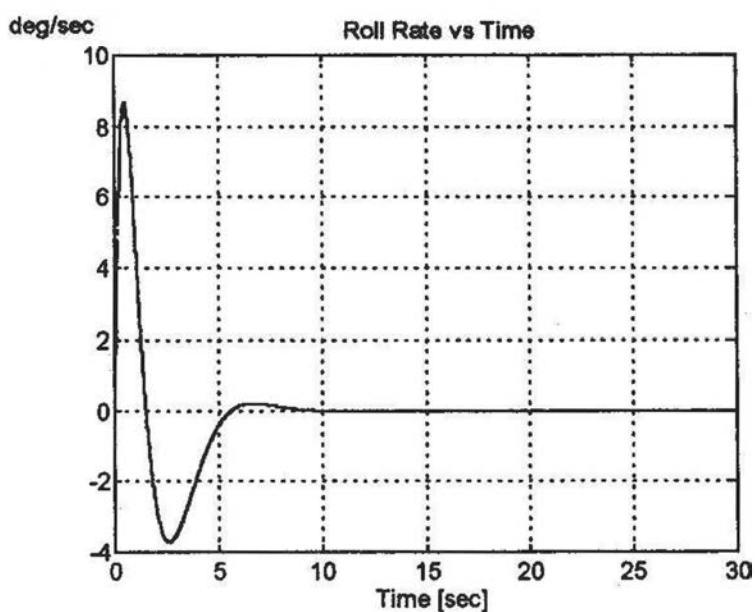


Figure 13.

Closed Loop System Behaviour - Time Domain Analysis of the Roll Rate

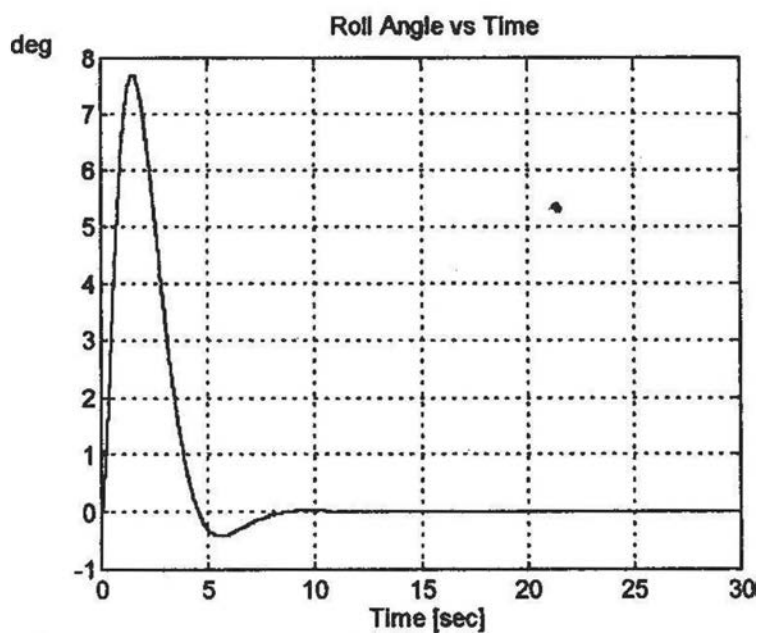


Figure 14.

Closed Loop System Behaviour - Time Domain Analysis of the Roll Angle

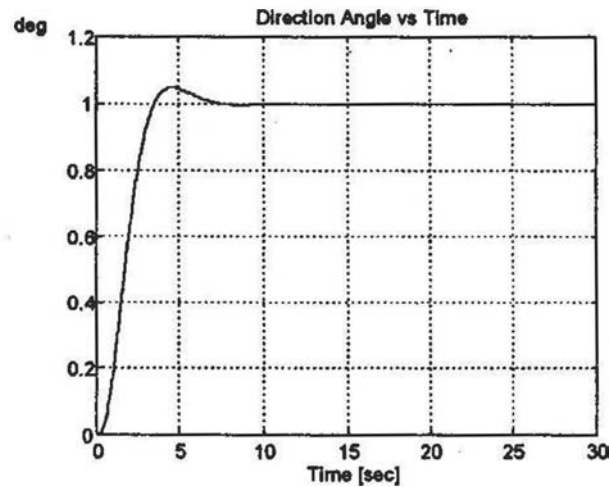


Figure 15.

Closed Loop System Behaviour - Direction Angle Time Domain Analysis

The closed loop damping ratios are as follows

$$\xi_{1,2} = 0,6796, \xi_3 = 1 \quad (78)$$

The transient response time is close to 7 seconds, which satisfies design specifications prescribed for the control system [8,12]. The comparison of two designed systems' time domain behaviour can be seen in Figure 16.

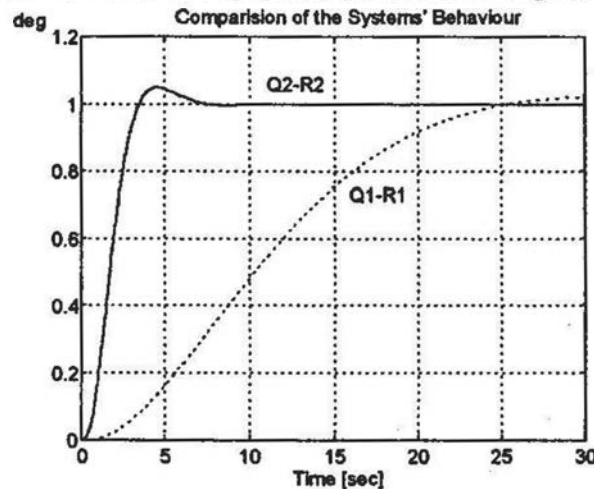


Figure 16.

Step Response Of the Directional Control Systems with Different Weights:

$Q_1, R_1$  - "...",  $Q_2, R_2$  - "-"

From Figure 16. it is easily can be seen that changing parameters of the weighting matrices, as it was defined earlier, results in better dynamic performances. Time of the transient response has been decreased. The overshoot of the closed system and the damping ratio are also in that range of general design specifications.

## CONCLUSIONS

In this paper some problems of control systems' analysis and design had been highlighted. A set of MATLAB<sup>®</sup> programs has been created by the author for presenting solutions of control problems using computer package MATLAB<sup>®</sup>. The MATLAB<sup>®</sup> computer program is widely used during flight control systems' onground design and testing.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research work has been supported by the 'Bolyai János' Fellowship of the Hungarian Academy of Sciences under grant N<sup>o</sup> BO/00071/98, which is gratefully acknowledged by the author.

## REFERENCES

- [1] MCLEAN, D.: *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall International, 1990.
- [2] OGATA, K.: *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall International, Inc., 1990.
- [3] OGATA, K.: *Designing Linear Control Systems with MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, International, Inc., 1994.
- [4] OGATA, K.: *Solving Control Engineering Problems with MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, International, Inc., 1994.
- [5] SHAHIAN, B.-HASSUL, M.: *Control System Design Using MATLAB<sup>®</sup>*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [6] CHIPPERFIELD, A.J.-FLEMING, P.J.: *MATLAB<sup>®</sup> Toolboxes and Applications for Control*, Peter Peregrinus Ltd., 1993.
- [7] BROGAN, W.L.: *Modern Control Theory*, Prentice-Hall International, Inc., 1991.
- [8] MACIEJOWSKY, J.M.: *Multivariable Feedback Design*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- [9] MATLAB<sup>®</sup> - *The Language of Technical Computing, User's Guide*, The MathWorks, Inc., 1997.
- [10] MATLAB<sup>®</sup> - *Control System Toolbox, User's Guide*, The MathWorks, Inc., 1996.



## APPENDICES

### A1. The MATLAB® Program N°1 for the Control System Model Building.

```
% Transfer functions: Y1(s)=a1(s)/b1(s) and Y2(s)=a2(s)/b2(s)
[a1,b1]=ord2(2,0.8)
pause
[a2,b2]=ord2(3,0.7)
pause

% Derivation of the feedforward path transfer function
% Transfer function of the series connection of two terms: Y3(s)=Y1(s)*Y2(s)
[a3,b3]=series(a1,b1,a2,b2)
pause

% Definition of the feedback path transfer function: Y4(s)=a4(s)/b4(s)
a4=[0 1];
b4=[0.1 1];
pause

% Derivation of the open loop transfer function after opening the loop in the
% feedback path at the point, which is shown in Figure 1. with arrow.
% Transfer function of the terms located in the open loop:
Yo(s)=Y1(s)*Y2(s)*Y4(s)
[a5,b5]=series(a3,b3,a4,b4)
pause

% Derivation of the closed loop transfer function:
% Wc(s)=Y3(s)/[1+Y3(s)*Y4(s)]
[a6,b6]=feedback(a3,b3,a4,b4)
pause
```

### A2. The MATLAB® Program N°2 for the Control System Model Conversions.

```
% The closed loop transfer function derived in Appendix A1 is as follows
a=[0 0 0 0 0.1 1];
b=[0.1 1.74 10.04 31 49.2 37];
```

*RÓBERT SZABOLCSI*

```
% Control System Model Conversion to the State-Space
[A,B,C,D]=tf2ss(a,b)
pause
```

```
% Control System Model Conversion to the Zero-Pole Model
[z,p,k]=tf2zp(a,b)
pause
```

```
% Conversion of the Continuous Control System to Discrete-Time System
Ts=0.02;
[Ad,Bd]=c2d(A,B,Ts)
pause
```

```
% Definition of the Matrices of the Output Equation
Cd=[0 0 0 1 1];
Dd=0;
```

```
% Conversion of the Discrete State-Space Model to Transfer Function
[ad,bd]=ss2tf(Ad,Bd,Cd,Dd)
pause
```

```
% Analysis of the Time Domain Behaviour
dstep(ad,bd);
pause
```

**A3. The MATLAB® Program N°3 for the LTI System Controllability Test.**

```
% The first example.
% Definition of the state matrix of the uncontrolled aircraft
A = [-10 0 -10 0;0 -0.7 9 0;0 -1 -0.7 0;1 0 0 0];
% 1st case - input of the aircraft is the angular deflection of the ailerons.
% The input matrix is as follows:
b1 = [20;0;0;0];
% The check of the controllability of the aircraft means the derivation of the
% controllability matrix of the % uncontrolled aircraft
M1=ctrb(A,b1)
pause
% Determination of the uncontrollable states of the aircraft
uncoM1=length(A)-rank(M1)
pause
```

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

```
% 2nd case-input of the aircraft is the angular deflection of the ailerons.
% The input matrix is as follows:
b2 = [2.8;-3.13;0;0];
% The check of the controllability of the aircraft means the derivation of the
% controllability matrix of the uncontrolled aircraft.
M2=ctrb(A,b2)
pause
```

```
% Determination of the uncontrollable states of the aircraft.
uncoM2=length(A)-rank(M2)
pause
```

```
% 3rd case - inputs of the aircraft are both ailerons and rudder.
B = [20 2.8;0 -3.13;0 0;0 0];
% The check of the controllability of the aircraft means the derivation of the
% controllability matrix of the uncontrolled aircraft
M3=ctrb(A,B)
pause
```

```
% Determination of the uncontrollable states of the aircraft.
uncoM3=length(A)-rank(M3)
pause
```

```
% Second example - The twin-engined jet fighter aircraft controllability test.
A1 = [-0.007 0.012 0 -9.81;-0.128 -0.54 1 0;0.064 0.96 -0.99 0;0 0 1 0];
B1 = [0;-0.036;-12.61;0];
% The check of the controllability of the aircraft means the derivation of the
% controllability matrix of the uncontrolled aircraft
M4=ctrb(A1,B1)
pause
```

```
% Determination of the uncontrollable states of the aircraft.
uncoM4=length(A1)-rank(M4)
pause
```

**A4. The MATLAB® Program N°4 for the LTI System Observability Test.**

```
% The state matrix of the aircraft.
A = [-10 0 -10 0;0 -0.7 9 0;0 -1 -0.7 0;1 0 0 0];
% 1st case - output of the aircraft is the roll rate.
```

*RÓBERT SZABOLCSI*

```
C1 = [1 0 0 0];
% Checking the observability of the aircraft.
N1=obsv(A,C1)
pause

% Determination of the unobservable states of the aircraft.
unobN1=length(A)-rank(N1)
pause

% 2nd case - output is roll angle of the aircraft.
C2 = [0 0 0 1];
pause

% Checking the observability of the aircraft.
N2=obsv(A,C2)
pause

% Determination of the unobservable states of the aircraft.
unobN2=length(A)-rank(N2)
pause

% 3rd case - outputs of the aircraft are roll rate and roll angle.
C3 = [1 0 0 0;0 0 0 1];
pause

% Checking the observability of the aircraft.
N3=obsv(A,C3)
pause

% Determination of the unobservable states of the aircraft.
unobN3=length(A)-rank(N3)
pause
```

**A5. The MATLAB® Program N°5 for the Analysis of the LTI System Time Domain Behaviour.**

```
% APPENDIX A2 - AN EXAMPLE FOR CONTROL SYSTEM TIME
% DOMAIN BEHAVIOUR ANALYSIS
a=[0 0 0 0 0.1 1];
b=[0.1 1.74 10.04 31 49.2 37];
pause
220
```

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

```
% Definition of the time domain
t=[0:0.01:6];
pause

% Step Response of the Closed Loop System
y=step(a,b,t);

% Plotting the Curve x2(t)
plot(t,y,'-w')
xlabel('Time [sec]'), ylabel('x2(t)'), title('Closed Loop Behaviour')
pause
clg
```

**A6. The MATLAB® Program N°6 for the Analysis of the LTI System  
Frequency Domain Behaviour.**

```
% APPENDIX A6 - AN EXAMPLE FOR ANALYSIS OF THE CONTROL
% SYSTEM FREQUENCY DOMAIN BEHAVIOUR.
% The system dynamics is given with the model of the second order lag:
a=[0 0 1];
b=[1 3 5];
pause

% Definition of the Frequency Domain Applied for Analysis
om=logspace(-2,2,1000);

% Derivation of the Open Loop Gain and Phase
[mag,phase]=bode(a,b,om);
mag=20*log10(mag);
phase=phase';

subplot(211),
semilogx(om,mag,'-w'),grid
title('Open Loop Gain [dB]')
subplot(212),
semilogx(om,phase,'-w'),grid
xlabel('Frequency [rad/sec]')
title('Phase Angle [rad]')
pause
```



**A7. The MATLAB® Program N°7 for the Computer Aided Design of the Control Systems. Solution of the LQR Problem.**

```
% Definition of the Aircraft Dynamic State-Space Model.
A = [-1.7605 0 0;1 0 0;0 0.0588 0];
B = [5.0352;0;0];
C = [1 0 0;0 1 0;0 0 1];
D = [0;0;0];

% Definition of the Time Domain for the Uncontrolled Aircraft Transient
% Response Analysis.
t = [0:0.01:4];

% Controllability Test of the Uncontrolled Aircraft.
co=ctrb(A,B),rank(co),
pause

% Observability Test of the Uncontrolled Aircraft.
ob=obsv(A,C),rank(ob),
pause

% Derivation of the Open Loop Eigenvalues.
format short
damp(A)
pause

% Analysis of the Transient Response of the Uncontrolled Aircraft.
y1=step(A,B,C,D,1,t);
omx=[1 0 0]*y1';gam=[0 1 0]*y1';pszi=[0 0 1]*y1';
plot(t,omx,'-w'),grid,
title('Roll Rate v Time'),
xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg/sec')
pause
plot(t,gam,'-w'),grid,
title('Roll Angle v Time'),
xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg')
pause
plot(t,pszi,'-w'),grid,title('Direction Angle v Time')
xlabel('Time [sec]'), ylabel('deg')
pause
```

*SOLUTION OF CONTROL PROBLEMS USING MATLAB®*

```
% Solution of the LQR Problem Using Inverse Square Rule for Selection of the  
% Weighting Matrices.
```

```
Q1 =[0.0030864 0 0;0 0.00012345 0;0 0 0.0025];
```

```
R1 =[0.1111];
```

```
% Finding the Optimal Feedback Static Gain.
```

```
K1 = lqr2(A,B,Q1,R1)
```

```
pause
```

```
% Unit Step Response of the Designed System. 1st Approach.
```

```
t1=[0:0.01:30];
```

```
AA1=A-B*K1; BB1=B*K1(3); CC1=eye(3); DD1=D;
```

```
y2=step(AA1,BB1,CC1,DD1,1,t1);
```

```
pause
```

```
omx1=[1 0 0]*y2';gam1=[0 1 0]*y2';pszil=[0 0 1]*y2';
```

```
plot(t1,omx1,'-w'),grid,
```

```
title('Roll Rate v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg/sec')
```

```
pause
```

```
plot(t1,gam1,'-w'),grid,
```

```
title('Roll Angle v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg')
```

```
pause
```

```
plot(t1,pszil,'-w'),grid,
```

```
title('Direction Angle v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg')
```

```
pause
```

```
% Derivation of the Closed Loop System Eigenvalues.
```

```
format short
```

```
damp(AA1)
```

```
pause
```

```
% Solution of the LQR Problem Using Inverse Square Rule and Additional
```

```
% Change of the Weighting Matrices Based on Heuristic Method.
```

```
Q2 =[3 0 0;0 0.030864 0;0 0 2000];
```

```
R2 =[20];
```

```
% Derivation of the Optimal Feedback Static Gain.
```

```
K2 = lqr2(A,B,Q2,R2)
```

```
pause
```

*RÓBERT SZABOLCSI*

```
% Unit Step Response of the Designed System.
t2=[0:0.01:30];
AA2=A-B*K2; BB2=B*K2(3); CC2=eye(3); DD2=D;
y3=step(AA2,BB2,CC2,DD2,1,t2);
pause

omx2=[1 0 0]*y3';gam2=[0 1 0]*y3';pszi2=[0 0 1]*y3';
plot(t2,omx2,'-w'),grid
title('Roll Rate v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg/sec')
pause
plot(t2,gam2,'-w'),grid
title('Roll Angle v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg')
pause
plot(t2,pszi2,'-w'),grid
title('Direction Angle v Time'),xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg')
pause

% Derivation of the Closed Loop Eigenvalues.
format short
damp(AA2)
pause

% Comparision of Two Designed System.

plot(t1,pszi1,':w',t2,pszi2,'-w'),grid
xlabel('Time [sec]'),ylabel('deg'),title('Comparision of the Systems Behaviour')
pause
gtext('Q1-R1')
pause
gtext('Q2-R2')
```

# REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL

**Szaniszló Zsolt hallgató**  
**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Repülő sárkány-hajtómű tanszék**

**Burján Tamás tartalékos hadnagy**  
**A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft.**

*Napjainkban egyre nagyobb teret hódít a műszaki élet területén a rezgésvizsgálat. A rezgésdiagnosztika az állapottól függő karbantartási rendszerhez kapcsolódóan megteremti a repülőtechnika biztonságos kiszolgálásának és gazdaságos üzemeltetésének lehetőségét. Ennek a diagnosztikai módszernek a gyakorlati alkalmazását a Magyar Légierőben rendszerben álló Mi-2 típusú helikopter hibafeltáró vizsgálata alapján szándékozunk bemutatni.*

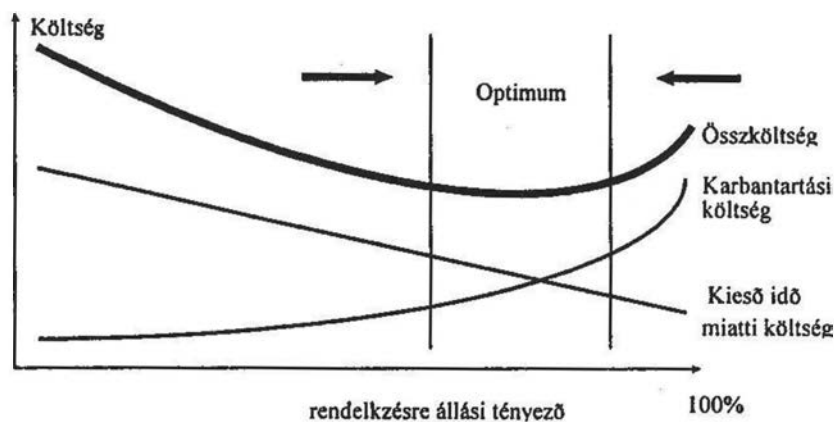
## BEVEZETÉS

A műszaki diagnosztika fogalma alatt egy adott gép állapotának meghatározását értjük. Ez a gépállapotnak megfelelő diagnosztikai jelek, illetve diagnosztikai paraméterek alapján történik, a gép szétszerelése nélkül. A gép karbantartási igényét a diagnosztikai eredmények alapján lehet megállapítani.

A karbantartás értékteremtő, termelési folyamat, mivel újra létrehozza az elhasználódás folytán elveszett értékeket, azaz javítással helyreállítja az előírt állapotot [3]. A karbantartásra vonatkozó elhatározás a vállalatok stratégiai döntése, mely rögzíti, hogy a karbantartást és a kapcsolódó tevékenységeket

- saját erővel, vagy külső szolgáltató bevonásával,
- központosítva, vagy decentralizálva,
- meghibásodás esetén, időszakosan, vagy állapot szerint végzik el.

A stratégia kialakítását az üzemzavar miatti állásidő, a megkövetelt üzembiztonság, az élettartam, valamint a karbantartás teljes költsége befolyásolja. A cél az, hogy egyensúly legyen a karbantartási költségek (közvetlen költségek) és az állásidők (közvetett költségek) között ahhoz, hogy optimális legyen az összköltség (1. ábra).



1. ábra

Az optimális összköltség a rendelkezésre állási tényező függvényében

Hadseregek esetén a gépek, a haditechnikai eszközök üzemképessége magát a hadrafoghatóságot jelenti. Bár az ország védelme elsődleges szempont, a szűkös honvédelmi költségvetést sem szabad figyelmen kívül hagyni, így az összköltség optimális értékének meghatározása a katonai szervezet szempontjából is fontos.

A NATO taggá vált Magyarország számára a Magyar Honvédség és a Magyar Légierő jövője különösen nagy jelentőséggel bír. A vadászrepülőgéptender elhalasztása miatt a helikopterek szerepe az elkövetkező időszakban jelentős mértékben megnövekedhet. Éppen ezért üzemképességükre, karbantartásukra is kiemelt figyelmet kell fordítani.

Nagyon jó elméleti és gyakorlati tapasztalatokból indulhatunk ki A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft. segítségével köszönhetően. Egy dolgot azonban nem szabad figyelmen kívül hagynunk! A helikopter a forgó gépek speciális területét jelenti. Az eddig összegyűjtött ismeretanyag azonban lerögzített turbinák, ventilátorok, centrifugál szivattyúk rezgési rendellenességeinek vizsgálatán alapul. Helikopter esetében viszont nem hanyagolhatjuk el azt a tényt, hogy teljes szerkezete még lenyűgözött



*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

állapotban is képes átvenni a hajtómű rezgését, például hajtóművezés közben. Így a meglévő tapasztalatok egyszerű adaptációjával történő mérés is bonyolultabbá, összetettebbé válik.

Az elgondolás azonban nem haszontalan, ha figyelembe vesszük, hogy a NATO tagországok hadseregeiben az a fejlődési irányvonal tapasztalható, hogy egységesítik a polgári és a katonai repülőterek kiszolgálását, növelik kölcsönös kompatibilitásukat. A repülőterek üzemeltetését a lehető legbiztonságosabban és leggazdaságosabban kell megoldani. Ezeknek a feltételeknek csak akkor lehet megfelelni, ha a repülőterek gépészeti berendezéseit állapot szerint üzemeltetik [4]. Az állapot szerinti karbantartás gerincét a gépek saját műszereitől nyert információk, a kenőanyagok időszakos elemzése, és egy jól felépített rezgésdiagnosztikai adatgyűjtés alkotja. Ezt alkalmazza a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság is a Ferihegyi Repülőtér esetében.

A Mi-2 típusú helikopter rezgésvizsgálata csak egy, napjaink diagnosztikai rendszereinek alkalmazási lehetőségei közül, amelyet a Magyar Honvédségen belül meg lehet valósítani.

## **Mi-2 TÍPUSÚ HELIKOPTEREK LEGGYAKORIBB MEGHIBÁSODÁSAI**

A MH. 89. Vegyes Szállító Repülő Ezred Mi-2 századánál az 1998. év során az alábbi műszaki hibák jelentkeztek:

- a bal hajtómű egyik kompresszorlapátjának kotyogása (E)
- vízszintes repülésnél a helikopter balra csúszása (LMH)
- a bal hajtómű szabadonfutójának kopogása (RE)
- jobb oldali pedál kotyogása (RE)
- hajtómű fordulatszámának 91% alatt maradása (LMH)
- a hajtómű vezérlőkar vezetőszerének csapágyberágódása (IDV)
- a forgószárnny fordulatszám értéke rotálásakor kevés (LMH)
- az orrfutó rugóstagjának beragadása (RE)
- a bal oldaltartály megrepedése (E)
- a bal hajtómű forgórésze nem forgatható (E)
- a faroklégcsavar axiális kotyogása (E)
- a bal hajtómű olajhője kevés (RE)
- a jobb hajtómű indítási ideje sok (RE)

A zárójelben álló betűk az adott hibák felderítésének körülményeit jelölik.

Ahol:

- **E** – ellenőrzés
- **IDV** – időszakos vizsgálat
- **RE** – repülőesemény
- **LMH** – légi meghibásodás

A légi meghibásodások nagyon könnyen katasztrófát okozhatnak. Rezgésvizsgálatok alkalmazásával ezen hibák közül:

- a hajtómű kompresszorlapát kotyogása
  - a hajtómű szabadonfutójának kopogása
  - a faroklégszavár axiális kotyogása
- felderíthetővé és elkerülhetővé válhatott volna.

## A REZGÉSVIZSGÁLATOK ALKALMAZÁSA

### A REZGÉSVIZSGÁLAT ALAPELVEI

- ⇒ Minden gép összetett rezgéseket kelt
  - ⇒ Az egyes rezgésösszetevők frekvenciája rámutat egy-egy gépelemre, vagy hibára
  - ⇒ Az egyes rezgésösszetevők amplitúdója utal a hiba súlyosságára
  - ⇒ Az emelkedő rezgésszint romló gépállapotra utal
  - ⇒ Az a frekvencia, amelyen a rezgésszint emelkedik, megmutatja a romló állapotú gépelemet
- Azonban egy gépelem rezgési frekvenciájának megjelenése nem jelent feltétlenül hibát!
- Az alapelvek összefoglalása a [3] alapján készült.

## IPARI REZGÉSVIZSGÁLATOK ELMÉLETI HÁTTERE

### Alapfogalmak

**Periodikus rezgés:** egy részecske vagy test oszcilláló mozgása egy nyugalmi helyzet körül, oly módon, hogy a mozgás önmagát ismétli pontosan azonos periódusidővel.

**Harmonikus rezgés:** esetében a tömegpontra ható rugóerő arányos a kitérés nagyságával, de vele ellentétes értelmű, ezért a tömegpont gyorsulása is arányos lesz a kitéréssel.

REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL

**Frekvencia:** az egy másodperc alatt megtett mozgási ciklusok száma.

**Harmonikus (vagy alapharmonikus):** a forgórész üzemi fordulatszámának megfelelő frekvencia. (Másodpercenkénti fordulatszám vagy ciklusszám.)

**Felharmonikus:** az alapharmonikus egész-számú többszöröse.

**Amplitúdó:** a tömegközépponthoz képest megtett legnagyobb kitérés (5.ábra). Szokás még sebesség (6.ábra) és gyorsulás (7.ábra) amplitúdóról is beszélni.

A sebesség egy negyed, a gyorsulás pedig egy fél hullámhosszhoz tartozó idővel előresiet a kitéréshez képest. A harmonikus rezgőmozgás kitérése:

$$r = A * \sin(\omega * t)$$

Ahol:

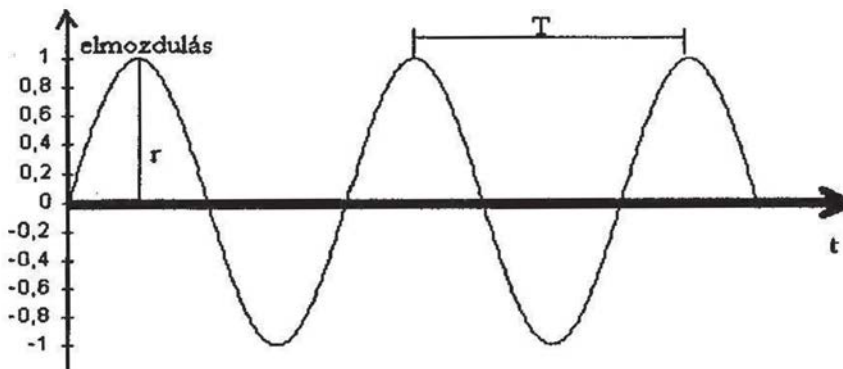
- $r$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett kitérése
- $A$  – a legnagyobb kitérés, azaz a harmonikus rezgés amplitúdója
- $\omega$  – a lengőrendszer saját lengésének a körfrekvenciája

A harmonikus rezgőmozgás  $r = A * \sin(\omega * t)$  kitérésének a sebesség az első, a gyorsulás pedig a második idő szerinti differenciálhányadosa:

$$v = dr/dt = \omega * A * \cos(\omega * t)$$
$$a = d^2r/dt^2 = -\omega^2 * A * \sin(\omega * t)$$

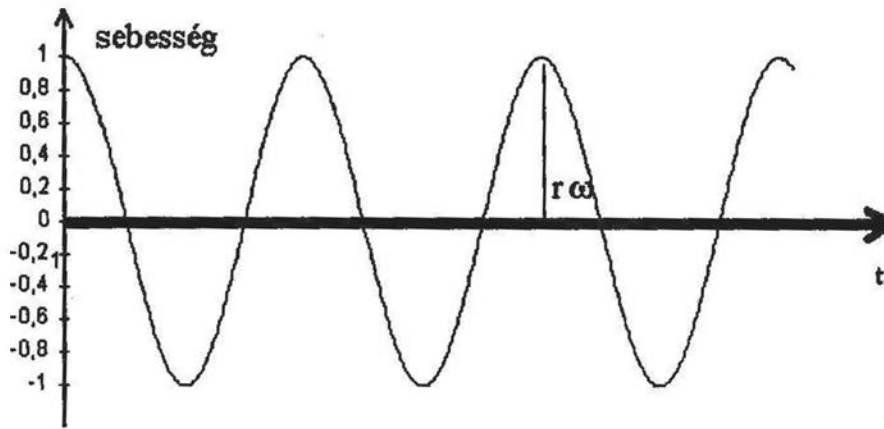
Ahol:

- $v$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett sebessége
- $a$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett gyorsulása



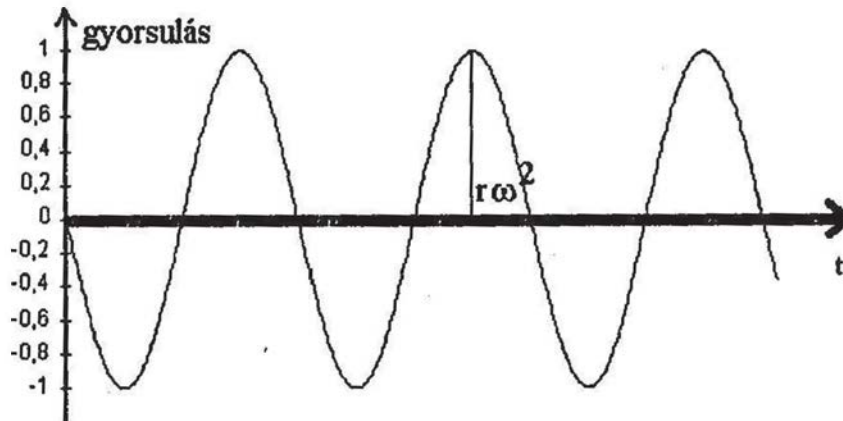
5. ábra

A kitérés változása az idő függvényében



6. ábra

A sebesség változása az idő függvényében



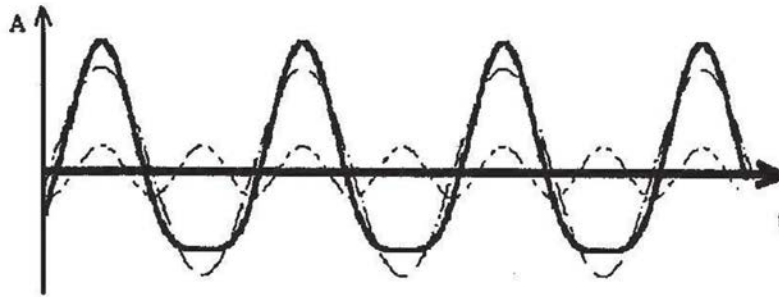
7. ábra

A gyorsulás változása az idő függvényében

**Időjel:** az egyes rezgésösszetevők ábrázolása idő-amplitúdó dimenzióban (8.ábra két szinuszos összetevő időjelét ábrázolja).



REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL



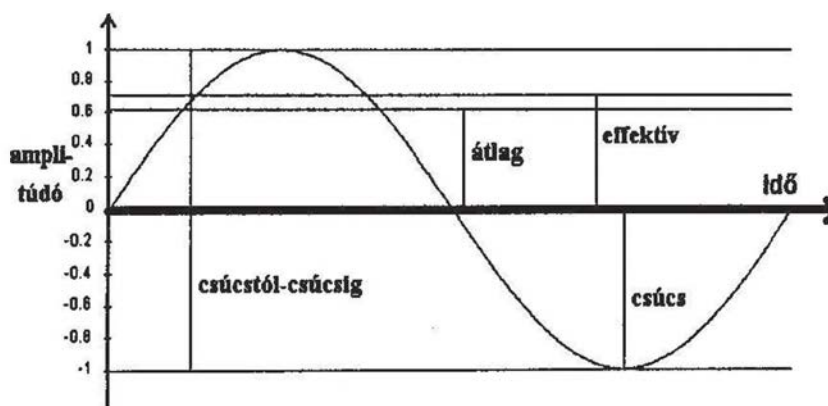
8. ábra

Két szinuszos összetevő összegzése

**Csúcs, csúcstól csúcsig, átlag és effektív érték:** a rezgés szintjének számszerűsítésére néhány eltérő lehetőség van.

A csúcs (vagy maximális) érték egyszerű harmonikus rezgés esetében hasznos, azonban egyéb típusú rezgések esetében kevésbé előnyös, mivel csak egy pillanatnyi rezgés nagyságától függ és nem veszi figyelembe az azt létrehozó időszakot.

Általánosan a csúcstól-csúcsig, vagyis a mozgás pozitív és negatív szélső helyzete közötti értéket használják. Egy szimmetrikus jel esetében (rendszerint ez az eset áll fenn) ez általában a csúcserték kétszerese (9.ábra).



9. ábra

A rezgésszintre jellemző értékek



Egy másik mennyiség, mely figyelembe veszi az időlefolyást is, az átlagos abszolút érték, melyet a következőképpen definiálunk:

$$x_{\text{átlag}} = \frac{1}{T} * \int x * dt$$

Bár ez a mennyiség egy T periódusra vonatkoztatott időszakot vesz figyelembe, úgy találták, hogy gyakorlati jelentősége korlátozott, mivel nincs közvetlen összefüggésben semmilyen hasznos fizikai mennyiséggel. Egy sokkal hasznosabb leíró mennyiség, amely figyelembe veszi az időlefolyást is az RMS (négyzetes átlag gyöke), más néven effektív érték, melyet a következőképpen definiálunk:

$$a_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T a^2(t) * dt}$$

Az RMS érték jelentőségének fő oka az, hogy közvetlenül összefügg a rezgés energiataralmával.

Az átlag és RMS értékek közötti összefüggés a következő:

$$x_{\text{RMS}} = a_1 * x_{\text{átlag}} = \frac{x_{\text{csúcs}}}{a_2}$$

Ahol: az  $a_1$ -t és  $a_2$ -t alaktényezőnek, illetve csúcstényezőnek hívják, és a tanulmányozott rezgések hullám-alakjáról adnak felvilágosítást.

Tisztán szinuszos-hullám esetében:  $a_1 \approx 1,11$  és  $a_2 \approx 1,41$ .

A legtöbb rezgés nem tiszta harmonikus hullámformákból tevődik össze, és így általában az RMS mérés előnyös.

A vonatkozó szabványok és javaslatok (pl. ISO 2372 vagy VDI 2056 és az ezeken alapuló magyar szabványok) a 10...1000 Hz között mért effektív rezgésebességre vonatkoznak.

**Időjelből spektrum:** a Fourier analízis segítségével a tetszőleges  $y(t)$  periodikus rezgés harmonikus összetevőkre bontható:

$$y_{(t)} = y_0 + \sum_{i=1}^{\infty} y_i * \sin(2\pi * i * f_0 * t + \Phi_i)$$

*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

Ahol:

- $y_0$  – a jel aritmetikai középértéke (többnyire zérus)
- $y_i$  – a harmonikus összetevő amplitúdója
- $\Phi_i$  – a  $t=0$  pillanathoz tartozó fázishelyzet
- $f_0$  – a periodikus jel alapfrekvenciája

A többi összetevő frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egészszámú többszöröse. A periodikus jelet rendszerint véges ( $n$ ) számú összetevővel közelítik meg. Az összetett periodikus rezgés tehát összetevőkkel is megadható, ami a frekvenciaspektrummal ábrázolható.

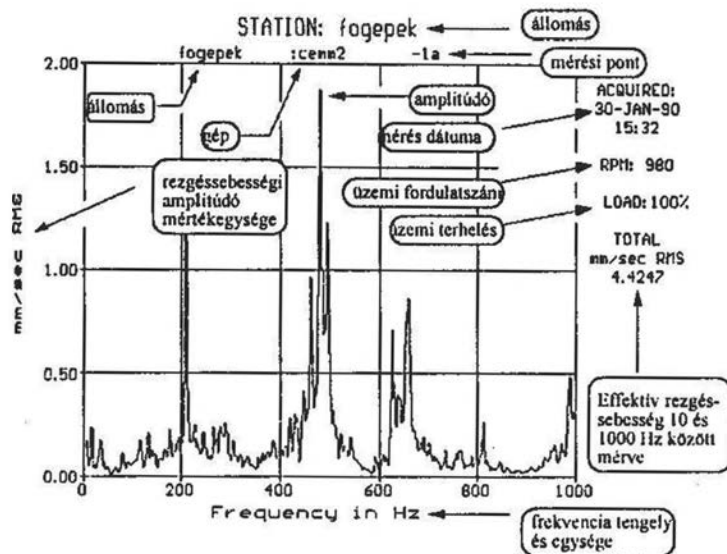
**Spektrum:** rezgési folyamat különböző frekvenciájú összetevőinek összessége. A spektrumban a derékszögű koordinátarendszer abszcisszájára a frekvenciát (vagy a percenkénti ciklusszámot), ordinátájára pedig az összetevők amplitúdóját vagy effektív értékét mérik. Periodikus jel esetén vonalas szinképet kapunk.

Sok esetben a mért jel nem periodikus. Ha az összetevők száma  $n$ , akkor:

$$y_{(t)} = \sum_{i=1}^n y_i * \sin(2\pi * i * f_i * t + \Phi_i)$$

Ahol: az  $f_i$  a rezgéskeverék egyes összetevőinek frekvenciája. Sztochasztikus rezgéskeverékek frekvenciaspektruma többnyire folytonos.

A frekvenciaanalízis a diagnosztikai rezgésvizsgálat fontos eszköze, ugyanis ezzel a módszerrel lehet felismerni a különféle frekvenciájú rezgésforrásokból származó jeleket. A következő ábrán a bemutatott spektrumokon látható információk magyarázata látható (10.ábra).



10. ábra  
Spektrumfelvétel részei

Az alapfogalmak ismertetése a [1], [2] és [3] felhasználásával történt.

## A REZGÉSDIAGNOSZTIKA GYAKORLATI ALKALMAZÁSA A MI-2 TÍPUSÚ HELIKOPTER FÖLDI ELLENŐRZÉSÉNÉL

### Az alkalmazott műszerek bemutatása

A mérés végrehajtásához az alábbi típusú gyorsulásérzékelőket alkalmaztuk:

- 1951/930L SN 3652
- TEC MOD-196 S/N 904
- Brüel & Kjaer 4384

A fenti gyorsulásérzékelők kis tömegűek, pontosak, széles frekvenciatartományban alkalmazhatóak és tartósak. Ezért döntöttünk ezen típusok alkalmazása mellett.

*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

A fenti gyorsulásérzékelők kis tömegűek, pontosak, széles frekvenciatartományban alkalmazhatóak és tartósak. Ezért döntöttünk ezen típusok alkalmazása mellett.

A mérést az alábbi típusú előerősítő is segítette:

- Brüel & Kjaer 2635

A mérés kiértékelésére az alábbi típusú adatgyűjtő spektrumanalizátort választottuk:

- TEC 1330A

A műszer kétféle szoftverrel rendelkezik:

Az „A” szoftver az alábbi funkciókat tartalmazza:

- adatállomány létrehozása
- adatkommunikáció a műszerrel
- kiértékelési funkció
- frekvencia-számítás
- gördülőcsapágy adatbázis
- hibakereső program
- géprajzoló program

A „B” fejlesztett változat a fentiekén kívül még az alábbi funkciókat is teljesíti:

- egyensúlyozás
- minta adatbázis gépparkra és elemzési funkció
- tengelybeállítás

A műszer tartozékai:

telep, tartaléktelep, teleptöltő, RS232 kábel, RS232 9-25 fordító stb.

A rendszer műszakonkénti mérési kapacitása kb. 350...400 spektrumfelvétel.

A kiegyensúlyozó program alkalmas 5 síkban való és több sebességen működő forgórészek egyensúlyozására.

Az egyensúlyozáshoz szükséges tachométer a fordulatszámot 0,1 1/min pontossággal képes meghatározni, akár 15 méterről is ad fázisjelet a rezgésvizsgálónak, ami a turbó gépek, szivattyúk vizsgálatánál és a többsíkú egyensúlyozásnál elengedhetetlen.

A műszer számítógépes háttérrel, HP 486, SVGA color monitor stb. kiegészíthető.

## Műszerrögzítési lehetőségek

A gyorsulásérzékelők rögzítését mágneses, illetve ragasztásos módszerrel oldottuk meg, a mérési hely kínálta lehetőségek alapján.

Azért alkalmaztuk ezeket a módszereket, mivel a mérés végrehajtásához tökéletes stabilitást biztosítottak, illetve a repülőeszköz szerkezeti elemeiben sem okoztunk vele semmiféle károsodást.

## A mérés elvégzése és értékelése

A Mi-2 típusú helikopter mérését a szolnoki repülőtér egyik nyugőzhelyén hajtottuk végre 1999.március 24-én.

Mivel a mérést földön álló, lenyűgözött repülőtechnikán alkalmaztuk, illetve az érzékelők felszerelése nem járt a szerkezet károsodásával, ezért nem volt szükségünk a gyártó cég engedélyére a mérés lefolytatásához.

A mérés során megvizsgáltuk a helikopter teljes sárkányszerkezetét, a hajtóművét és a mechanizmusok csoportját, különös figyelmet fordítva a Mi-2 típusú helikopterekre jellemző meghibásodásokra.

A rezgésmérő műszereknek a rezgésdiagnosztikai szakemberek által kijelölt mérési helyekre történő rögzítése után, a helikopter hajtómű indítása biztosította a méréshez szükséges fordulatszám értékét.

Az adatgyűjtő spektrum analízátort kezelő személyek a helikopter utasterében foglaltak helyet.

A rögzített adatok kiértékelés folyamatban van. Elképzeléseink szerint a konferencia időpontjáig ez elkészül, a hajtómű adott mérési helyeinek referencia adatai alapján, így lehetőségünk lesz ezt előadni a mérés végrehajtását bemutató videó felvétellel együtt.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Dömötör Ferenc: A rezgésdiagnosztika elemei  
SKF Svéd Golyóscsapágy Rt. 1996, Budaörs
- [2] Lipovszky György-Sólyomvári Károly-Varga Gábor: Gépek  
rezgésvizsgálata és a karbantartás  
Műszaki Könyvkiadó 1981, Budapest
- [3] Dr. Péczely György: Forgó gépek, gépalapok és kompresszorok



*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

csővezetékeinek rezgésvizsgálata

(Karbantartás az ezredfordulóhoz közeledve-válogatás)

A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft. 1977, Szeged

[4] Terpó György: Szükséges és elégséges rezgésdiagnosztikai  
információk a karbantartás megszervezéséhez

Karbantartás & Diagnosztika II. évfolyam 4. Szám (37. oldal)

*Research on vibration has become of great importance in technical fields recently. Vibration diagnostics, in connection with the servicing system depending on the state of repair of different aircraft, can provide the opportunity of their safe maintenance and economical operation. We would like to demonstrate a kind of practical implementation of this diagnostic theory based on our fault detection research on the Mi-2 helicopter being in service in the Hungarian Air Force.*



# KIS TELJESÍTMÉNYŰ GÁZTURBINA SZABÁLYOZÁSÁNAK MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

**AILER PIROSKA**  
**PHD. HALLGATÓ**  
**BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM**  
**KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI KAR**  
**REPÜLŐGÉPEK ÉS HAJÓK TANSZÉK**

*EBBEN A MUNKÁBAN EGY, A BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM REPÜLŐGÉPEK ÉS HAJÓK TANSZÉKÉN MŰKÖDTETETT ÉS VIZSGÁLT KIS TELJESÍTMÉNYŰ GÁZTURBINA SZABÁLYOZÁSÁNAK MATEMATIKAI MODELLJÉT KÉSZÍTEM EL. A KLASSZIKUS SZABÁLYOZÁSTECHNIKÁBAN [2, 5] HASZNÁLATOS MATEMATIKAI MODELLEZÉS TULAJDONSÁGAI, KRITÉRIUMAI A KÖVETKEZŐK:*

- A SZABÁLYOZÁSI KÖR MINDEN ELEME EGYETLEN BEMENETTEL ÉS EGYETLEN KIMENETTEL RENDELKEZIK;*
- A BEMENETI ÉS KIMENETI JELEK FOLYTONOS, ANALÓG JELEK;*
- A BEMENET ÉS A KIMENET KAPCSOLATA LINEÁRIS, HA NEM, AKKOR A KAPCSOLATOT LINEARIZÁLNI KELL.*

*A MODELL MEGALKOTÁSA A SZABÁLYOZÁSBAN SZEREPLŐ ELEMekre FELÍRT ERŐ-, ILL. NYOMATÉK-EGYENSÚLYI EGYENLETEKKEL (LINEÁRIS EGYENLETEKKEL, LINEÁRIS DIFFERENCIÁLEGYENLETEK) TÖRTÉNIK.*

## 1. BEVEZETÉS

A vizsgált gázturbina (DEUTZ T216) [1] egy egy-tengelyes hajtómű, egyfokozatú centrifugális kompresszorral és egyfokozatú centripetális turbinával. [3]

Ez a hajtómű egy speciális konstrukció, amely kifejezetten műszaki egyetemek, főiskolák, ill. kutatólaboratóriumok számára készült. Ennek megfelelően a gázturbina kis teljesítmény/tömeg-arányú, kis helyigényű, rezgésmentes működésű és egyszerűen karbantartható.

## AILER PIROSKA

Legfontosabb paramétereit ( $p_0 = 1,0133$  bar,  $T_0 = 288$  K,  $n = 50000$  1/perc esetén):

Teljesítmény:	$P = 80$ kW;
A levegő tömegárama:	$m_{lev} = 0,9$ kg/sec;
A kompresszor nyomásviszonya:	$\pi_k = 2,8$ ;
A turbina utáni torlóponti hőmérséklet:	$T_4^* = 938$ K.

## 2. A SZABÁLYOZÓ RENDSZER FELADATAI

A hajtómű egyparaméteres szabályozással [4] rendelkezik; szabályozott jellemzője a gázturbina fordulatszáma; a beavatkozó paraméter az égéstérbe betáplált tüzelőanyag mennyisége.

A tüzelőanyag a tüzelőanyag-szűrőn (filter), a tüzelőanyag-szivattyún (fogaskerék-szivattyú – fuel pump) és a szabályozó elemeken keresztül jut el az égéstér (combustion chamber) tüzelőanyag-fúvókájához (burner).

A szabályozó rendszer feladatai:

- A gázkar állásától függő tüzelőanyag-mennyiség és ezzel a fordulatszám értékének beállítása a terheléstől függetlenül.
- A hajtómű maximális fordulatszámának határolása (túlpörgés elleni védelem). Ez a rendszer független a fordulatszám szabályozásától, az előző rendszertől.
- A turbina utáni torlóponti hőmérséklet korlátozása. Ez különösen fontos túlterhelés esetén, ill. az indítási folyamat során.

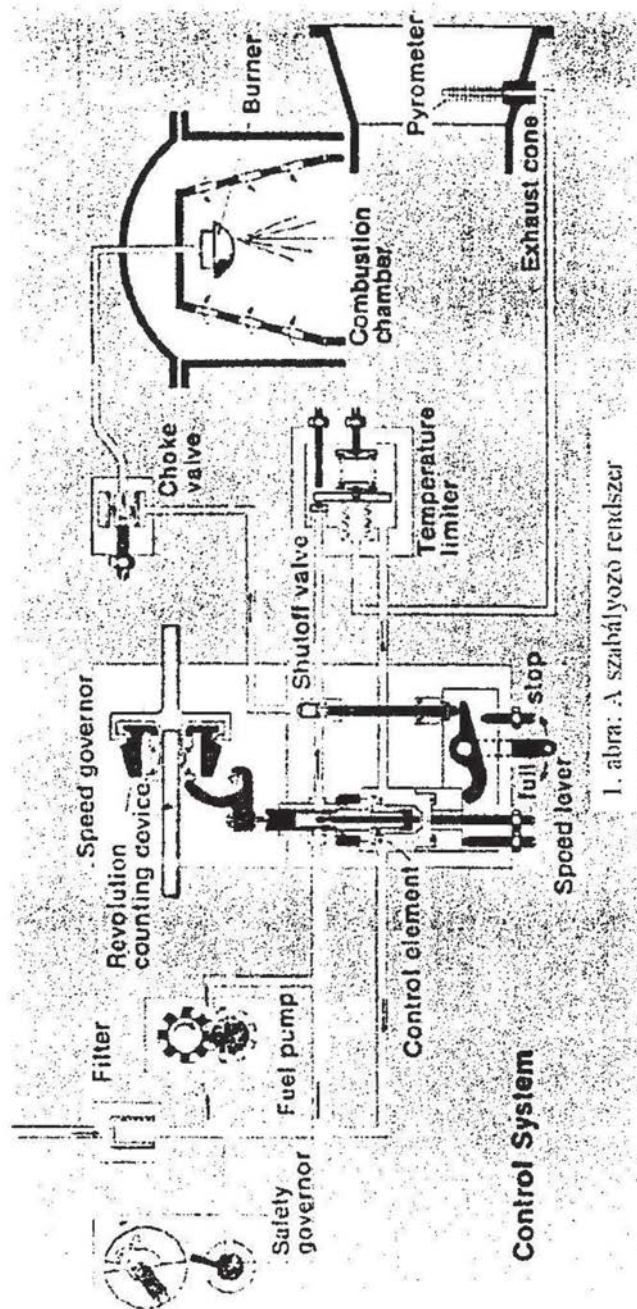
## 3. A SZABÁLYOZÓ RENDSZER MODELLEZÉSE

A szabályozó rendszer funkcionális rajza az 1. ábrán [1] látható.

### 3.1. A GÁZKAR HELYZETE, MINT A BEMENŐ JEL

A gázkar (speed lever) az 1. ábra szerinti balra fordításával a fordulatszám növelhető a következőképpen:

KIS TELJESÍTMÉNYŰ GÁZTURBINA SZABÁLYOZÁSÁNAK MATEMATIKAI  
MODELLEZÉSE



1. abra. A szabályozó rendszer



1. A gázkar balra fordításakor a himba bal végpontja felfelé mozdul (ezt tekintem pozitív irányú elmozdulásnak). A himba működése arányos tagot jelent, mivel bármely két pontja elmozdulásainak aránya megegyezik a két pontnak az alátámasztási ponttól mért távolságainak arányával.

A gázkar elfordításának szöge (bemenet):  $\beta_{gáz}$

A himba bal végpontjának elmozdulása (kimenet):  $h_1$

Az elmozdulások közötti kapcsolat tehát arányos, átviteli tényezője:  $A_1$ .

2. A himba felfelé mozdulásával egy rugón keresztül a tolattyú is felfelé mozdul. A tolattyú egyensúlyi egyenlete:

$$F_{r0} + c_r \cdot (h_1 - h_2) = m_{tol} \cdot \frac{d^2 h_2}{dt^2} + \mu \cdot \frac{dh_2}{dt} \quad (1)$$

ahol:  $F_{r0}$  - a rugó előfeszítése,  $c_r$  - a rugó rugóállandója,  $h_1$  - a himba bal végpontjának elmozdulása (bemenet),  $m_{tol}$  - a tolattyú tömege,  $\mu$  - súrlódási tényező,  $h_2$  - a tolattyú elmozdulása (kimenet).

Az egyenlet átrendezése, Laplace-transzformálása után az átviteli függvény (a kimeneti jel Laplace-transzformáltjának és a bemeneti jel Laplace-transzformáltjának a hányadosa):

$$W(s) = \frac{H_2}{H_1} = \frac{1}{\frac{m_{tol}}{c_r} \cdot s^2 + \frac{\mu}{c_r} \cdot s + 1} = \frac{A_2}{A_3 \cdot s^2 + A_4 \cdot s + 1} \quad (2)$$

### 3.2. A RÖPSÚLYOS FORDULATSZÁM-ÉRZÉKELŐ (REVOLUTING COUNTING DEVICE)

A röpsúlyokon ébredő centrifugális erő a hajtómű  $n$  fordulatszámának függvénye, a tapasztalatok szerint:

$$F_c = (a + b \cdot x_{kl}) \cdot n^2 \quad (3)$$

ahol:  $a$ ,  $b$  - a fordulatszám-érzékelőre jellemző állandók,  $x_{kl}$  - a himba felső végpontjának elmozdulása (pozitív az elmozdulás, ha az 1. ábra szerint a himba felső végpontja balra mozdul).

A röpsúlyos fordulatszám-érzékelőre felírható erőegyensúlyi egyenlet tartalmazza a tömegtehetetlenségből, és a súrlódásból származó erőket, valamint a centrifugális erőt, és a rugóerőt.

KIS TELJESÍTMÉNYŰ GÁZTURBINA SZABÁLYOZÁSÁNAK MATEMATIKAI  
MODELLEZÉSE

$$m \cdot \frac{d^2 x_{kl}}{dt^2} + \mu \cdot \frac{dx_{kl}}{dt} + F_{r0} + c_r \cdot x_{kl} = (a + b \cdot x_{kl}) \cdot n^2 \quad (4)$$

ahol:  $m$  - a röpsúlyos fordulatszám-érzékelő forgó tömegre redukált tömege,  $\mu$  - a súrlódási tényező,  $F_{r0}$  - a rugó előfeszítése,  $c_r$  - a rugó rugóállandója,  $n$  - a hajtómű fordulatszáma (bemenet),  $x_{kl}$  - a himba felső végpontjának elmozdulása (kimenet).

A felírt dinamikai egyenlet nem lineáris - az  $n$  fordulatszám a második hatványon szerepel -, ezért (Taylor-sorba fejtéssel) linearizálni kell, amelynek eredménye:

$$m \cdot \frac{d^2 \Delta x_{kl}}{dt^2} + \mu \cdot \frac{d\Delta x_{kl}}{dt} + (c_r - b \cdot n_0^2) \cdot \Delta x_{kl} - 2 \cdot n_0 (a + b \cdot x_{kl0}) \cdot \Delta n = 0 \quad (5)$$

A linearizálás munkapontja az  $n_0 - x_{kl0}$  összetartozó értékpár, amelynek kis ( $\Delta$ ) környezetében egyenessel helyettesítem a (4) összefüggést.

A (5) egyenlet átrendezve:

$$\frac{m}{c_r - b \cdot n_0^2} \cdot \frac{d^2 \Delta x_{kl}}{dt^2} + \frac{\mu}{c_r - b \cdot n_0^2} \cdot \frac{d\Delta x_{kl}}{dt} + \Delta x_{kl} = \frac{2 \cdot n_0 \cdot (a + b \cdot x_{kl0})}{c_r - b \cdot n_0^2} \cdot \Delta n \quad (6)$$

Jelölje:

$$A_5 = \frac{m}{c_r - b \cdot n_0^2}, \quad A_6 = \frac{\mu}{c_r - b \cdot n_0^2}, \quad A_7 = \frac{2 \cdot n_0 \cdot (a + b \cdot x_{kl0})}{c_r - b \cdot n_0^2} \quad (7)$$

A röpsúlyos fordulatszám-érzékelő átviteli függvénye ezekkel a jelölésekkel:

$$W(s) = \frac{\Delta X_{kl}}{\Delta N} = \frac{A_7}{A_5 \cdot s^2 + A_6 \cdot s + 1} \quad (8)$$

Mivel  $c_r > b \cdot n_0^2$ , ezért az átviteli függvényben szereplő együtthatók mindegyike pozitív előjelű.

A himba felső ( $x_{kl}$ ) és bal ( $h_3$ ) végpontjának elmozdulásai arányát, azaz a himba áttételét jelölje:  $A_8$ .

### 3.3. A KÜLÖNBSÉGGÉPZŐ ELEM

A himba bal végpontja a korábbiakban már ismertetett tolattyú házával érintkezik. Ha tehát a fordulatszám valamilyen külső zavarás hatására megnövekedne, akkor a röpsúlyos fordulatszám-érzékelőn keresztül a himba felső végpontja balra mozdul, és ezzel a himba bal oldali végpontja lefelé mozditja a tolattyú házát. Ennek hatására a tüzelőanyag átbocsátó keresztmetszete lecsökken.

Ha a gázkart a fordulatszám növelése irányába mozditjuk, akkor a tolattyú elmozdulásának (felfelé mozdulásának) hatására a tüzelőanyag átbocsátó keresztmetszet megnő.

A két hatás tehát ellentétes, a tolattyú és házának kölcsönös és független elmozdulása valósítja meg a különbségképzést.

A különbség (a szabályozási kör rendelkező jele):  $\Delta h = h_2 - h_3$ . (9)

### 3.4. A RENDELKEZŐ JEL ERŐSÍTÉSE

Az elmozdulások különbségének ( $\Delta h$ ) hatására bekövetkező keresztmetszet változás ( $A$ ) közötti kapcsolat nem arányos. Azonban ezzel a modellezési eljárással csak lineáris, arányos kapcsolatok vizsgálhatók, ezért az elmozdulások különbségének hatására bekövetkező keresztmetszet változás függvényét valamely munkapont környezetében linearizálni kell, azaz egyenessel kell helyettesíteni.

Az átviteli tényezőt (az egyenes meredekségét) jelölje:  $A_9$ .

A tüzelőanyag átbocsátó keresztmetszetének és a tüzelőanyag tömegáramának kapcsolata:

$$m_{tuz} = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} \quad (10)$$

ahol:  $m_{tuz}$  - a tüzelőanyag tömegárama,  $A$  - a tüzelőanyag átömlési keresztmetszete,  $\alpha$  - az átfolyási tényező,  $\rho$  - a tüzelőanyag sűrűsége,  $\Delta p$  - nyomáskülönbség.

Ha az  $\alpha$ , a  $\rho$  és a  $\Delta p$  értéke állandónak tekinthető, akkor az  $A$  és az  $m_{tuz}$  közötti kapcsolat lineáris. (Ha nem, akkor a kapcsolatot leíró egyenletet megfelelően, valamely munkapont környezetében, linearizálni kell.)

Így az átviteli tényező értéke:

$$A_{10} = \frac{m_{tuz}}{A} = \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} \quad (11)$$

### 3.5. A HAJTÓMŰ ÁTVITELI FÜGGVÉNYE

Az egy-forgórészes hajtómű átviteli függvényének felírásához a forgórész nyomatéki egyensúlyának egyenletét kell vizsgálni.

A forgórész mozgásegyenlete:

$$M_T - M_K = \Theta \cdot \varepsilon = 2 \cdot \pi \cdot \Theta \cdot \frac{dn}{dt} \quad (12)$$

ahol:  $M_T$  – a turbina nyomaték-leadása,  $M_K$  – a kompresszor nyomaték-igénye,  $\Theta$  – a forgórész tehetetlenségi nyomatéka,  $\varepsilon$  – a forgórész szöggyorsulása,  $n$  – a forgórész fordulatszáma,  $t$  – az idő.

Az egyenlet szerint a turbina és a kompresszor nyomatékainak különbsége a forgórész gyorsítására ill. lassítására fordítódik.

A (12) összefüggés egy nemlineáris differenciálegyenlet. A linearizáláshoz Taylor-sorba kell fejteni az egyenletet a következőképpen:

$$M_T = f(n, m_{üz}) \quad (13)$$

$$M_K = f(n, m_{üz}) \quad (14)$$

Taylor-sorba fejtvé (a sornak csak az első differenciális elemét használva):

$$M_T = M_{T0} + \left( \frac{\partial M_T}{\partial n} \right)_0 \cdot \Delta n + \left( \frac{\partial M_T}{\partial m_{üz}} \right)_0 \cdot \Delta m_{üz} \quad (15)$$

$$M_K = M_{K0} + \left( \frac{\partial M_K}{\partial n} \right)_0 \cdot \Delta n + \left( \frac{\partial M_K}{\partial m_{üz}} \right)_0 \cdot \Delta m_{üz} \quad (16)$$

Az egyensúlyi feltétel:  $M_{T0} = M_{K0} \quad (17)$

Az egyensúlyi állapothoz – a „0” indexszel jelölt mennyiségek – képest történő megváltozás:

$$\Delta n = n - n_0, \quad \Delta m_{üz} = m_{üz} - m_{üz0}, \quad (18)$$

valamint jelölje

$$\delta M = M_T - M_K \quad (19)$$

Ezzel a jelöléssel a Taylor-sorba fejtett (15) és (16) egyenletek kivonhatók egymásból, és ezt behelyettesítve a (12) egyenletbe, valamint rendezve az egyenletet:

$$2 \cdot \pi \cdot \Theta \cdot \frac{d\Delta n}{dt} - \left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0 \cdot \Delta n = \left( \frac{\partial \delta M}{\partial m_{\text{tüz}}} \right)_0 \cdot \Delta m_{\text{tüz}} \quad (20)$$

Legyen:

$$\frac{\Delta n}{n_b} = \bar{n}, \quad \frac{\Delta m_{\text{tüz}}}{m_{\text{tüz}b}} = \bar{m}_{\text{tüz}} \quad (21)$$

A „b” indexszel jelölt mennyiségek –  $n_b$ ,  $m_{\text{tüz}b}$  – valamilyen összetartozó, bázis értékek, amihez viszonyíthatók a „Δ”-különbségek.

A (20) egyenlet további rendezésével adódik a végeredmény:

$$-\frac{2 \cdot \pi \cdot \Theta \cdot n_b}{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0 \cdot n_b} \cdot \frac{d\bar{n}}{dt} + \bar{n} = -\frac{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial m_{\text{tüz}}} \right)_0 \cdot m_{\text{tüz}b}}{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0 \cdot n_b} \cdot \bar{m}_{\text{tüz}} \quad (22)$$

Bevezetve új jelöléseket:

$$T_h = -\frac{2 \cdot \pi \cdot \Theta}{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0}, \quad k_h = -\frac{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial m_{\text{tüz}}} \right)_0 \cdot m_{\text{tüz}b}}{\left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0 \cdot n_b} \quad (23)$$

ahol:  $T_h$  – a hajtómű időállandója és  $k_h$  - a hajtómű erősítési tényezője.

Ezzel a jelölésekkel a (22) egyenlet a következőképpen egyszerűsíthető:

$$T_h \cdot \frac{d\bar{n}}{dt} + \bar{n} = k_h \cdot \bar{m}_{\text{tüz}} \quad (24)$$

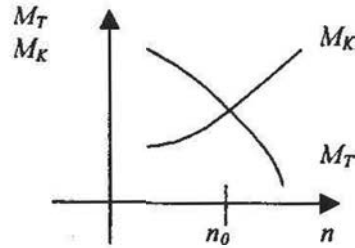
Vizsgáljuk meg a hajtómű időállandójának és erősítési tényezőjének előjeleit!

1. A  $T_h$  előjele:

A  $T_h$  számlálója pozitív. A nevező:



KIS TELJESÍTMÉNYŰ GÁZTURBINA SZABÁLYOZÁSÁNAK MATEMATIKAI  
MODELLEZÉSE



A forgórész stabilitásának feltétele a fenti turbina-kompresszor nyomaték-alakulás a fordulatszám függvényében. Fenti esetben a fordulatszám növekedésével a turbina nyomatéka a kompresszor-nyomatékigénye alá csökken, azaz lassító nyomaték keletkezik, és a fordulatszám visszaáll munkaponti értékére. A fordulatszám csökkenése ellenkező hatást vált ki, gyorsító nyomaték keletkezik, és a fordulatszám ekkor is visszaáll a munkapontba.

Matematikailag megfogalmazva:

$$\left( \frac{\partial M_T}{\partial n} - \frac{\partial M_K}{\partial n} \right)_0 = \left( \frac{\partial \delta M}{\partial n} \right)_0 < 0 \quad (25)$$

Tehát a nevező negatív, így a  $T_h$  pozitív előjelű.

2. A  $k_h$  előjele:

A nevező az előbbieket szerint negatív. A számláló:

A tüzelőanyag-tömegáramának növekedése – az  $n$  állandósága mellett – a turbina által leadott nyomaték növekedését okozza. A kompresszor nyomatékigénye nem változik. Tehát:

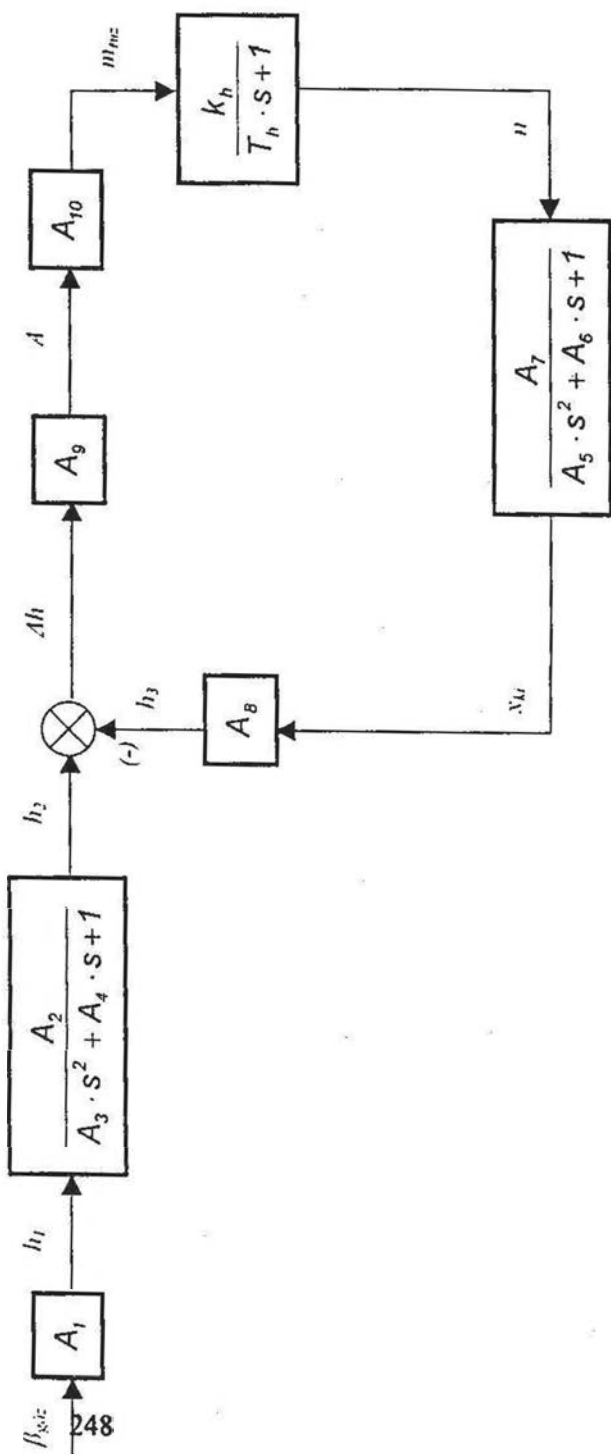
$$\left( \frac{\partial \delta M}{\partial m_{\text{tüz}}} \right)_0 > 0 \quad (26)$$

Így a  $k_h$  pozitív előjelű.

Mindezek alapján a hajtómű átviteli függvénye:

$$W(s) = \frac{\bar{N}}{M_{\text{tüz}}} = \frac{k_h}{T_h \cdot s + 1} \quad (27)$$

A teljes rendszer funkcionális blokkdiagramját, hatásvázlatát ld. a 2. ábrán.



2.ábra: A teljes rendszer blokkdiagramja

## **4. A SZABÁLYOZÓ RENDSZER TOVÁBBI ELEMEI**

### **1. A FORDULATSZÁM HATÁROLÓJA (SAFETY GOVERNOR)**

A fordulatszám határolóján ébredő centrifugális erő a fordulatszám négyzetével arányos. Ha a fordulatszám, és így a centrifugális erő meghaladja a határolóban lévő rugó előfeszítési erejét, akkor a rugó kimozdítja az alakos tárcsát alaphelyzetéből, ami rövidrezárja a tüzelőanyag-szivattyú nyomó- és szívóágát, megelőzve ezzel a hajtómű túlpörgését.

### **2. LEÁLLÍTÓ SZELEP (SHUTOFF VALVE)**

A gázkar STOP helyzetbe állításával a leállító szelep megszünteti a tüzelőanyag betáplálását az égéstérbe, biztosítva ezzel a hajtómű leállítását.

### **3. FOJTÓSZELEP (CHOKE VALVE)**

Az üzemeltető által csavarral beállítható a fojtószelepen létrejövő nyomásesés értéke, mellyel javítható a porlasztás minősége.

### **4. TURBINA UTÁNI TORLÓPONTI HŐMÉRSÉKLET HATÁROLÓJA (TEMPERATURE LIMITER)**

A turbina utáni torlópointi hőmérséklet egy pirométerrel (pyrometer) mérhető. A pirométer a hőmérséklet-jelet nyomás-jellé alakítja úgy, hogy a hőmérséklet növekedésével a nyomás is növekszik. Ennek hatására a határolóban lévő szilfon kitágul. Ha ez meghaladja a rugó előfeszítési erejével beállított értéket, akkor a közbenső tárcsa jobbra mozdul, rövidrezárva a tüzelőanyag-szivattyú nyomó- és szívóágát. Ezáltal megszűnik a tüzelőanyag betáplálása az égéstérbe.

## **5. ÖSSZEFOGLALÁS**

Ez a munka egy kis teljesítményű gázturbina szabályozásának matematikai modelljét mutatja be. A fenti összefüggésekkel feltárható a szabályozási rendszer és a hajtómű együttes működése. Az egyenletekben, átviteli függvényekben szereplő paramétereket, együtthatókat a későbbiekben mérésekkel lehet meghatározni. Ezzel a modellezési eljárással a későbbiekben vizsgálni lehet a

hajtómű idő- és frekvencia-tartománybeli viselkedését, stabilitási tulajdonságait, különböző zavarások hatását, elkészíthető a rendszer teljes szimulációja.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] - DEUTZ Gas Turbine T216 típusleírás
- [2] - DR. KURUTZ Károly: Szabályozástechnika I., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994.
- [3] - DR. PÁSZTOR Endre: Repülőgép-hajtóművek elmélete I., Előadásvázlatok, 1996.
- [4] - DR. SÁNTA IMRE: Repülőgép-hajtóművek elmélete II., Előadásvázlatok, 1996.
- [5] - SZÁDAY REZSŐ: A szabályozáselmélet elemei, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.

*IN THIS PAPER A MATHEMATICAL MODEL OF THE CONTROL SYSTEM OF A LOW-POWERED GASTURBINE, WHICH IS USED AND ANALYSED IN THE TECHNICAL UNIVERSITY OF BUDAPEST, DEPARTMENT OF AIRCRAFT AND SHIPS WILL BE PRESENTED. THE CHARACTERISTIC FEATURES AND CRITERIONS OF THE MATHEMATICAL MODEL USED IN THE CLASSICAL THEORY OF CONTROL ARE:*

- *EVERY ELEMENT OF THE CONTROL LOOP HAS SINGLE INPUT AND SINGLE OUTPUT;*
- *THE INPUT AND OUTPUT SIGNALS ARE CONTINUOUS AND ANALOGOUS;*
- *THE RELATION BETWEEN THE INPUT AND PUTPUT IS LINEAR, IF NOT, LINEARIZATION IS NEEDED.*

*LINEAR EQUATIONS AND LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS OF MAINTAINING THE BALANCE OF FORCES AND BALANCE OF MOMENTS DESCRIBE THE SYSTEM.*

**„F” SZEKCIÓ  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK III.**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. GAUSZ TAMÁS  
TÁRSELNÖK: BÉKÉSI BERTOLD**





# THEORETICAL BACKGROUNDS OF THE RING LASER GYROS

**Bertold BÉKÉSI**  
**Senior Lecturer**  
**"Miklós Zrínyi" National Defence University**  
**Faculty of Management and Command**  
**Department of Aircraft Onboard Systems**

*Keywords: passive Sagnac interferometer, active ring interferometer, readout in the laser gyro.*

## INTRODUCTION

One of the more promising applications of the laser is as a gyroscope (Heer, 1961; Rosenthal, 1962; Macek and Davis, 1963; McCartney, 1966; Killpatrick, 1967). The laser gyro is an integrating rate gyroscope in the unconventional sense, since it contains no spinning mass. The essential feature of the laser gyro is a ring-type cavity and which the laser radiation traverses a closed path. The laser cavity supports two independent, oppositely directed travelling waves that can oscillate at different frequencies of oscillation of the travelling waves are dependent on the rotation of the cavity with respect to inertial space. A measurement of the rotation of the laser cavity.

From a system point of view, the laser gyro can be considered as just another black box. Power is applied and information is taken out and fed into a computer. This survey article provides further insight into the basic operation of the laser gyro.[5]

Discussion of the laser gyro can be divided into three parts: The basic concept involved in its operation (1), the active laser medium (2), and the cavity (3). This article deals mainly with the basic concept involved in its operation.

The emphasis on the laser material and operation of the laser gyro bring to the surface potential problem areas that must be considered in the design and construction of the laser gyro.

BERTOLD BÉKÉSI

The successful operation of the laser gyro, and its eventual acceptance as a device will be determined mainly by how well and how economically it can be designed and constructed.

## PRINCIPLE OF OPERATION

### PASSIVE SAGNAC INTERFEROMETER

The principle of operation of the laser gyro is best described by first considering a rotating ring interferometer, as first successfully demonstrated by Sagnac (1913). Since the effect is first order in  $v/c$ , classical theory will give the correct answer to first order. Strictly speaking, the special theory of relativity is not applicable, since the light must be considered on a rotating frame. The only rigorously correct theory is the general theory of relativity. However, for conceptual simplicity, the rotating interferometer will be considered, using classical theory.

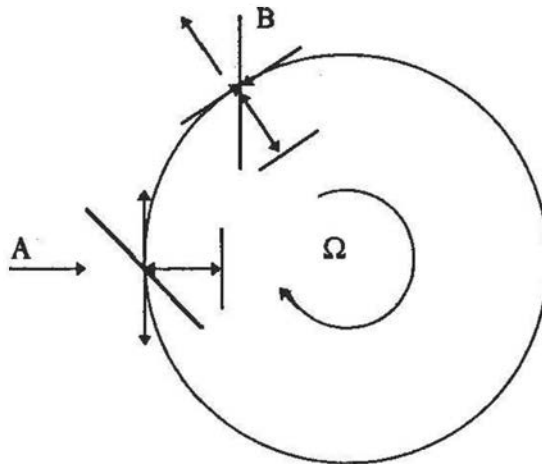


Figure 1.  
Circular rotating (Sagnac interferometer)

*THEORETICAL BACKGROUNDS OF THE RING LASER GYROS*

Figure 1. shows an ideal circular interferometer of radius  $R$  [3, 4]. Light enters at point A and is split by the beamsplitter. In this ideal interferometer, the light is constrained to travel along the circumference of the circle. After travelling along the complete path, the light recombines at the original beamsplitter. When the interferometer is stationary, the transit time for the light to make a complete path is the same for both beams and is given by

$$t = \frac{2\pi R}{c} \quad (1)$$

where:  $c$  - is the velocity of light

If the interferometer is rotated at a constant speed  $\Omega$ , the closed path transit time is modified from that given by eq. (1). In fact the closed path transit time becomes different for light travelling with and against the direction of rotation. This occurs because of the fact that during the closed path transit time of the light, the beamsplitter, originally located at point A, moves to point B. Thus, with respect to inertial space, light travelling against and with the direction of rotation must traverse a smaller and greater distance, respectively, than when there is no rotation. Note that the speed of the light is considered to remain invariant. Then the closed path transit time for the light is given by the equations

$$\begin{aligned} 2\pi R \pm X_{\pm} &= ct_{\pm} \\ X_{\pm} &= R\Omega t_{\pm} \end{aligned}$$

or

$$t_{\pm} = \frac{2\pi R}{c} \pm R\Omega \quad (2)$$

The upper sign in eq. (2) refers to the light travelling in the direction of rotation and  $X$  refers to the inertial space distance between points A and B. Note that eq. (2) can be interpreted in terms of the speed of light being different for the two directions and the path length being the same [1, 5].

The closed-path transit time difference for the light travelling in opposite directions is given by

$$\Delta t = t_{+} - t_{-}$$

and from eq. (2), we find, to first order

$$\Delta t = \frac{4\pi\Omega R^2}{c^2} \quad (3)$$

This difference in closed-path transit time for light travelling in opposite directions gives rise to an optical path difference of  $c\Delta t$ , or from eq. (3),

$$\Delta L = \frac{4\pi\Omega R^2}{c} \quad (4)$$

This is the basic equation for the rotating interferometer. It shows that the optical path difference is proportional to the area enclosed by the light and the rotation speed. Equation (4) does not take into account effects due to the presence of optically refracting materials in the path of the light beams[4, 6, 7,8].

According to the general theory of relativity, a clock travelling on a rotating frame loses synchronization with one located on a stationary frame. This loss of synchronization gives rise to a different closed-path transit time for light travelling in opposite directions on a rotating frame, or

$$\Delta t = \oint 2\Omega R^2 \left[ 1 - \left( \frac{\Omega R}{c} \right)^2 \right]^{-1} d\varphi \quad (5)$$

There the integral is taken over a closed contour. Neglecting second-order terms, eq. (5) becomes

$$\begin{aligned} \Delta t &= \left( \frac{2\Omega}{c^2} \right) \oint r^2 d\varphi \\ \Delta t &= \frac{4A\Omega}{c^2} \end{aligned}$$

where: A - is the area enclosed by the light.

Thus eq. (4) can be generalized for an arbitrary cavity configuration as

$$\Delta L = \frac{4A\Omega}{c} \quad (6)$$

From the development eq. (5) the optical path difference given by eq. (6) is independent of the location of the axis of rotation. It should also be noted that a



## THEORETICAL BACKGROUNDS OF THE RING LASER GYROS

measurement of the optical path difference enables an observer located on the rotating frame to measure the so called "absolute" rotation of his frame.

### ACTIVE RING LASER INTERFEROMETER

As discussed in section, the use of a ring resonator in the passive mode allowed the determination of the rotation (with respect to inertial space) of the resonator. The observer is located on the rotating frame. A light source, external to the cavity, is used and the quantity measured is the phase difference arising from the unequal path lengths for light travelling in opposite directions round the rotating cavity [1, 5, 6, 7, 8].

The difficulty in using the Sagnac interferometer as a practical device arises from lack of sensitivity, since the path difference for light travelling in the two directions is much less than a wavelength. The use of a laser as the external light source does not help. However, if the system is made into an active interferometer, the situation changes markedly. The improvement in sensitivity arises from the fact that the laser frequency is dependent on the cavity length.

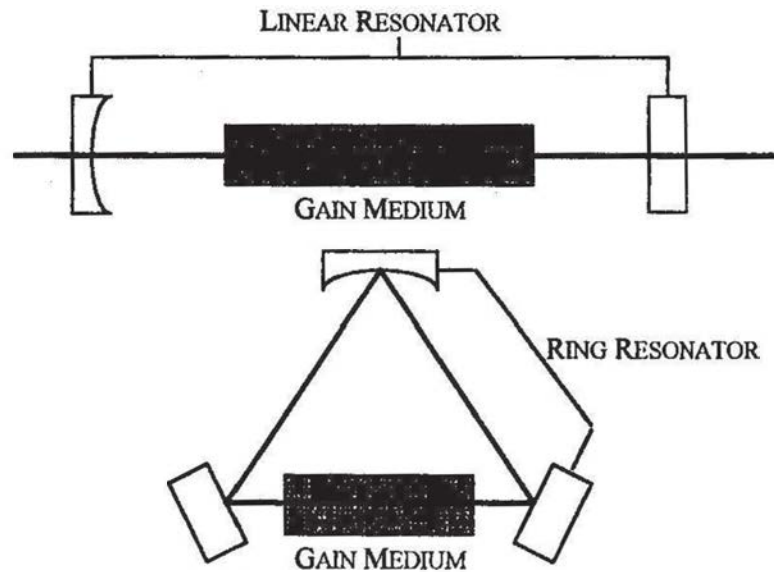


Figure 2. Linear laser and ring laser cavity configuration

Figure 2. is a schematic of a linear laser with two mirrors separated by a distance  $l$  and a ring laser with total perimeter  $L$ . In both cases the frequency of

BERTOLD BÉKÉSI

oscillation condition for the lowest order transverse mode is that the optical cavity length encloses an integral number of wavelengths. For the linear laser the cavity modes consist of two oppositely directed travelling waves, which compose a standing wave. The amplitudes and frequencies of the traveling waves are constrained to be equal. In the ring laser each cavity mode also consists of two oppositely directed travelling waves. In this case the oppositely directed waves are independent, in the sense that they can oscillate with different amplitudes and frequencies. In fact, whether or not the ring laser could sustain stable oscillations in both directions was not answered until it was actually archived (Macek and Davis, 1963).

If  $m$  represents the mode number (typically on the order of  $10^5 - 10^6$ ), the oscillation condition can be expressed as

$$m\lambda_{\pm} = L_{\pm}$$

or

$$\nu_{\pm} = \frac{mc}{L_{\pm}} \quad (7)$$

where:  $\nu_{\pm}$  represents the frequency of the wave which sees the cavity as being of length  $L_{\pm}$  respectively.

Thus small changes in the path length result in a small frequency change given by

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta L}{L} \quad (8)$$

Due to the high frequency in the optical region ( $10^{14}$  Hz), small length changes can result in large measurable frequency differences. Letting  $\Delta L$ , as given by eq. (6), represent the differential cavity length for the oppositely directed waves, the beat frequency can be found from eq. (8) as

$$\Delta\nu = \frac{4A\Omega}{L\lambda} \quad (9)$$

For a rotation of 10 deg/hr and for a ring laser with an equilateral triangular cavity of 13.2 cm per side operating at a wavelength of  $0.633 \mu m$ , eq. (9) gives a beat frequency of 5.9 Hz. Using heterodyne techniques, this beat frequency is 258

*THEORETICAL BACKGROUNDS OF THE RING LASER GYROS*

readily measurable, although it amounts to only  $10^{-14}$  of the value of the optical frequency.

From eq. (7) it can be seen that thermal and mechanical instabilities can cause frequency variations far greater than the rotational beat frequency. Hence for the operation of the ring laser as a rotation sensor (laser gyro) it is necessary for both beams to physically occupy the same cavity.

**READOUT IN THE LASER GYRO**

In the laser gyro, rotation information is obtained by monitoring the oppositely directed waves. In the ideal case of a uniformly rotating laser, the frequencies of the waves are slightly different; the difference being given by eq. (9). Thus a direct measurement of the beat frequency gives a number proportional to the rotation rate [5, 6].

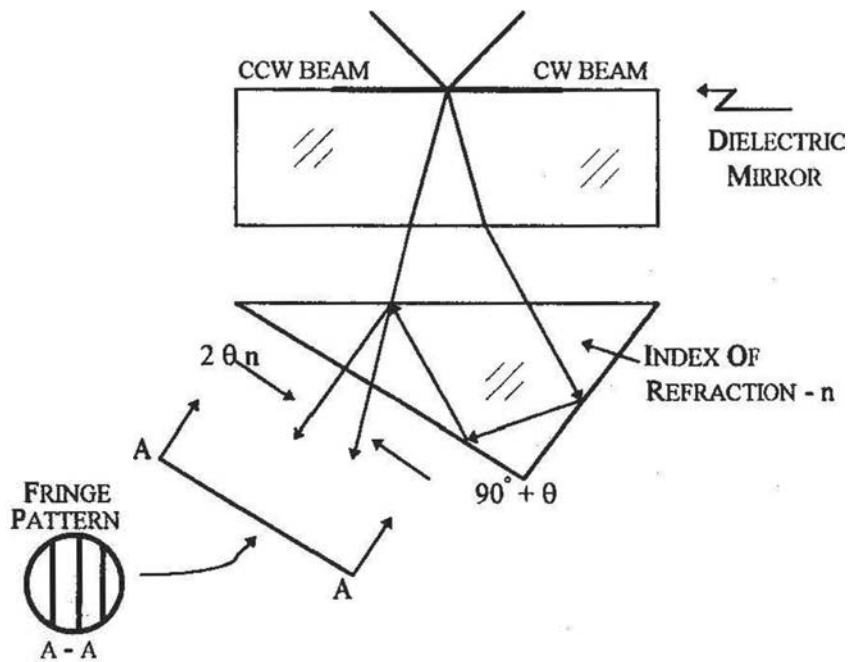


Figure 3. Readout technique in the laser gyro

Figure 3. shows a method of combining the oppositely directed beams to obtain readout. A small percentage (typically less than 0.1%) of the energy of both beams is transmitted through one of the dielectric coated mirrors. The beams

BERTOLD BÉKÉSI

are made approximately collinear by a 90 degree corner prism to form a fringe pattern. The prism can be directly mounted to the mirror to minimize vibrations. Typically, a semitransparent coated mirror is used to match intensities.

The fringes are a measure of the instantaneous phase difference between the oppositely directed beams. For the case when the intensities are matched and the beams are nearly collinear (angular divergence of  $\varepsilon$ ), the fringe pattern is given by

$$I = I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi\varepsilon x}{\lambda} + \Delta\omega t + \varphi \right) \right] \quad (10)$$

where:  $\Delta\omega$  - is the angular beat frequency  
 $\varphi$  - is same arbitrary angle

Thus when the laser is not rotating,  $\Delta\omega = 0$ , and the fringe pattern is stationary. When the laser is rotated, the fringe pattern moves at the beat frequency rate. The fringe spacing is given by  $\frac{\lambda}{\varepsilon}$ . For a parallel substrate  $\varepsilon$  is given by

$$\varepsilon = 2n\theta$$

where:  $n$  - is the index of refraction of the prism  
 $\theta$  - is the deviation of the prism angle from 90 degrees.

For a prism angle deviation of 15 arc sec and for the 0.633  $\mu\text{m}$  He-Ne transition, the fringe spacing is 3 mm. Thus by the use of a detector whose dimensions are much smaller than the fringe spacing, a measurement of the rotation rate can be made by simply recording the rate at which intensity maximum moves past the detector. From eq. (10) it can be seen that the sense of rotation determines the direction in which the fringe pattern moves. Thus by using two detectors spaced 90 degrees (a quarter fringe) apart and a logic circuit, both positive and negative counts can be accumulated to give rotation sense.

It should be noted that with this type of readout, the laser gyro is inherently an integrating rate gyro with a digital output. This can be seen from eq. (9), where a time integration gives

$$N = \left( \frac{4A}{\lambda L} \right) \theta \quad (11)$$

## THEORETICAL BACKGROUNDS OF THE RING LASER GYROS

where

$$N = \int_0^t \Delta v dt, \quad \theta = \int_0^t \Omega dt$$

## CONCLUSIONS

1. The interference picture, formed by recombination of two light beams, travelling in opposite directions, originated from a light source on a rotating frame, is proportional to the rotating speed of the frame;
2. The ring interferometer is suitable for accurate measuring of low rotating speeds.

## REFERENCES

- [1] Байбородин Ю. В.: Основы лазерной техники, Высшая школа, Киев, 1988.
- [2] DR. BENOLÁK Kálmán: A fény, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [3] DR. CSILLAG László - DR. KROÓ Róbert: A lézer titkai, Kozmosz Könyvek, 1987.
- [4] FOWLER R. G. - MEYER D. I. : Fizika mérnököknek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [5] ED BY MONTE Ross: Laser Applications, Academic Press, New York and London, 1971.
- [6] Д. С. ПЕЛЬПОР: Гироскопические системы, Высшая школа, Москва, 1988.
- [7] Д. С. ПЕЛЬПОР, Ю. А. ОСОРКИН, Е. Р. РАХТЕНКО: Гироскопические приборы систем ориентации и стабилизации, Машиностроение, Москва, 1977.
- [8] SZABOLCSI, Róbert: Navigációs rendszerek, Szolnoki Repülőtiszti Főiskola, Főiskolai jegyzet, Szolnok, 1994.





## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

**Szilvássy László mérnök őrnagy**  
**Békési Bertold mérnök százados**  
**egyetemi tanársegéd**  
**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Fedélzeti Rendszerek Tanszék**

*A szerzők célja bemutatni a repülőgép-fedélzeti rakétákban alkalmazott hajtóművek különböző típusait, többek között a torlósugarhajtóművet is.*

### BEVEZETÉS

A szerzők előző cikkükben a repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagokról írtak, ahol elsősorban a szilárd hajtóanyag formákat mutatták be. Ez a cikk kapcsolódik az előzőhöz, igaz röviden bemutatva szinte a teljes keresztmetszetét a repülőgép-fedélzeti rakétákon alkalmazott rakétahajtóműveknek.

### A REAKTÍV HAJTÓMŰVEK OSZTÁLYOZÁSA

A rakétahajtóműveket fizikai szempontok alapján a reaktív hajtóművek csoportjába sorolhatjuk, melyeket alapvetően két nagy csoportra oszthatunk:

Az egyik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak melyek az atmoszférában található levegőt használják, mint az energiaforrás nélkülözhetetlen komponensét, vagy mint a kiáramló tömeget, vagy mint mindkettőt. Ezeket a hajtóműveket levegőnyelő (aerob) hajtóműveknek nevezzük. Ilyen hajtóműveket találhatunk a repülőgépeken, néhány rakétán és a robot repülőgépeken. Ezeknek a hajtóműveknek az alkalmazási magassága igen korlátozott és bármennyire is szeretnénk, de 30.000 méter fölött már nem alkalmazhatóak.

A másik nagy csoportba azok a hajtóművek tartoznak, melyeknek nincsen

szükségük a környezetükben található levegőre sem energiaforrásként, sem pedig a kiáramló tömeghez. Ezek a levegőt nem nyelő (anaerob) hajtóművek. Talán a legismertebb alkalmazási területük űrhajózási hordozó rakéták.

### **Levegő nyelő hajtóművek**

A légcsavaros hajtóműnél a vonóerőt a légcsvavar keresztmetszetén, az úgynevezett légcsavartárcsán átáramló levegő felgyorsításával állítjuk elő. A  $v$  sebességgel mozgó repülőgépre szerelt légcsvavar a "beszívott" levegőt  $2w$  sebességnövekedéssel "löki" hátra. Mivel hatása a tárcsa előtt és mögötti térre is kiterjed, amit a sugárkontrakció mutat, bizonyítható, hogy a légcsvavar síkjában sebességnövekmény feleakkora, vagyis  $w$ .

A légcsvart hajthatja dugattyús motor, vagy gázturbina. Mindkét esetben a hajtómű a környezeti levegőt használja az energiaforrás egyik komponensként.

A légcsavaros hajtómű legjobban a viszonylag kis sebességű repülőgépeknél, légijárműveknél alkalmazható.

A gázturbinás sugárhajtómű főalkotó elemei a levegő szívócsatorna, a sűrítő vagy kompresszor, az égőkamra, a turbina és a fűvócső. Az égőkamrában, a sűrített levegőben elégetett üzemanyagból nyert energia egy részét a turbina átalakítja mechanikai energiává a kompresszor hajtására, a megmaradó rész a fűvócsőben átalakul mozgási energiává és tolóerőt fejt ki.

Ezt a hajtómű típust a közepes és nagy sebességű repülőgépeknél, robotrepülőgépeknél kerül alkalmazásra. (körülbelül 2-2,5 M tartományig)

Az ennél nagyobb sebességeknél már feleslegessé válik a turbókompresszor, mivel a szívócsatornában létesített torlónyomás, rekompreszió elegendő az égési reakció jó hatásfokú lefolyásához. Az ilyen típusú hajtóműveket hívjuk a torlósugar hajtóműnek.

Ez a propulziós rendszer csupán a levegő beömlőcsatormából, az égőtérből és a fűvócsőből áll. Mivel nincsenek benne nagy sebességgel forgó alkatrészek, mint a kompresszor, vagy a turbina, felépítése sokkal egyszerűbb, mint a gázturbinás sugárhajtóművéké. Ezzel szemben viszont nagy hátránya, hogy csak nagy sebességeknél (kb. kétszeres Mach szám elérése után) lehet beindítani. Emiatt a torlósugarhajtóművet mindig gázturbinás sugárhajtóművel vagy rakétahajtóművel kell társítani.

### **Levegőt nem nyelő hajtóművek**

A levegőt nem nyelő hajtóműveket leggyakrabban rakétahajtóműként szoktuk emlegetni. Vizsgáljuk meg mit is nevezünk rakétahajtóműnek.

"Olyan különleges sugárhajtómű, amely a működéshez nem a környező levegőt használja fel, hanem az üzemeltetéshez szükséges anyagot a fedélzeten

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

viszi magával. Ebből eredően a rakétahajtómű bárhol, még légüres térben is elő tud állítani tolóerőt. A rakétahajtómű lehet: kémiai, atom- és elektromos rendszerű. A kémiai rakétahajtómű munkaközege nagy hőmérsékletű gáz, a rakéta-hajtóanyag égésének v. nagyon gyors bomlásának a terméke. Ma még az atom-rakétahajtómű fejlesztési stádiumban van; az elektromos rakétahajtóművek pedig gyakorlatilag csak az irányító rendszerek orientációs egységeiben fordulnak elő." [14]

A fenti definíciót megvizsgálva a rakétahajtóműveket két csoportra oszthatók:

Az egyikben — a kémiai rakétahajtóművekben — az energiaforrás és a kiáramló tömeg szoros összefüggésben van egymással

A másikban a hajtómű energia forrása és a kiáramló tömeg nincsen olyan szoros összefüggésben egymással. Például használható az atomenergia vagy a napenergia. A kiáramló tömeget gyorsíthatjuk magas hőfokú gázkeverék expanziójával vagy esetleg elektromágneses tér segítségével.

Számunkra az első csoport a lényeges ugyanis a repülőfedélzeti rakétákban ezen az elven működő hajtóműveket alkalmazunk, mivel gyakorlati megvalósítása az ilyen típusú hajtóműveknek lehetséges viszonylag olcsón és egyszerűen. Ezek a hajtóművek azért is alkalmasak repülőfedélzeti rakétákban való alkalmazásra, mert rövid idő alatt képesek igen nagy sebességeket (akár 3-3,5 M) elérni, így igen nagy távolságokat rövid idő alatt megtenni.

A repülőgép-fedélzeti rakétákban alkalmazott rakétahajtóműveket a következőképpen csoportosíthatjuk:

RAKÉTAHAJTÓMŰ					
FOLYÉKONY HAJTÓANYAGÚ		SZILÁRD HAJTÓANYAGÚ		KOMBINÁLT HAJTÓMŰ	
EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ	EGYFOKOZATÚ	KÉTFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ

1. sz. táblázat  
A rakétahajtóművek felosztása

Ha csoportosítjuk a repülőgép-fedélzeti rakétákat, és megvizsgáljuk, hogy a különböző csoportokban milyen rakétahajtóművek fordulnak elő, akkor a következő következtetésre jutunk. Nem irányítható rakéták esetében kutatásaim során nem talákoztam csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel. Ez a rakéták viszonylag gyakori kis méretével és a hajtómű gyártási hibáiból adódó viszonylag kis szórásból és a hajtómű megbízható működéséből, olcsó

előalíthatóságából adódik. Az irányítható rakéták között különbséget kell tenni a légi harc és a felszín elleni rakéták között. A légi harc rakéták között sem találtam csak szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművet, míg a felszínelleni rakéták között igen nagy a választék. A rakéta harcászati jellegétől, vagy a hatótávolságtól illetve a rakéta méretétől függően ebben a csoportban megtalálható valamennyi korábban felsorolt hajtómű.

A felsorolt reaktív hajtóművek szinte bármilyen kombinációja előfordulhat a rakétákon és ennek függvényében beszélünk egyfokozatú, vagy kétfokozatú hajtóműről. Háromfokozatú hajtóművel egyelőre nem találkoztam, de létezését nem tartom kizártnak, mivel az elektronika igen gyors fejlődésével a lokátorok, egyéb felderítő eszközök hatótávolsága is fejlődik, ami lehetővé teszi az egyre nagyobb távolságból történő rakétaindítást.

A sajtóban robotrepülőgépként vagy cirkálórakétaként emlegetett eszközöknek gázturbinás sugárhajtóműve van esetleg utánégetővel, vagy nélküle. Éppen ezért ha a hajtómű oldaláról közelítjük meg az eszköz elnevezését, akkor a robotrepülőgép a jobb elnevezés, de legtöbb szakmai könyvben rakétaként írják ezekről az eszközökről. Nem tartom tisztelnak az elnevezések közötti ellentmondást feloldani csak rá szeretnék világítani, az elnevezések közötti ellentmondásra.

A hagyományos értelemben vett rakéták között találunk olyat, amelyik egyfokozatú, szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművel rendelkezik, melyek felépítését nem tervezem tárgyalni. Találunk viszont olyat, amelyik kétfokozatú hajtóművel rendelkezik, melyek közül az első fokozat — a gyorsító fokozat — szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű. Ezen rakéták második fokozata lehet levegőt nem nyelő, tehát a hagyományos értelemben vett rakétahajtómű, lehet viszont levegőt nyelő torlósugárhajtómű. Ezek között a hajtóművek között is megkülönböztethetünk folyékony és szilárd hajtóanyagú hajtóműveket.

## Szilárd és folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek rövid összehasonlítása

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű szerkezetét tekintve igen egyszerű. A szilárd hajtóanyagot — általában különféle lőporokat — hajtótöltet formájában,<sup>1</sup> a tüzelőtérben helyezik el, így tulajdonképpen a tüzelőtér egyben a hajtóanyagtartály, és egyben a rakéta törzse is.

Igen fontos előnye:

<sup>1</sup> lásd [15] Szilvássy László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézet Repüléstudományi Közlemények, X. évfolyam 25. szám 1998/2.



## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

- szerkezet, így a gyártása is egyszerű és viszonylag olcsó;
- a hajtótöltet állandóan a rakétában tárolható;
- az indításhoz való előkészítés időigénytelen.

### Hátrányai:

- mivel a hajtótöltet tárolótartálya a hajtómű működése során tüzelőtérre változik, és egyben a rakéta törzse is, így a fellépő nagy nyomást és hőmérsékletet a tervezéskor figyelembe kell venni, ami megnövelheti a tüzelőtér méretét;
- viszonylag kis fajlagos tolóerő;
- az égési folyamatot jelentősen befolyásolja a töltet kezdeti hőmérséklete;<sup>2</sup>
- nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oldható meg a hajtómű leállítása.

Figyelembe véve a felsorolt előnyeit — hátrányai ellenére — páncéltörő, tűzérzési, légvédelmi, repülőgép-, helikopter-, hajó- és tengeralattjáró-fedélzeti rakétákban is széleskörű alkalmazást nyert. A korszerű szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek legnagyobb fajlagos tolóereje 3000 N/kg, a legnagyobb tüzelőtérnyomásuk pedig mintegy 20 MPa.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművet gyakran alkalmazzák közepes ill. nagy hatótávolságú rakétafegyverekben. Az ilyen típusú hajtóművek szerkezete bonyolultabb, mint a korábban tárgyalt szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművéké. Általában hajtóanyag tartályból vagy tartályokból, hajtóanyag-táprendszerből, hajtóházból (tüzelőtér a fűvókával) és a hajtómű automatikából áll. A hajtóanyagtartályokban tárolt összetevőket (általában oxidálóanyagot és tüzelőanyagot) a táprendszer szállítja a tüzelőtérbe, ahol a meggyulladás után folyamatos égés játszódik le.

A hajtómű-automatika irányítja a hajtómű működését:

- a megindítását;
- az összetevők begyűjtését;
- a tüzelőtérbe betáplálendő hajtóanyag mennyiségének szabályozását;
- az összetevők egymáshoz viszonyított mennyiségének megváltoztatását;

<sup>2</sup> Töltet kezdeti hőmérséklete: a hajtótöltetek lényeges tulajdonsága. A töltethőmérséklet meghatározza a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek tolóerejét, ugyanis a kisebb hőmérsékletű hajtótöltet lassabban ég. A lassabban égés eredményeként egy időegység alatt kevesebb égéstermék keletkezik, tehát kisebb a tolóerő. A töltethőmérsékletnek -30 °C-ról +40 °C-ra való növelésekor a tolóerő, a hajtóanyag fajtajától függően, 40-60 %-kal növekedhet. A töltethőmérsékletet a löelemek megadásakor, illetve a szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek üzemeltetése során figyelembe kell venni. [14]

— a hajtómű leállítását.

A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek előnyös tulajdonságai:

- a szabályozás egyszerűsége és pontossága;
- a gyors és pontos leállítás lehetősége;
- viszonylag magas fajlagos tolóerő.

Hátrányai

- bizonyos típusú hajtóanyag-összetevőket sajátos tulajdonságuk miatt nem lehet a rakéta fedélzeti tartályaiban tárolni huzamosabb ideig;
- az előbbiből következően viszonylag nagy előkészítési idő;
- szerkezete meglehetősen bonyolult;

	Fajlagos tolóerő [Ns/kg]	Kiáramlási sebesség [m/s]	Tüzelőtérnyomás [MPa]
Szilárd hajtóanyagok	2500-3000	1000-2500	15-20
Folyékony hajtóanyagok	3500-4000	2500-4000	6-8

2. sz. táblázat  
Hajtóanyagok összehasonlítása

A különböző hajtóanyagú rakétahajtóművekről eddig leírtakat figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a gazdaságossági és kezelhetőségi szempontokat figyelembe véve látható, hogy a szilárd hajtóanyagformák térhódítása miatt olyan jelentős a repülőfedélzeti rakéták körében.

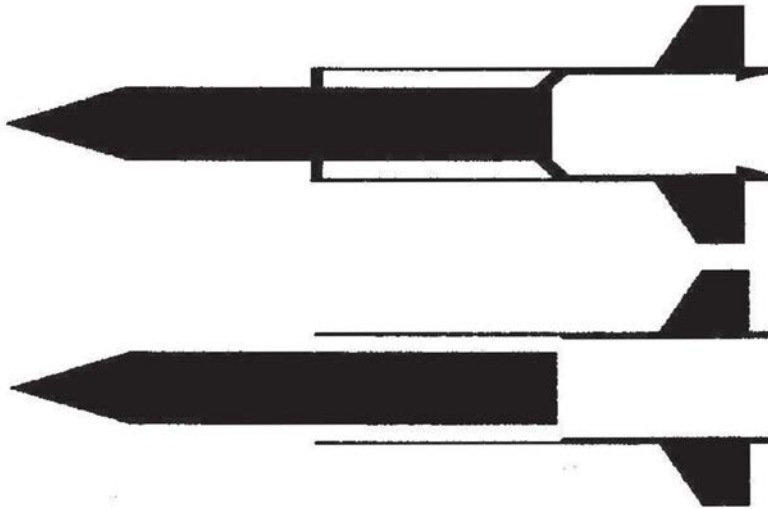
## Rakétákon alkalmazott torlósugarhajtómű felépítése

Torlósugarhajtóművel felszerelt rakéták különös ismertetője, hogy rendelkeznek valamilyen levegőbeömlő csatornával, vagy csatormákkal. Ismerek olyan rakétát, melynek a levegő beömlő csatornája külső megjelenésében a MiG-21 repülőgép beömlő csatornájára hasonlít. Ha jobban megvizsgáljuk a rakéta hajtóművének felépítését a hasonlóság fokozódik, ugyanis a rakéta második fokozata nem más, mint az egyik ismert MiG repülőgép utánégető fokozata, folyékony kerozin üzemanyaggal. Természetesen mire ez a hajtómű működésbe kezd a rakéta már közel 2 Mach sebességgel repül. Ezt a sebességet négy darab szilárd hajtóanyagú leváló rakétahajtómű biztosítja.

A másik igen gyakran alkalmazott torlósugarhajtómű felépítését tekintve eltér az előbb említettől. A különbség az, hogy a levegő beömlő csatorna a rakéta

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

testen kívül, az oldalán helyezkedik el. A leggyakrabban alkalmazott beömlőcsatorna szám a négy. Éppen ez az, ami nagyon sok félreértésre ad okot ugyanis felületes szemlélő számára ez a négy beömlőcsatorna úgy néz ki, mintha négy gyorsító fokozat lenne, amiről fentebb írtam. Az ilyen típusú rakétahajtómű általában közös hengeres testben nyer elhelyezést a gyorsító hajtóművel egymás mögötti elrendezésben. A rakéta indulásakor csak a gyorsító fokozat indul és viszonylag rövid idő alatt nagymennyiségű szilárd hajtóanyagot éget el, progresszív égéssel a rakéta gyorsításához. A gyorsító fokozat kiegészével egy időben indul a második menet vagy utazó fokozat, ami a kiegészítő hajtóműteret használja égőtérként, ahol megtörténik hajtóanyag elégetése a környező levegő segítségével. A levegő beömlő csatornák addig, míg a gyorsító fokozat működik lezárásra kerülnek egy speciális dugó segítségével. (lásd I. sz. ábra felső rajz) A dugókat a start hajtóműben uralkodó nagy nyomás tartja a helyükön mindaddig amíg a hajtómű nyomása magasabb mint a torlónyomás. Ez pedig a hajtómű kiegészékor következhet csak be. Ekkor a dugók a torlónyomás hatására beesnek az égőtérbe és rendszerint elégnak vagy távoznak a fűvókán keresztül. Az indító hajtómű kiegészével egy időben szükség van a fűvóka keresztmetszetének megnövelésére a menet hajtómű igényeinek megfelelően (lásd I. sz. ábra alsó rajz). Ezt a leggyakrabban egy lerobbantható fűvóka egységgel oldják meg. A menet hajtómű a hajtóanyag tekintetében lehet akár folyékony akár szilárd. Bármelyikről is legyen szó olyan összetételű, hogy az égés során felhasználásra kerülő oxigén csak egy részét tartalmazza így szükséges a külső levegő betáplálás a tökéletes égéshez.



I. sz. ábra  
A torlósugarhajtómű felépítése

SZILVÁSSY LÁSZLÓ, BÉKÉSI BERTOLD

Végezetül szeretnék néhány példát felsorolni az ismertebb rakétákon alkalmazott különböző rakétahajtóművekre. (Előre bocsátom, hogy a felsorolás csak olyan információt tartalmaz amely az irodalomjegyzékben felsorolt nyílt, szabadon hozzáférhető könyvekben, jegyzetekben fellelhető.)

	EGYFOKOZATÚ		KÉTFOKOZATÚ			
	SZILÁRD	FOLYÉKONY	ELSŐ FOKOZAT		MÁSODIK FOKOZAT	
			SZILÁRD	FOLYÉKONY	SZILÁRD	FOLYÉKONY
AA-1, -2, -3, -4	X					
AA-5, -6, -7, -8	X					
AA-6, -7, -8	X					
AS-4, -5, -6		X				
AS-15		X <sup>***</sup>				
SA-4, Ganef			X			X <sup>**</sup>
SA-6, Gainful			X		X <sup>*</sup>	
AS.11			X		X	
ASMP			X			X <sup>**</sup>
Kormoran			X		X <sup>*</sup>	
ANS			X		X <sup>*</sup>	
Martel			X		X	
Gabriel III A/S			X		X	
Penguin			X		X	
RB 05A				X		X
ACM		X <sup>***</sup>				
AGM-86B		X <sup>***</sup>				
AGM-84A Harpon		X <sup>***</sup>				
AMRAM, AIM-120	X					
ASAT			X		X	
Phoenix, AIM-54	X					
Sidewinder, AIM-9	X					
Sparrow, AIM-7	X					

\* torlósugár rakétahajtómű

\*\* kerozin hajtóanyagú, torlósugárhajtómű

\*\*\* gázturbinás sugárhajtómű

3. sz. táblázat  
Néhány rakéta és hajtóműve

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bill GUNSTON: Korszerű harci repülőgépek fegyverzet, Zrínyi Kiadó, Budapest, 1995.

## RAKÉTA HAJTÓMŰVEK

- [2] Haditechnika folyóirat 1996/3. szám
- [3] Haditechnika folyóirat 1997/4. szám
- [4] Hadtudományi lexikon CD-ROM, MHTT 1995, Scriptum Rt. 1998.
- [5] Idegen hedseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök, Magyar Honvédség kiadványa 1993, (Id/16 Szabályzat)
- [6] KAKULA János mk. őrnagy: Rakéták szerkezetana, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1989.
- [7] KAKULA János mk. őrnagy: Robbanóanyagok és a robbanás hatásai, Főiskolai jegyzet, KGyRMF, Szolnok 1990.
- [8] DR. LUKÁCS László: Katonai robbantástechnika és a környezetvédelem, ZMNE HTK, 1997.
- [9] MiG-29 publication by 4+ Publishing Co., Praha, 1995.
- [10] Militair folyóirat I. évf./ 1. szám, Triak gmk, 1996. május
- [11] Militair folyóirat I. évf./ 2. szám, Triak gmk, 1996. június
- [12] NAGY István György-SZENTESI György: Rakétafegyverek űrhajózási hordozórakéták, Típuskönyv, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
- [13] PAPP Bálint-NAGY István György-DR. TAMÁSI Zoltán: Rakétafegyver, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1962.
- [14] SÁRHIDAI Gyula: Robotrepülőgépek, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1986.
- [15] SZENTESI György: Hadászati rakéták, Haditechnika fiataloknak Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1987.
- [16] SZILVÁSSY László: Repülőgép-fedélzeti rakéták hajtóműveiben alkalmazott hajtóanyagok, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 1998/2. (43-50) o.
- [17] О. А. ИЛЬИНА: Авиационное вооружение, Военное Издательство Министерство Обороны СССР, Москва, 1977.
- [18] Н. Е. КОНОВАЛОВ, Н. И. МЕЛИК-ПАШАЕВ: Теория авиационных двигателей Часть III. Прямоточные ВРД и ракетные двигатели, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1974.
- [19] Р. С. САРКИСЯН: Авиационные боеприпасы, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1978.
- [20] В. А. ЧУМАКОВ: Авиационные ракеты, ВВИА им. П. Е. Жуковского, Москва, 1974.

*The purpose of the authors is to review rocket engine propellants of on-board missiles and their composition, and also ramjet engine.*





# EGYFORGÓSZÁRNYAS FAROKLÉGCSAVAROS HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

**Varga Béla egyetemi tanársegéd  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Vezetés-és szervezéstudományi kar  
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék**

*Az egyforgószárnyas faroklégcsavaros helikopterek súlypont vándorlási tartománya a forgószárny lapátok, a forgószárny agy, és a vezérlés paramétereitől függ. A súlypont vándorlás tartományának vizsgálata mind szerkezeti, mind aerodinamikai problémákat felvet. Ebben az előadásban szeretném összefoglalni, rendszerezni és kiegészíteni ezeket az ismereteket. A probléma szemléltetése érdekében egy konkrét helikopterre (MI-8) elvégzem a súlypont, súlypont vándorlás tartományának vizsgálatát.*

## 1. BEVEZETŐ

A helikoptereknél, ellentétben a merevszárnyú repülőgépekkel a súlypont helyzet nem befolyásolja a helikopterek statikus stabilitását. Itt a lehetséges szélső súlyponti helyzeteket a botkormány (vezérlőautomata) kiteríthetősége határoolja. Természetesen ezeket a szélső súlyponti helyzeteket úgy kell megállapítani, hogy a helikopter vezető ezekben a szélső súlyponti pozíciókban is elegendő kormányzási tartalékkal rendelkezzen.

Ha a különböző rendeltetésű helikoptereket vizsgáljuk azt látjuk, hogy alapvetően a szállító helikoptereknél fontos a súlypont vándorlás tartományának a lehetőségek szerinti növelése. Harci helikoptereknél ugyanis a súlypont helyzetet csak két tényező befolyásolhatja jelentősen, a betöltött és repülés közben fogyó tüzelőanyag, illetve a függesztett fegyverzet. A fegyverzet függesztésénél általában lehetőség van a függesztő pontok súlypont közeli elhelyezésére, tehát a függesztés nem befolyásolja jelentősen a helikopter súlypont helyzetét. A tüzelőanyag tartályoknál is megoldás lehet a tüzelőanyag tartályok súlypont közeli elhelyezése. Itt problémákat okozhat,

hogy romlik a helikopter harci túlélő képessége. Széthelyezett tüzelőanyag tartályok esetén a kifogyasztási sorrend szabályozásával el lehet érni, hogy a súlypont vándorlás minimális legyen a tüzelőanyag kifogyása közben.

Szállító, vagy vegyes rendeltetésű helikoptereknél azonban a teherterbe történő rakodásnál, vagy a szállítandó személyek elhelyezésénél jelentősen nehezíti a rakodást végző személyzet helyzetét ha kicsi a helikopter súlypont vándorlási tartománya. Minden egyes szállított tárgynak pontosan ismerni kell a súlyát és a súlyponti helyzetét. Mindezeket figyelembe véve kell elkészíteni a berakodási tervet, gondosan ellenőrizve, hogy az előírt súlypont határokon belül van-e a terhelt helikopter súlypontja. természetesen ez annál bonyolultabb feladat minél kisebb lesz a rendelkezésre álló súlypont vándorlási tartomány.

## 2. A HELIKOPTER SÚLYPONT HELYZETE.

A helikopter súlypontját a forgószárny tengelyhez, illetve a forgószárny egy forgási síkjához képest definiáljuk. Esetünkben az 1. ábrán az "x" tengely a forgószárny egy forgási síkjának és a helikopter szimmetria síkjának metszés vonalába, az "y" tengely pedig a forgószárny tengely vonalába esik. Tehát a súlypontot ezekhez a tengelyekhez képest határozhatjuk meg. Az egyszerűség kedvéért az "y" tengelynél lefelé vesszük fel a pozitív értékeket, tehát a helikopter függőleges súlyponti helyzete mindig pozitív. A függőleges súlyponti helyzet koordinátáját ennek megfelelően "y<sub>sp</sub>"-vel jelöljük. A vízszintes súlyponti helyzet megadásánál általánosan elfogadott, hogy a forgószárny tengely elé eső súlyponti helyzetet pozitívnak, a forgószárny tengely mögé eső súlyponti helyzetet pedig negatívnak tekintjük. Jele "x<sub>sp</sub>". A helikopter súlypont helyzete természetesen "z" tengely irányába is elcsúszhat és ennek megfelelően értelmezhetjük "z<sub>sp</sub>" koordinátát is. A gyakorlati tapasztalat azonban azt mutatja, hogy a kereszt irányú és a függőleges súlyponti helyzet az üzemeltetés során (rakodás, tüzelőanyag kifogyás) nem szokott olyan mértékben megváltozni, amely érdemben befolyásolná a helikopter repülési paramétereit. A hosszirányú súlyponti helyzet beállításánál viszont szigorúan be kell tartanunk az üzemeltetési utasítás előírásait, amely előírja számunkra a lehetséges maximális elülső és hátulsó súlyponti helyzetet. Ez azt jelenti, hogy a terhelt helikopter súlyponti helyzetének az előírt súlypont vándorlás tartományán belül kell lennie. Ez alapján a továbbiakban a helikopter hosszirányú súlyponti helyzetével foglalkozom.

## 2.1. A HELIKOPTER SÚLYPONT VÁNDORLÁSI TARTOMÁNYÁNAK MEGHATÁROZÁSA.

Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a helikopter függést hajt végre. A hosszirányú súlypont vándorlás tartományának meghatározásakor a helikopter egyensúlyi helyzetéből kell kiindulni. Ez azt jelenti, hogy a helikopterre ható erők és nyomatékok összege zérus lesz.

Vizsgáljuk meg a helikopterre ható "z" tengely körüli nyomatékokat:

$$M_{\text{törzs}} + M_{\text{stab}} + M_{\text{rflcs}} + M_T = 0 \quad (1)$$

- \*  $M_{\text{törzs}}$ : a törzs nyomatéka, ez általában faroknehéz nyomatékot ad;
- \*  $M_{\text{stab}}$ : a stabilizátor nyomatéka, függés közben faroknehéz nyomatékot ad;
- \*  $M_{\text{rflcs}}$ : a faroklégszavár reakció nyomatéka, előre forgó faroklégszavárnál szintén faroknehéz nyomatékot ad;
- \*  $M_T$ : a vonóerő nyomatéka, értelemszerűen orrnehéznek kell lennie a nyomatéki egyensúly megteremtése miatt. Ez a nyomaték egyensúlyozza ki az előző három nyomaték eredő nyomatékát.

Elemezzük, hogy hogyan reagál a helikopter ilyen feltételek mellett súlyponti helyzetének megváltozására.

### 2.1.1. Központi vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

A helikopter súlyponti helyzetének megváltozásakor úgy reagál, mint egy fizikai inga. A fizikai ingának az a jellegzetessége, hogy nyugalmi állapotban súlypontja a felfüggesztő erő hatásvonalába esik. Ugyanez történne a helikopter esetében is, ha a helikopterre nem hatnának az előző bekezdésben felsorolt nyomatékok ( $M_{\text{törzs}}$ ;  $M_{\text{stab}}$ ;  $M_{\text{rflcs}}$ ). Ha ezen nyomatékok összege zérussal lenne egyenlő, akkor a forgószárny tengelyhez képesti bármely súlyponti helyzet esetében a súlypont a vonóerő hatásvonalába esne. Vagyis ez azt jelenti, hogy a helikopter törzse fog megdőlni előre, illetve hátra a helikopter súlyponti helyzetének megváltozásakor.

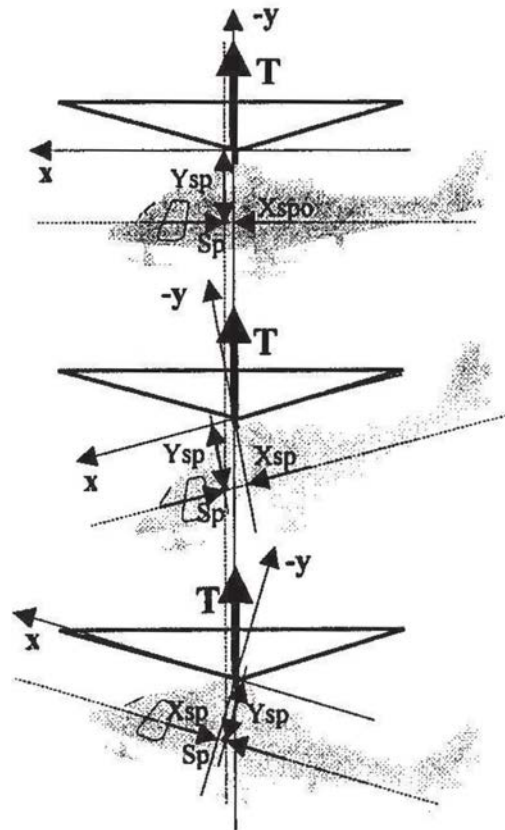
Nem sokat változik a helyzet akkor sem, ha a fenti három nyomaték összege nem zérus. Ebben az esetben a súlypont egy, az eredő nyomaték által meghatározott távolságra kerül a forgószárny vonóerő hatásvonalától és bármely forgószárny tengelyhez képesti súlyponti helyzetben ez a távolság változatlan marad, ha a fenti három nyomaték eredő nyomatéka változatlan



marad. Lásd 1. ábra, ahol látható, hogy a helikopter súlyponti helyzetének változásakor a súlypont a szaggatott vonalon marad. Ez a kar /a folyamatos és a szaggatott vonal közötti távolság/ teszi lehetővé a vonóerő segítségével a nyomatéki egyensúly megteremtését.

Vizsgáljuk meg az 1. ábra három helikopter rajzát. Ez a három helikopter ábra három jellegzetes helyzetet ábrázol.

A legfelső helikopternél egy optimális súlyponti helyzetet láthatunk. Ez a forgószárny tengelyéhez képest egy minimális mellső súlyponti helyzetet jelent. Gyakorlatilag ez az a súlyponti helyzet amely semleges vezérlőautomata (botkormány) helyzettel fenntartható. A törzs közelítőleg vízszintes lesz.



1. ábra

Egyforgószárnyas faroklégcsavaros központi vízszintes csuklóval szerelt helikopter viselkedése súlypont helyzetének változásakor.



## HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

A második és a harmadik helikopter rajzon azt láthatjuk, hogy a súlypont ehhez az optimális súlyponti helyzethez képest előre, illetve hátra tolódik. A helikopter törzse ennek megfelelően a forgószárny forgáskúpjához képest előre, vagy hátra megdől. Ez természetesen csak viszonylagos, mert tulajdonképpen a helikopter vezetője dönti előre, vagy hátra a forgáskúpot a törzshöz képest a botkormány /vezérlőautomata/ segítségével, hogy a különböző súlypont helyzeteknél az egyensúlyi helyzetet fenntartsa. Már ebből is kiderül, hogy a súlypont határokat a vezérlőautomata kitérítetősége határolja.

Nézzük meg, hogy milyen összefüggés van a helikopter súlyponti helyzete és a törzs megdőlése (vagy másként a forgáskúp törzshöz képesti dőlése) között.

Az 1. ábrát vizsgálva a következő összefüggéseket láthatjuk:

$$x_{sp} = \frac{x_{sp0}}{\cos \delta} + y_{sp} \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

- \*  $\delta$  : a forgáskúp megdőlése a törzshöz képest /a vonóerő hatásvonala és az "y" tengely által bezárt szög/. Pozitívnak tekintjük  $\delta$  értékét a törzs előre dőlésekor.
- \*  $x_{sp0}$  : az 1. ábra első helikopter rajzán látható úgynevezett optimális súlyponti helyzet.

Mivel  $\delta$  értéke kicsi így:  $\cos \delta \approx 1$  és  $\operatorname{tg} \delta \approx \delta$

Tehát jó közelítéssel használhatjuk a következő összefüggést:

$$x_{sp} = x_{sp0} + y_{sp} \cdot \delta \quad (3)$$

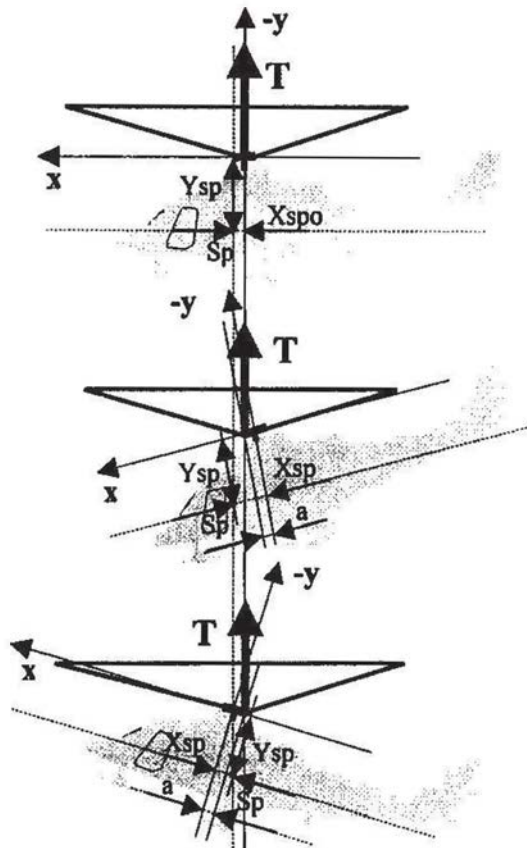
### 2.1.2. Széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

Széthelyezett vízszintes csuklók esetén a lehetséges súlypontvándorlási tartomány nő. Ezt az okozza, hogy a vonóerő hatásvonala is eltolódik az agy középpontjából a forgáskúp megdőléseivel ellentétes irányba. A vonóerő hatásvonala és a súlypont közötti távolság ez esetben is változatlan marad a nyomatéki egyensúly fenntartása miatt, mint, ahogy az a második ábrán látható.

Vizsgáljuk meg ebben az esetben milyen összefüggés van a helikopter súlypont helyzete és a forgáskúp dőlése ( $\delta$ ) között.

$$x_{sp} = x_{sp0} + y_{sp} \cdot \delta + a \quad (4)$$

\* a: a vonóerő támadáspontjának "x" koordinátája. Lásd a második és a harmadik ábrát..



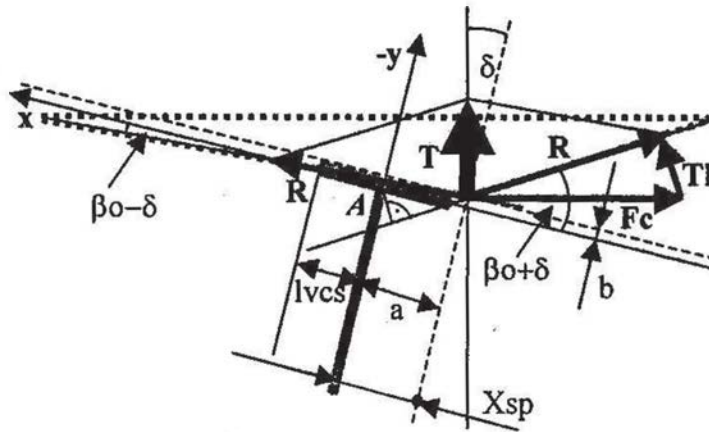
2. ábra

Egyforgósárnyas faroklégcsavaros széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt helikopter viselkedése súlypont helyzetének változásakor.

Az "a" távolság meghatározásakor a következő gondolatmenetet követtem. Az egyszerűség kedvéért először kétlapátos forgósárnyat vizsgáltam.

Először felírtam a harmadik ábra "A" pontjára ható nyomatékokot. Tulajdonképpen ezt szoktuk nevezni a vízszintes csuklók széthelyezéséből származó nyomatéknak.

$$M_A = R \cdot l_{vcs} \cdot \sin(\beta_0 + \delta) - R \cdot l_{vcs} \cdot \sin(\beta_0 - \delta) \quad (5)$$



3. ábra

A vonóerő hatásvonalának eltolódása a forgáskúp megdöntésekor széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

A trigonometrikus átalakítások után:

$$M_A = 2 \cdot F_c \cdot l_{vcs} \cdot \cos^2 \beta_0 \cdot \sin \delta \quad (6)$$

Többlapátos forgószárnyra:

$$M_A = z \cdot F_c \cdot l_{vcs} \cdot \cos^2 \beta_0 \cdot \sin \delta \quad (7)$$

Ezt a nyomatékot a harmadik ábra alapján a következőképpen is felírhatjuk:

$$M_A = T \cdot \cos \delta \cdot a - T \cdot \sin \delta \cdot b \quad (8)$$

- \*  $M_A$  : a vízszintes csuklók széthelyezéséből az agy középpontjára ható nyomaték;
- \*  $R$  : a forgószárny lapátra ható eredő erő (az eredő erő meghatározásánál a lapát súlyerőt nem vettem figyelembe, mivel értéke a centrifugáliserőhöz és a lapát vonóerőhöz képest elhanyagolható);
- \*  $F_c$  : a lapátra ható centrifugális erő;
- \*  $T$  : a forgószárny vonóereje;
- \*  $T_1$  : lapát vonóerő

VARGA BÉLA

- \*  $l_{vcs}$  : a forgószárny tengely és a vízszintes csukló közötti távolság, (a vízszintes csuklók széthelyezése);
- \*  $\beta_0$  : a lapátok felcsapási szöge;
- \*  $b$  : a vonóerő támadáspontjának "y" koordinátája, lásd a 3. ábrát.

$\delta$  és  $\beta_0$  kis értékei miatt a következő egyszerűsítéseket elfogadhatjuk.  
 $\cos^2 \beta_0 \approx 1$ ;  $\sin \delta \approx \delta$ ;  $\cos \delta \approx 1$ ;  $T \cdot \sin \delta \cdot a \approx 0$ ; illetve  $T \approx G$ .

Az "a" távolság meghatározásakor tehát jó közelítéssel használhatjuk a következő összefüggést:

$$a = \frac{z \cdot l_{vcs} \cdot F_c \cdot \delta}{G} \quad (9)$$

A súlypont koordinátája a (4) és a (9) összefüggés alapján a következő:

$$x_{sp} = x_{sp0} + \left( y_{sp} + \frac{z \cdot l_{vcs} \cdot F_c}{G} \right) \cdot \delta \quad (10)$$

- \*  $G$ : a helikopter súlya.

Mivel a forgáskúp dőlésének szöge ( $\delta$ ) a vezérlőautomata (botkormány) helyzetétől függ, így az elméleti szélső súlyponti helyzeteket amikor még függést lehet végrehajtani a helikopterrel a vezérlőautomata (botkormány) szélső helyzeteinek megfelelő forgáskúp dőléssel ( $\delta$ ) lehetne számítani a (3). vagy a (10). egyenletek segítségével a két különböző kialakítású helikopterre. Természetesen az üzemeltetési utasításokban a súlypont határokat ennél jóval szűkebben határozzák meg, hiszen mind az első, mind a hátsó súlyponti helyzetek esetében megfelelő kormányzási tartaléknak kell maradnia.

Szakirodalom szerint, lásd [Dr. Óvári Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverezőképességét javító sárkány szerkezeti megoldások.], egyforgószárnyas faroklégszaváros stabilizátorral ellátott helikoptereknél a súlypont helyzettel kapcsolatos adatokat statisztikailag elemezve a következő összefüggéssel határozhatók meg a jellegzetes súlyponti koordináták.

$$x_{sp} = y_{sp} \cdot \phi \quad (11)$$

- \* Optimális súlyponti helyzet ( $x_{sp0}$ ) :  $\phi = 3^0$
- \* Maximális mellső súlyponti helyzet ( $x_{spm}$ ) :  $\phi = 6^0$
- \* Maximális hátsó súlyponti helyzet ( $x_{sph}$ ) :  $\phi = -2^0$

## HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

$\phi$  értékeit természetesen radiánban kell behelyettesítenünk a (11). összefüggésbe. Konkrét típusok esetében az üzemeltetési utasításban meghatározott szélső súlyponti koordináták természetesen ettől többé kevésbé eltérhetnek.

### 2.2. A MI-8 HELIKOPTER SÚLYPONT HELYZETÉNEK ÉS SÚLYPONT VÁNDORLÁSI TARTOMÁNYÁNAK ELEMZÉSE.

A súlypont helyzet, illetve a súlypont vándorlási tartomány elemzéséhez első lépésben össze kellett gyűjtenem a forgószárny agyra, lapátokra és a vezérlésre vonatkozó adatokat. Ezek jelentős része fellelhető volt a helikopter műszaki leírásában, üzemeltetési utasításában, illetve néhány esetben le kellett mérnem a szükséges geometriai méreteket.

A lapát súlypont meghatározását az segítette, hogy a Műszaki Kiszolgálási Utasításban rögzítve van, hogy a le és fellapátózásnál a lapát súlyponti emelésénél mely szekciónál kell rögzíteni az emelődaru speciális lapátbefogó részét.

A vezérlőautomata ( $\eta$ ) és a forgáskúp dőlése ( $\delta$ ) közötti összefüggést a forgószárny lapátok egykúpon futás beállításának tanulmányozásával lehetett meghatározni. Az egykúpon futás beszabályozásának leírásában rögzítve van, hogy a lapát beállító rudazat hosszának egységnyi megváltoztatásával a lapátvég mennyivel kerül fentebb, vagy lentebb. Teljesen mindegy, hogy a lapátvég emelkedését, vagy súlyyedését a rudazat hosszának megváltoztatásával, vagy a vezérlőautomata megdöntésével hozom létre.

A vezérlőautomata sugarának ismeretében könnyedén meghatározható, hogy a vezérlőautomata  $\eta=1^\circ$ -os megdöntése milyen lapátvég emelkedést, illetve hozzá képest  $180^\circ$ -ra milyen lapátvég súlyyedést hoz létre. Az eredeti lapát helyzet és az új lapát helyzet közötti szög pedig pont a forgáskúp dőlését ( $\delta$ ) adja meg.

Az üres helikopter súlyponti helyzete  $\sim +0,08\text{m}$ . Ez körülbelül megfelel az optimális súlyponti helyzetnek, vagyis a helikopter ebben az esetben semleges vezérlőautomata helyzettel tud megfuggeni. Mivel a forgószárny  $4^\circ 30'$ -re előre van döntve a törzshöz képest, így a törzs ennél a súlyponti helyzetnél ezzel a  $4^\circ 30'$ -el hátra dől. Ez a súlyponti helyzet természetesen meg fog változni ha terheljük a helikoptert. Látszik a (10). egyenlet alapján, hogy a súlypont és a vezérlőautomata (botkormány) helyzet közötti összefüggést a helikopter felszálló súlya és a függőleges súlyponti helyzet is befolyásolja, mégpedig úgy,



hogy minél nagyobb a felszálló súly, illetve minél kisebb a függőleges súlyponti koordináta annál nagyobb lesz az egységnyi súlypont vándorláshoz tartozó szükséges vezérlőautomata (botkormány) kitérítés a helikopter egyensúlyi helyzetét feltételezve. Természetesen terheléskor mind a felszálló súly, mind a függőleges súlyponti helyzet változni fog. Feltételezve a súlypont vándorlási tartomány szempontjából a legrosszabb helyzetet, miszerint a helikopter túlterhelt állapotban,  $G=120000N$  felszálló súllyal emelkedik el, valamint a függőleges súlyponti koordinátája nem nő az üres helikopteréhez képest (ez szinte kizárt, mivel a teher súlypontja az üres helikopter súlypontja alá esik) abban az esetben a következő jellemző súlyponti helyzetek és hozzá tartozó vezérlőautomata (botkormány) helyzetek adódnak.

$x_{sp}$ (m)	0,761	0,37	0,08	-0,08	-0,666	0,873
$\eta$ (fok)	5	2,13	0	-1,18	-5,48	-7
$\delta$ (fok)	7,87	3,35	0	-1,85	-8,63	-11,02
Megjegyzés	A botkormány hátsó helyzetben van, megszűnt a kormányzási tartalék.	Az üzemeltetési utasításban megengedett maximális mellső súlyponti helyzet.	Az üres helikopter (optimális) súlyponti helyzete, semleges vez.automata helyzet.	Az üzemeltetési utasításban megengedett maximális hátsó súlyponti helyzet.	A botkormány előre megy, de szélső helyzete előtt az elől lévő lapátok alsó ütközőre érnek.	A botkormány hátsó helyzetben van, megszűnt a kormányzási tartalék, szerkezeti károsodás.

1. táblázat

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Természetesen a súlypont csak az üzemeltetési utasításban megadott, az 1. táblázatban vastag dőlttel szedett tartományban mozoghat. A súlypont vándorlás ebben a tartományban a vezérlőautomata mozgás tartományának 27,5%-át igényli. Azonban tanulságos megnézni a táblázat alapján, hogy a megengedett súlypont vándorlási tartományon kívüli súlypont helyzet esetén milyen problémák adódnak. Látszik, hogy a súlypont beállításnál néhány tíz centiméteres tévedés is súlyos kormányzási és szerkezeti problémákat okozhat.

## IRODALOM JEGYZÉK

- [1] -DR ÓVÁRI Gyula: Helikopter Szerkezettan I., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1986.
- [2] -DR ÓVÁRI Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverező képességét javító sárkányszerkezeti megoldások., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1990.
- [3] -SZELESTYEI Gyula: Áramlástan III., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1974.

*Range of wandering of the centre of gravity of single-rotary-wing and tail-propellerhelicopters depends on the parameters of the rotor wing blades, as well as of the rotor wing hubs and on the control parameters. Studying the range of wandering of the centre of gravity, the researcher has to take into consideration both structural and aerodynamical respects. The purpose of my presentation is to summarize and systematize the theory concerning the topic and also to give some additional remarks to it. In order to illustrate the theoretical question, I give the testing result of range of wandering of the centre of gravity of a particular (MI-8) helicopter.*



## **MECHANICAL AND OPTICAL LASER GYROS**

**Bertold BÉKÉSI**  
**Senior Lecturer**

**"Miklós Zrínyi" National Defence University**  
**Faculty of Management and Command**  
**Department of Aircraft Onboard Systems**

*Keywords: mechanical gyros, Murata's Gyrostar, optical gyros, Canterbury Ring Laser C-I.*

### **COMPARISON OF MECHANICAL AND OPTICAL LASER GYROS**

This subsection briefly discusses the gyroscope, or gyro, the rotational-motion inertial sensor. There are two main branches of gyroscope design: mechanical gyros that operate using the inertial properties of matter, and optical gyros that operate using the inertial properties of light. Mechanical gyros, at present, are more commonly available for the types of applications discussed in this paper. Optical gyros are typically more expensive than mechanical gyros and are currently developed primarily for navigational applications.

Original gyro designs, called gimballed systems, were based on the preservation of rotational momentum and consisted of a spinning disk or rotor connected to the moving body of interest by low-friction gimbals. When the body underwent rotation, the spinning rotor maintained its original orientation (preserving its angular momentum). Today's mechanical gyroscope designs are more commonly of the vibrating type. Instead of using angular momentum to sense when they rotate. This is accomplished by establishing an oscillatory motion orthogonal to the input axis in a sensing element within the gyro. When the sensor is rotated about its input axis, the vibrating element experiences Coriolis forces in a direction tangential to the rotation (orthogonal to the vibratory and rotating axes).

BERTOLD BÉKÉSI

The double tuning fork gyro (Figure 1.) is a popular vibrating gyro design. This sensor two pairs of tines, with each pair having the same orientation. The double tines are made to oscillate antiphase, which yields no net motion but provides a varying radius about the input axis. When a tuning fork gyro is made to rotate about its input axis, its tines undergo sinusoidally varying Coriolis forces in the direction normal to the driven motion of the tines. When the tines are subjected to these Coriolis forces, they oscillate in the same direction as the forces. These oscillations are detected by the sensing elements of the gyro. Tuning fork gyros may use piezoelectric, piezo resistive, magnetic, or other types of sensing elements.

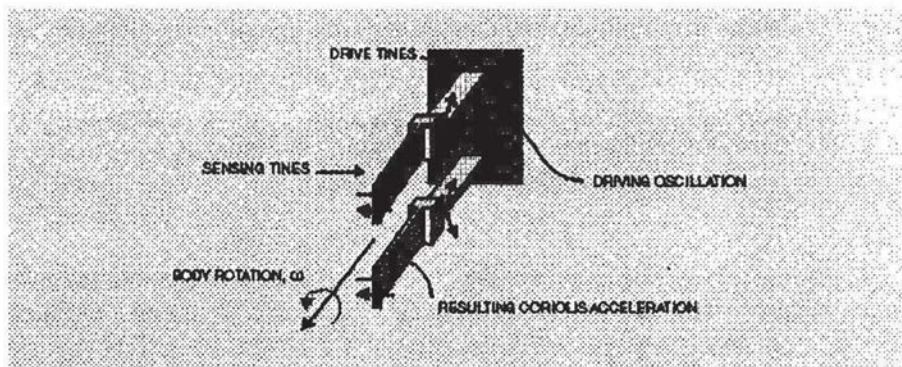


Figure 1.  
A tuning fork gyro

A gyro design using principles similar to the tuning fork design is a vibrating gyro whose cross section is an equilateral triangle. Murata Electronics Corporation's vibrating gyroscope, the Gyrostar<sup>1</sup>, employs this design.

Figure 2. shows cross-sectional views of the gyro while at rest and while rotating. This design uses three piezoelectric ceramic elements, one attached to each outer wall. One driving element, C, is made to oscillate and the two other, A and B, act as sensors. The output signal of this device is the difference between A's signal and B's signal.

$$output(t) = a(t) - b(t)$$

<sup>1</sup> Trademark or registered trademark of Murata Electronics Corporation  
286



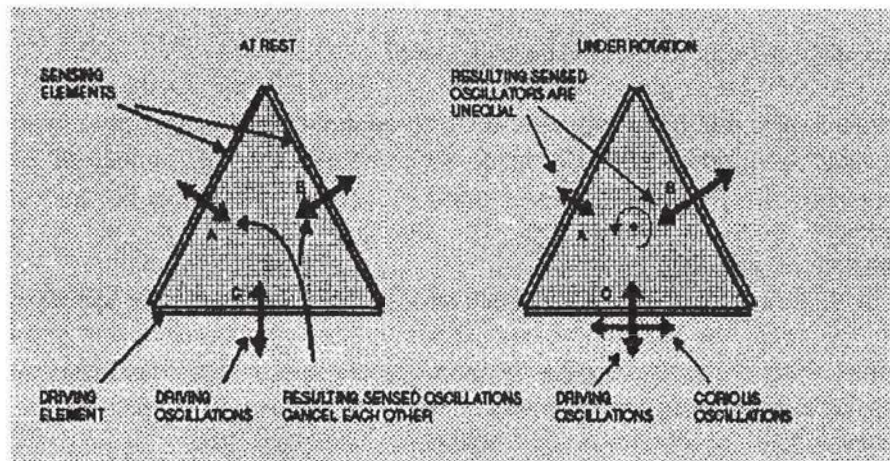


Figure 2.  
Murata's Gyrostar

When the gyro is at rest, the signals at A and B are equal, and therefore there is zero output, but under rotation, C experiences Coriolis forces, and there is a sinusoidally varying difference between A and B whose amplitude is proportional to the rotation rate. [7]

In addition to vibrational gyros, the main gyroscopes operate based on "The Sagnac Effect". These sensors use two light waves, travelling in opposite directions around a fixed path. When the device is rotated, the light wave travelling against the direction of rotation will complete a revolution faster than the light wave travelling with the rotation. This effect is detected by means of the phase difference in the two light waves. The ring laser gyro (RLG), zero lock-ring laser gyro (ZLG), and the interferometric fiber optical gyro (IFOG) are the main types of optical gyros currently being developed.

## A BRIEF HISTORY OF RING LASER GYROS.

In the early days of lasers, it was predicted that when two laser beams are made to oscillate in the same optical cavity that encloses an area (a triangle, a square), such that they propagate in opposite directions around the periphery, their frequencies would differ slightly if such a cavity would rotate around an axis normal to the cavity plane. Such a cavity is called a ring laser. (In a linear laser

*BERTOLD BÉKÉSI*

with a cavity made of two opposing mirrors, any effect of the rotation would not be visible.)

What is the physics behind the ring laser gyro?

The Sagnac effect in a ring laser is the frequency difference that arises between counterrotating modes when the whole system is rotating. The co-rotating mode shifts to the red, the counterrotating mode to the blue. Measuring the frequency difference gives the rotation rate. The frequency difference is also the beat frequency. [1, 4, 5, 10]

Or said in another way, a ring laser senses any nonreciprocity in the effective path length of the counter-rotating beams, induced for example by absolute rotation. The two modes consist of one clockwise and counter-clockwise mode which form a standing wave pattern, with (in the Canterbury ring Figure 3) approximately 11 million nodes and antinodes, inside the cavity.

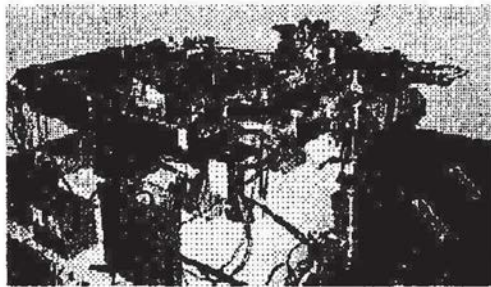
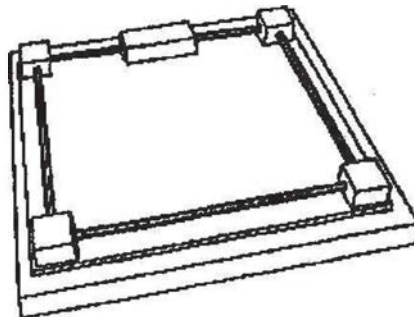


Figure 3.  
The Canterbury I ring laser (C I).

Its area is 0.7547 square meter, the perimeter is 3.477 meter, the mounting base of Zerodur is 1 meter x 1 meter x 0.025 meter, the granite slab underneath is about 300 kg. [6, 10]





MECHANICAL AND OPTICAL LASER GYROS

The idea of a ring laser was put to the test by W. Macek of Sperry-Rand in 1963. Their square ring demonstrated the Sagnac frequency splitting, but only after additional rotation beyond what is called the lock-in frequency. The two beams that were supposed to show a frequency difference of some tens of Hertz due to the earth's rotation, synchronised instead. The lock-in frequency is the rotational frequency at which you start to see the Sagnac effect.

The potential of such ring lasers to measure rotation was seized, and the (ring) laser gyro industry soon produced viable inertial navigation instruments. Typically, they have perimeters of the order of one-half to three decimetres. All work with the Helium-Neon gas mixture as an amplifying medium at the vacuum wavelength of 633.0 nanometer, and the amplifying plasma is dc-excited [3, 5].

The Ring Laser Gyro (RLG) can be used as the stable elements (for one degree of freedom each) in an inertial guidance system. The advantage of using a RLG is that there are no moving parts. Compared to the conventional spinning gyro, this means there is no friction, which in turn means there will be no inherent drift terms. Additionally, the entire unit is compact, lightweight and virtually indestructible, meaning it can be used in aircraft. [2, 9]

Some examples of commercially available optical gyros are Hitachi's IFOG models HGA-V and HGA-D. Compared with the vibrational gyros mentioned above, these IFOGs are fairly large and expensive, but they exhibit superior bias stabilities (see Table 1.) [7, 8].

Make/Model	Type	Input Range (deg/s)	3dB Bandwidth (Hz)	Output Noise 12Hz (deg/s)	Bias Stability	Price Range (SU.S.)	Size (in)
Murata Gyrostar	vibrating piezoelectric	0 to $\pm 90$	0 to 7	0.45	0.9deg/10min	80-300	0.8x0.3x0.3
Systron Donner GyroChip II.	double tuning fork	0 to $\pm 100$	0 to 50	0.17	0.05deg/sec	1000	2.7x1x0.75
Watson Industrial ARS-C132-1A	tuning fork	0 to $\pm 100$	0 to 50	0.05	10deg/sec	700-800	2x3x1
Hitachi HGA-V	IFOG	0 to $\pm 60$	not available	not available	5.0deg/ $\sqrt{hr}$	1500	3x3x1
Hitachi HGA-D	IFOG	0 to $\pm 60$	not available	not available	1.3deg/ $\sqrt{hr}$	1250	6.7x4.7x2

Table 1.  
Summary of selected gyroscopes

## CONCLUSIONS

What is the promise behind optical gyros as opposed to mechanical gyros?

They promised to be less expensive and more accurate than mechanical gyros, as the basic limitation to laser gyro sensitivity is the quantum noise of the beams. They also did not show a variety of drawbacks of mechanical gyros, mainly due to the fact that no mechanical rotating parts are involved in ring lasers.

They have a very high resolution. We can measure to within milliseconds in the length of the day. This is beyond the capability of mechanical gyros.

## REFERENCES

- [1] Байбородин Ю. В.: Основы лазерной техники Высшая школа, Киев, 1988.
- [2] ED BY MONTE ROSS: Laser Applications Academic Press, New York and London, 1971.
- [3] ПЕЛЬПОР Д. С.: Гироскопические системы, Высшая школа, Москва, 1988.
- [4] ПЕЛЬПОР Д. С., ОСОРКИН Ю. А., РАХТЕНКО Е. Р.: Гироскопические приборы систем ориентации и стабилизации, Машиностроение, Москва, 1977.
- [5] SZABOLCSI Róbert: Navigációs rendszerek, Szolnoki Repülőtiszt Főiskola, Főiskolai jegyzet, Szolnok, 1994.
- [6] Canterbury Ring Laser Gyro C-I:  
[http://www.phys.canterbury.ac.nz/research/ring\\_laser/ring-c1.html](http://www.phys.canterbury.ac.nz/research/ring_laser/ring-c1.html)
- [7] Inertial Proprioceptive Devices: Self -motion-...  
<http://www.almaden.ibm.com>
- [8] T. Nakamura : Vibration Gyroscope Employs Piezoelectric Vibrator, Journal of Electronic Engineering, 99-104 (September 1990).
- [9] Ring Laser Gyro :  
<http://web.wse.nadn.navy.mil/wse/academic/courses/es310/supplem/rlg.htm>
- [10] World's largest ring laser gyro will measure earth rotation  
<http://www.spie.org/web/oer/september/sep96/gyro.html>

**„G” SZEKCIÓ  
INTERDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK II.**

**A SZEKCIÓ ELNÖKE: DR. NÉMETH MIKLÓS**

**TÁRSELNÖK: PALIK MÁTYÁS**





## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

Jánosi Krisztina hallgató  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Hadtudományi Kar  
Repülő tanszék

*A legutóbbi évtizedben végbement politikai változások szükségessé tették az állami szervezetek modernizálását, ebben a folyamatban óriási jelentőséggel bír a haderőreform, aminek szerves része a katonai repülésirányítás modernizálása, illetve a polgári légiforgalom-irányítással való kompatibilissá tétele. Ezt a folyamatot segíti elő a légtér rugalmas felhasználása koncepció bevezetése, az integrált polgári-katonai légiforgalom-irányító központ felépítése és beüzemelése, a katonai repülőterek megnyitása a polgári légiforgalom számára, a meglévő katonai technikai háttér korszerűsítése illetve modernizálása.*

Közép-kelet Európában a 80-as évek végén elkezdődött politikai változások a Varsói Szerződés felbomlásához, végül három volt szocialista ország NATO csatlakozásához vezettek. A NATO a keleti blokk felé történő nyitás első lépcsőjeként 1990 novemberében létrehozta a volt VSZ államokkal történő katonai konzultációk céljából az Észak-Atlanti Együtműködési Tanácsot (NACC), 1994-ben pedig elfogadta a Pfp programot, amely egyfajta előkészítést jelentett az együttműködő partnerországok számára a NATO-ba való belépéshez. Az egyéni partnerségi program elfogadása után évente közel félmilliárd forintot különített el a magyar kormány az együttműködés céljára. 1997 júliusában a madridi csúcstalálkozón meghívták Magyarországot, Csehországot és Lengyelországot a csatlakozási tárgyalásokra, és decemberben a NATO tagállamok képviselői aláírták ezen országok csatlakozásáról szóló jegyzőkönyvet. 1999-ben a magyar Országgyűlés tagjai megszavazták az Észak-Atlanti Szövetséghez való csatlakozást, március 12-én az Egyesült Államokban letétbe helyezték a magyar, a cseh és a lengyel NATO ratifikációs okmányokat, ezzel a három ország hivatalosan is a szövetség tagjává vált. Ezek a politikai változások maguk után vonják a hadsereg korszerűsítését azzal a céllal, hogy az új struktúra lehetővé tegye az ország hatékony védelmének megvalósítását, illetve, hogy a csatlakozás után képes legyen hozzájárulni a közös védelemhez, meg

tudjon felelni a béketámogatásból, humanitárius segítségből adódó követelményeknek. A változtatásoknak ki kell terjedniük a haderő minden területére és minden szintjére, s nemcsak elvi kérdésekben kell a NATO követelményeknek megfelelni, hanem a gyakorlati megvalósítás szintjén is érezhetővé kell tenni ezeket a változásokat. A légierő és így a haderő kompatibilissá tételén belül jelentős szerepet játszik a repülésirányítás ill. a légiforgalom-irányítás ezen irányba történő megváltoztatása, korszerűsítése.

A NATO országokban a katonai légiforgalom irányítási eljárásokat nagyban meghatározza a polgári légiforgalom irányításhoz való alkalmazkodás ill. a két struktúra összehangolása. Ez már csak azért is szükséges, mivel a légteret a polgári és katonai légi járművek egyidejűleg használják, ebből következően ezek biztonságos közlekedése érdekében feltétlenül össze kell hangolni az irányításukat. Erre a NATO és az ICAO is törekszik vonatkozó STANAG-eik és ajánlásaik megfogalmazásában. A NATO ennek érdekében létrehozta a NATMC-et (NATO Air Traffic Management Committee - NATO légiforgalom-szervezési bizottság), amely meghatározza a NATO tagállamok számára az általános követelményeket, eljárásokat, módszereket, amelyek egyre inkább ICAO-kompatibilisek.

A légiforgalom szervezés (ATM-Air Traffic Management) alapvetően a következőkből tevődik össze:

- légtér-gazdálkodás (ASM- Airspace Management);
- légiforgalmi szolgálatok (ATS- Air Traffic Services);
- légiforgalom áramlásszervezés (ATFM- Air Traffic Flow Management).

Katonai szempontból a légiforgalmi szolgálatokat és a légtér-gazdálkodást kell megreformálni, míg az áramlásszervezés átalakítását az európai ICAO tagállamokban működő FMU-k (FMU- Flow Management Unit - áramlásszervező egység) ill. a Brüsszelben működő CFMU (Central Flow Management Unit - központi áramlásszervező egység) végzik.

A légtér-gazdálkodás közös katonai-polgári feladat. Nemzetközileg is jelennek meg törekvések a két légtérrendszer harmonizációjára. Európában, így Magyarországon is szüksége van a légierőnek a biztonságos repülésre, ennek érdekében időszakosan elkülönített légterekre (TSA - Temporary Segregated Area), bizonyos esetekben a polgári repülésekkel szembeni elsőbbségre, manőverezési szabadságra. Ezek biztosítása érdekében a polgári-katonai ATM

## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

rendszerek nagyfokú integrációjára van szükség, amiben az ECAC, ezen belül a EUROCONTROL nyújtanak segítséget.

Az ECAC (European Civil Aviation Conference - Európai Polgári Repülésügyi Konferencia) 1955 óta funkcionál és jelenleg 35 tagországa van. Gyakorlatilag egész Európa beletartozik, egyedül Ukrajna és Oroszország nem csatlakozott a szervezethez. Az ECAC-on belül működik a EUROCONTROL, amely 1960. december 13-án alakult Brüsszelben. Tagállamai: Belgium, Franciaország, az akkori NSZK, Luxemburg, Hollandia, az Egyesült Királyság, Írország. Az egyezmény 1963 március 1-én lépett életbe 20 éves időtartamra. 1970-ben, 1978-ban és 1981-ben kiegészítő egyezményeket írtak alá a tagállamok. A EUROCONTROL tervei között szerepel a légiforgalmi szolgálatok és berendezéseik fejlesztése. Légiforgalmi szakemberek továbbképzése, kutatási és fejlesztési programok kialakítása, amelyek a légiforgalom biztonságát, hatékonyságát és a gyors áramlását elősegítő műszaki berendezésekkel és szolgáltatásokkal kapcsolatosak. A légiforgalom áramlás szervezésével kapcsolatban összehangolják tevékenységüket, nemzetközi légiforgalom áramlásszervező központot alakítanak ki, hogy a rendelkezésre álló szűk európai légtérrel a lehető leghatékonyabb módon lehessen felhasználni. A légtérhasználók részére maximális szabadságot biztosítanak a légtér igénybevétele során a jogos nemzetbiztonsági szempontok szem előtt tartásával. A EUROCONTROL feladatai:

- EATCHIP (European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme - európai légiforgalom irányítás harmonizációs és integrációs program) megvalósítása az ECAC tagállamokban;
- CFMU (Central Flow Management Unit Központi Áramlásszervező Egység) létrehozása az európai légtér zsúfoltságának csökkentése céljából;
- rövid és hosszútávú akcióprogramok megvalósítása az európai légiforgalmi irányítórendszerek együttműködésének javítására;
- az európai légiforgalom-irányítás kapacitása növelésére irányuló kutatások és fejlesztések végzése.

A fejlesztés kulcskérdése a EUROCONTROL egyezmény folyamatos módosítása illetve a még nem EUROCONTROL tagállamok beléptetése a szervezetbe. Első fázisban a jelenleg hatályos Egyezménynek megfelelő fejlesztéseket 2000-ig tervezik végrehajtani, második fázisban a módosított Egyezmény teljeskörű hatályba léptetése 2005-ig, ill. a harmadik fázisban a módosított egyezményből következő tevékenységek végrehajtása, a továbblépés meghatározása 2005 körül. Az EUROCONTROL ügynökség és a tagállamok közös légtértervezési eljárásokat vezetnek be illetve megtervezik a nemzetközi

*JÁNOSI KRISZTINA*

útvonalhálózatot. A légtértervezés megformálásának jelentős mérföldköve a FUA (Flexible Use of Airspace - rugalmas légtérfelhasználás) koncepció bevezetése.

A FUA koncepció lényege, hogy a légteret szükségtelen felosztani katonai illetve civil légtérrészekre, hanem az egészet egy egységként kell kezelni, amelynek felosztását rugalmasan a napi felhasználói igények határozzák meg. Ennek megvalósítása a légiforgalom irányítási rendszer kapacitásának növekedésével jár, ami a GAT (General Air Traffic - általános légiforgalom) repülésekben előforduló késések csökkenését eredményezné. További előnyei, hogy hatékonyabban el lehetne különíteni a GAT és OAT (Operational Air Traffic - katonai vagy speciális repülések) repüléseket, hatékonyabbá válna a polgári-katonai együttműködés, a TSA-k kijelölése és használata közelebb hozná a katonai repülésirányítást a polgári irányítási követelményekkel.

A koncepció gyakorlati megvalósítása három fázist foglal magába:

- stratégiai szint;
- elő-taktikai szint;
- taktikai szint.

A végrehajtási szintek között szoros kapcsolat van, mindhárom jelentős hatással bír a másik kettőre. Ezen szintek végrehajtása előfeltétele az ECAC légtér-gazdálkodásban kitűzött céljai megvalósításának.

A stratégiai szint egyesített polgári-katonai folyamatot foglal magába, amelyben minden országnak ki kell alakítani a légtér-gazdálkodási politikáját, a nemzeti és nemzetközi igények figyelembe vételével. Ennek a légtérstruktúrának rugalmasnak kell lennie, magába kell foglalnia a feltételes útvonalak (CDR - Conditional Route), TSA-k, határsávokban lévő közös légterek (Cross-Border Areas) kialakítását, amelyeket igény szerint aktiválni és de-aktiválni lehet. Néhány ECAC országban ezek a légterek már léteznek más név alatt, ezekben az országokban a feladat a többi országgal történő egységesítés és szabványosítás. Magyarország az elsők között csatlakozott ezen koncepció bevezetéséhez, így itt ezek a légterek már korábban kialakítása kerültek.

Az elő-taktikai szinten a legfontosabb feladat a nemzeti légtér-gazdálkodó csoportok (AMC - Airspace Management Cell) kialakítása. Az ECAC államok egyetértésével regionális AMC-k is kialakíthatók, amik több ország légtéréért tartoznak felelősséggel. Az AMC-k felelőssége a légtér ideiglenes felosztása és a napi légtérigények előjegyzése, amit Légtérhasználati tervként tart nyilván (AUP - Airspace Use Plan). A légtérigények besorolásánál elengedhetetlen a katonai és



## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

polgári szervezetek együttműködése az AMC-kben, ami lehetővé teszi a problémák azonnali megoldását a magasabb szintű hatóság közreműködése nélkül. A légtér felosztása a „tulajdonos” ország kiváltsága, azonban azokban az esetekben, amikor a nemzeti AMC-k elképzelései között eltérés jelentkezik, az csökkenti a FUA koncepció hatékonyságát, valamint inkompatibilissá válik az ECAC- szerre elfogadott struktúrával. Ezért szükséges, hogy az AMC-k egy minimális közös vezérfonalat alakítsanak ki, hogy a koncepció megvalósítását ne veszélyeztessék. Az AMC-knek ezeket a feladatokat mindenképpen végre kell hajtaniuk, igény szerint a feladatkör kibővítésével.

Miután a stratégiai szint és az elő-taktikai szint feladatait sikeresen végrehajtották az ECAC tagállamok, a fő cél a valós idejű taktikai polgári-katonai együttműködés kialakítása. A légtér felhasználásának rugalmassága attól függ, hogy a polgári és katonai repülőgépek milyen hatékonyan képesek felhasználni a légtérrel anélkül, hogy azt külön polgári és katonai légtérrészekre osztanák. Nagyon fontos, hogy az elkülönítésért felelős ATC egységek hozzáférjenek a valós idejű repülési adatokhoz, ami megfelelő koordinációt és megnövelt adatátviteli kapacitást feltételez. Taktikai szinten lehetségessé válik az időszakosan elkülönített légtérek hasznosítása, valós idejű aktiválása és deaktiválása. A feltételes útvonalak használata előre elkészített tervek alapján történik, amire koordinációt lehet alapozni.

A rugalmas légtérfelhasználás alkalmazása hatékonyabbá teszi a légtér kihasználását, több légtérrel tesz felhasználhatóvá, így megnöveli az irányítói kapacitást, csökkenti a GAT repülések esetén előforduló késéseket. Azonban ezek az előnyök csak akkor materializálódnak, ha az ATC (légiforgalom irányítási), ASM (légtérszervezési) és ATFM (áramlásszervezési) eljárások kompatibilisek egymással. Emiatt elengedhetetlen az áramlásszervezési eljárások és a légtérszervezési eljárások harmonizálása, ám mint az előzőekben említettem, ezzel főként a polgári légiforgalom irányítás foglalkozik.

A légtér hatékonyabb kihasználása érdekében tett egyéb intézkedések közé tartozik az ATS útvonalhálózat megváltoztatása, az ellenőrzött légtér felosztása közép és felső légtérre. A radar elkülönítést is csökkentik a TMA (Terminal Area.- repülőtéri közelkörzet) -ban 3 NM-re, 5NM-re az ATS útvonalakon. A függőleges elkülönítést is csökkentik (Reduced Vertical Separation Minima), aminek hatására hatékonyabbá válik az utazómagasság kijelölése, és váltása is. Mivel ez némi veszéllyel jár, feltétlenül szükséges a légiforgalom irányító egységek működésének folyamatos koordinációja, ami magába foglalja az OLDI (On- Line Data Interchange) rendszer bevezetését. Az OLDI rendszer lényege a

JÁNOSI KRISZTINA

repülési terv adatainak automatikus továbbítása az együttműködő irányító egységekhez. Hátránya, hogy egy repülésre vonatkozó adatokat csak egy ATC egységhez tud továbbítani, így a többi irányító egység szóban, hagyományos módon jut hozzá a szükséges repülési terv információhoz. Az OLDI rendszerrel továbbított információkat a repülés megkezdésekor aktiválják, így az irányító össze tudja hasonlítani azokat az aktuális radaradatokkal. Az automatikus adatátvitel a polgári és katonai irányító egységek között hozzájárul a meglévő légtér optimális kihasználásához. Szükséges még a civil és katonai ATS egységek VHF és UHF kommunikációs eszközökkel való felszerelése, valamint a légijárművek ezek fedélzeti párjaikkal való ellátása. Amennyiben a kommunikációs lefedettségben hézagok támadnak, ezek megszüntetésére vizsgálják a műholdas átviteli lehetőségeket. A VHF csatorna osztást is csökkentik a polgári légiforgalom irányításban, bevezetik a 8,33 kHz-es osztást a zsúfoltság elkerülésére.

Mindezen változtatások folyamatos végrehajtása nagyban elősegíti a katonai repülésirányítás és a polgári légiforgalom irányítás harmonizációját, ami feltétlenül szükséges mind a nemzetközi légiforgalom zavartalan lebonyolítása érdekében, mind pedig légterünk és így országunk szuverenitásának fenntartásához illetve helyreállításához.

A légiforgalmi szolgálatok terén szintén szükséges bizonyos változtatások bevezetése. Legsürgetőbb feladat a légierőben a - légiközlekedési törvény által is előírt - katonai repülőtéren légiforgalmi szolgálatok kialakítása. Ennek keretében pl. az ügyeletes repülésvezető illetve a kiképzések alatt szolgálatot teljesítő repülésvezető helyett egy toronyirányító ellenőrzi a fel- és leszálló repülőgépeket. Ez a munkahely - az eddigiektől eltérően - szakmához kötött, tehát légiforgalom irányítói szakszolgálati engedéllyel kell rendelkeznie a betöltő személynek. A felelősségi körzet tisztázására is sor került az RSZP - bevezető irányító és a toronyirányító között, amire azért volt szükség, mert a repülésvezető és az RSZP-s bevezető irányító egy frekvencián működött, így nem határolódott el élesen a felelősségi körzet. Ezentúl a toronyirányító és a bevezető irányító külön frekvencián működik, ami eddig csak elviekben valósult meg, mivel ehhez egyelőre nem megfelelő a technikai háttér. A toronyirányító és az RSZP-s bevezető irányító között megszűnik az alá-fölérendeltségi viszony is, ami szintén elősegíti a felelősségi körzetek elhatárolódását. Ahol az RSZP-bevezető irányító még nem a toronyban került elhelyezésre, ott ezt is meg kell oldani. Ezek az átalakítások a taszári bázison már 1997 decemberében végrehajtásra kerültek, de mivel itt nem tartózkodnak állandóan magyar katonai repülőgépek, nem igazán észlelhető a változás.

## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

A 16/1998 (X. 28) HM- EüM együttes rendelete alapján a légiközlekedésben résztvevő személyzetnek rendelkeznie kell szakszolgálati engedéllyel, így a katonai légiforgalom irányítóknak is. A szakszolgálati engedélyek kiadását a HM Katonai Légügyi Hivatal végzi. Ez a szervezet a polgári légügyi hatóságnak megfelelő szinten szabályoz az állami légiközlekedésben, ezáltal a szabályozói szint különvált a végrehajtói szinttől.

A katonai repülőterek egy részét is át kell alakítani vegyes használatú repülőterekké, a repülőtérhálózat hatékonyabb kihasználása érdekében. Az érintett repülőtereket nemcsak a NATO szabványoknak kell megfeleltetni, hanem az ICAO szabványokkal is kompatibilissé kell tenni. Véleményem szerint nem lehet minden katonai repülőteret megnyitni a civil repülés számára, mivel a kiképzési repülések végrehajtását sem lehet elhanyagolni, sőt a NATO-ba való belépés intenzívebb kiképzést igényel. Magyarországon az első NATO szabványoknak megfelelően átalakított repülőtér a kecskeméti légibázis lesz. Itt 1995-ben kezdődött meg a navigációs és leszállító rendszerek korszerűsítése. Az ILS leszállító rendszer, illetve a VOR/DME NATO kompatibilis. Bevezetésre került az automatizált meteorológiai észlelési és adatfeldolgozási rendszer, a fénytechnikai rendszer cseréjére is tendert írtak ki. A légiforgalom irányításban elkerülhetetlen műszaki fejlesztést egyenlőre a jelenleg meglévő lokátorok, különösen a P-37-es átalakításával oldják meg (digitalizálás). A Cseh és a Szlovák Köztársaságban az ELDIS cég által kifejlesztett LETVIS adatfeldolgozó rendszert építettek be a lokátorokba. Ennek hatására az indikátor felbontóképessége megnövekedett, illetve a zavarszűrés hatékonyabbá vált, megoldották az adatok számítógépes feldolgozását és egyesítését a polgári radaradatokkal. Hasonló megoldás van folyamatban hazánkban is az ASOC (Air Sovereignty Operation Center - légtérzsuverenitási Hadműveleti Központ, Veszprém) kiépítése keretében.

Ezen a helyen szükségesnek tartok egy kis kitérőt az ún. Regionális Légtér Kezdeményezés (RAI - Regional Airspace Initiative) háttérére.

A Közép és Kelet-Európai Regionális Légtér Kezdeményezés (RAI) alapvető célkitűzése a térség polgári és katonai légtérhasználatának teljes introperabilitása a nyugat-európai országokkal. A program amerikai kezdeményezésre, kétoldalú szerződések alapján indult be, tehát nem NATO program. Ennek ellenére - már csak a kapcsolódási pontok miatt is mindenben kompatibilis lesz a NATO rendszerével. Feladata lesz a polgári-katonai légtérgazdálkodás és a légtérzsuverenitás biztosítása. Az ún. „Visegrádi országok” ASOC rendszeréhez hasonlóan további országok is kapcsolódnak a kezdeményezéshez. Pl: a Balti országok RASCC (Regional Air Surveillance Coordination Center) néven,

## JÁNOSI KRISZTINA

Albánia, Románia, Szlovénia, Macedónia és Bulgária ASOC néven. Legfrissebb információk szerint korlátozott célkitűzésekkel az osztrák légierő is részt vesz a RAI fejlesztésében. (A technikai kivitelezést a Lockheed-Martin USA cég végzi). Külön figyelmet fordítanak arra, hogy a szomszédos országok megfelelő interface-ekkel kapcsolódjanak egymáshoz, ami azt jelenti hogy a radaradatok EUROCONTROL ASTERIX (All Purpose Structure EUROCONTROL Radar Information Exchange) formátumban jelenjenek meg.

Az eddigi ACC (Area Control Centre - körzeti irányító központ) és az Approach által végzett feladatokat egy új automatizált rendszer veszi át, amely a MATIAS (Magyar Automated and Integrated Air Traffic Control System) névre hallgat. Budapest FIR-ben a MATIAS civil szektora biztosítja a GAT repülések ellenőrzését és irányítását, a katonai szektor pedig az ugyanezen felelősségi körzeten belül végrehajtott katonai repüléseket. A projekt 1993-ban kezdődött az EUROCONTROL tanácsadásával, a PHARE program anyagi segítségével. A tendert 1994-ben írták ki, és az LRI a Siemens céggel 1995-ben írta alá a szerződést. Ekkor 1999-re tervezték a központ átadását, de mivel a Thomson időközben átvette a technikai rész kidolgozását, így ez az időpont csúszik. Emiatt úgy döntöttek, hogy az üzembe állítást két lépcsőben fogják végrehajtani. Egy belső rendszer korlátozott funkciókkal 1998 decemberére elkészült, és az egész rendszer az eredetileg tervezett funkciókkal 1999 decemberére kerül átadásra.

Az új légiforgalom irányító központ Ferihegyen épült fel, és a jelenlegi Budapest ACC (Area Control Centre) és az Approach feladatait veszi át kiegészítve a toronyban lévő szolgálatokkal, ami a tervezet szerint szintén beépítésre kerül. Ez a megoldás megnövelt polgári-katonai együttműködési lehetőségeket biztosít. A MATIAS légiforgalmi irányításon túl a következő feladatokat hivatott ellátni:

- Radaradatok feldolgozása;
- Repülési adatok feldolgozása;
- Operációs adatkijelzés
- Információs adatmegjelenítés
- Tesztelő és fejlesztő rendszer
- Kommunikációs rendszer
- Felvevő és lejátszó rendszer
- Technikai figyelés és ellenőrzés

A radaradat feldolgozó rendszer (Radar Data Processing System - RPDS) feldolgozza és kijelzi a különböző radarokról érkező elsődleges és másodlagos

## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

radarjeleket. Ez a rendszer 3 radar adatait dolgozza fel, ezek alapján jelzi ki a légi jármű pontos helyét. A radarok által biztosított az egész Budapest FIR lefedettsége. A rendszerrész feladatai:

- A digitalizált elsődleges és másodlagos radaradatok feldolgozása;
- Időjárás információk feldolgozása és továbbítása;
- A légi járművek egy- illetve több radarral történő követése;
- STCA (Short Term Conflict Alert - kishatótávolságú konfliktuskijelző) funkció az SSR transzponderrel rendelkező légi járművek számára;
- MSAW (Minimum Safe Altitude Warning - legkisebb biztonságos magasság kijelző) és RBIW (Radar Based Intrusion Warning - radarvezérelt behatolás-kijelző).

A repülési adatfeldolgozó rendszerbe (FDPS - Flight Data Processing System) a repülési tervek mind automatikusan mind kézi úton betáplálásra kerülhetnek. A rendszer megkapja a repülési tervekben létrejött módosításokat és ahol lehetséges, automatikusan továbbítja a repülési tervet. A repülési terv adatai feldolgozásra és összehasonlításra kerülnek a radaradatokkal és a rendszer grafikus vagy táblázatos formában kijelzi az eltéréseket és felhívja rájuk a figyelmet. A rendszer a következő feladatokat látja el:

- Adatok vétele az AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunications Network - légi telekommunikációs hálózat)-ból, ATC központokból és más alrendszerektől;
- Üzenet érvényesítés;
- Repülési adatok kezelése és felosztása;
- Automatikus légi jármű követés és repülési tervvel való összehasonlítás;
- Légtér szektorizálás, amely történhet magasság szerint illetve vízszintesen az irányítói igényeknek megfelelően, valamint repülési profil elemzés és eltérés kijelzés;
- Megközelítés kijelzés, és légi jármű sorrend kialakítás;
- SSR- kód felosztás és szervezés;
- Rendszerkezelés;
- Helyi figyelési lehetőségek;
- Közepes távolságú megközelítés kijelzés;
- Együttműködés az alárendelt rendszerekkel (OLDI, SYSCO (System Supported Coordination - rendszer által támogatott koordináció))

Az operációs adatkijelző rendszer (Operational Display System - ODS) nagy pontosságú, színes képernyőket foglal magába, amelyek az adatokat minden



## JÁNOSI KRISZTINA

kívánt formában, ablakos megoldással képes megjeleníteni. A MATIAS rendszerben a központi szerepet az ún Operations Room, magyarul az operációs helyiség tölti be, ahol a következő irányítói egységek helyezkednek el:

- Körzeti irányítói szolgálatok: 7 irányítói szektor a magaslégtéri irányítás számára és 2 irányítói szektor az alacsonylégtéri irányítás számára;
- Approach irányítói szolgálatok: 2 irányítói szektor;
- Katonai irányítói szolgálatok: 1 irányítói szektor;
- Repülés tájékoztató szolgálatok: 2 irányítói szektor;
- Teszt és fejlesztési szolgálatok, melyek a visszajátszási feladatokat is ellátják.

Az operációs helyiségben találhatóak a következő munkahelyek is:

- polgári supervisor;
- katonai supervisor;- a körzeti irányítók, az approach szolgálat és a repülési adatfeldolgozó szekció vezetői;
- áramlásszervező;
- repülési adatok kezelői.

Minden irányítói szektor két irányítói munkahelyet foglal magába (CWP-Controller Work Position), egy munkahely a végrehajtó irányítóé EC -Executive Controller), egy pedig a tervező irányítóé (PC - Planning Controller). Olyan operációs környezetben dolgoznak ahol minden adat nagy pontosságú, színes képernyőkön jelenik meg, amelyek input eszközökkel és ablakkijelzős technikával rendelkeznek. Így a korábban rendszeresített papírcsíkok (strip) használata kiküszöbölhető. A munkahelyeken dolgozó irányítókat repülési adatfeldolgozó szektorban dolgozó asszisztensek segítik a munkában. A körzeti irányító szolgálat, az Approach irányító szolgálat vezetői és az operációs támogató taktikai ellenőrzést végeznek. Helyet kap egy supervisor szektor is, amely magába foglalja a polgári supervisort, a katonai supervisort és az áramlásszervezői munkahelyet is.

Az ellenőrzött légtérben repülő ill. átrepülő katonai légijárműveket a katonai irányítói egység ellenőrzi és irányítja, ez biztosítja a megnövelt polgári-katonai együttműködést is, mivel a fent említett feladat végrehajtásához feltétlenül szükséges a magas szintű együttműködés, egymás adataihoz való közvetlen hozzáférés, közvetlen kommunikáció. A FUA a közös polgári-katonai légtérkezelő központ segítségével valósul meg, amely közvetlenül az operációs helyiség mellett helyezkedik el. A taktikai megvalósítás az operációs helyiségben történik, a katonai és polgári supervisorok közvetlen együttműködésével.

## VÁLTOZÁSOK A MAGYAR KATONAI REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

Az IDS (Information Display System - Információ kijelző rendszer) gyors hozzáférésű információkat biztosít a szükséges billentyűleütések minimalizálásával, a képernyő méretek lehetővé teszik az ablakkijelzős képernyő és az operációs képernyő egyszerre történő megjelenítését. Beépített óra és felvevő-lejátszó rendszer támogatja a fő rendszert.

A modernizációs program magába foglalja a föld-föld, föld-levegő kommunikációs rendszer modernizálását is. Az új levegő-föld kommunikációs rendszer mind a VHF, mind az UHF csatornákat magába foglalja. A csatornákhöz való hozzáférés ellenőrző-választó modulokon keresztül történik, és az új rendszer támogatja a headset-et és kihangosítást/mikrofont is. Új rádióadót szereltek fel a Kékesre, a Széchenyi-hegyre és a Kőrishegyre is. A föld-föld kommunikációs rendszert korszerű digitális berendezés alkotja, amely MFC (Multi-Frequency Coding - többfrekvenciás kódolás)-át a EUROCONTROL határozta meg. Belső és külső kapcsolatokat biztosít, és szintén támogatja a mikrofon, headset, kihangosítás használatát.

A felvevő-lejátszó rendszer a különböző radaradatok, repülési adatok, kezelői beavatkozások rögzítését, lejátszását és elemzését biztosítja. Feladatai:

- Váratlan események és balesetek kivizsgálása biztosítása;
- Kutató-mentő tevékenység biztosítása;
- Rendszer működésének figyelemmel kísérése.

A rendszer technikai figyelése és ellenőrzése a rendszer állapotát, működését és konfigurációját kíséri figyelemmel, ami elősegíti a felmerült problémák gyors megoldását.

Az LRI az irányítók képzésére egy új szimulátort állított rendszerbe, MATSIM néven. A leendő irányítók ezen a szimulátoron gyakorolják be a MATIAS központban rájuk váró feladatokat. A követelményeket az 1996. április 5-én létrejött Invitation Tender (ITT - Csatlakozási kiírás)-ban fektették le. A szimulátorokon a polgári-katonai koordinációt nemcsak a jelenlegi katonai és polgári forgalomsűrűségi viszonyok között gyakorolják az irányítók, hanem a rendszer képes a jelenleginél kedvezőtlenebb viszonyok szimulálására is.

A MATIAS rendszerbe tervezett eredetileg 20 fő, - jelenleg már csak 13 - katonai irányítók átképzése egy évet vett igénybe. 1996 tavaszán az akkori ZMNE Szolnoki Repülőtisztai Főiskolai Karon háromhónapos angol nyelvismeret-felújítással kezdtek a hallgatók, amit egy kéthónapos ferihegyi angol nyelvi képzés

*JÁNOSI KRISZTINA*

követett. Szeptembertől decemberig légiforgalmi irányításelméleti képzés folyt az LRI ROK-ban. 1998. januárban eljárásirányítást tanultak, utána kezdték meg a szimulátorokon való gyakorlást. A hallgatókat a EUROCONTROL képviselői vizsgáztatták. A polgári szakszolgálati engedély megszerzését követően a 13 katonai irányító a jelenlegi -régi - ACC-ben gyakorolja a körzeti irányítói munkát.

Az eddigiekben vázoltak a katonai irányítás két fő területét ölelték át, nevezetesen a repülőtéri légiforgalmi szolgálatok és a körzeti irányítás (MATIAS) által végzett munkát. A katonai repülésirányítás harmadik területe, mely az ország honvédelme és légtérzuverenitása szempontjából a legfontosabb, a vadászirányítás. Békeidőben erre a TSA-kban van lehetőség. Az itt folyó irányítás átalakítása NATO szabványok szerint még kezdeti stádiumban van. Nincsenek kidolgozva részletes szabályzók, eddig a NATO-tól sem kaptunk túl sok konkrétumot. Nyilvánvaló, hogy a NATO tagság kapcsán sürgető feladattá válik a fenti probléma megoldása, a közeljövőben ezen a területen gyors változások várhatók. Kezdeti lépésként az elavult vadászirányító lokátorokat kell lecserélni korszerű nyugati radarokra. Ebben a feladatban már nem támaszkodhatunk a polgári radarrendszerre a katonai követelmények eltérő volta miatt. Minden bizonnyal szükségessé válik a jövőben ún. „gap-filling” réskitöltő katonai radarok rendszerbe állítása. Az új technikai eszközöknek megfelelő irányítási szisztéma kidolgozása a jövő sürgető feladata. Véleményem szerint a Veszprémben már üzemelő ASOC rendszer további fejlesztés után képes lesz átvenni irányítói feladatokat is a jelenlegi ezred harcálláspontoktól (HIP). A katonai - polgári együttműködésen túlmenően az ASOC rendszer, mely a környező országok egy részében is megtalálható lesz, további távlatokat nyit a katonai-katonai nemzetközi együttműködés területén.

A jelenlegi helyzet a repülésirányítás illetve a légiforgalom irányítás felső szintű szabályozása, a légtérstruktúra átalakítása, a légtérgazdálkodás elveiben igazodik a NATO/ICAO elveihez, de a híradó eszközök, rádiótechnikai eszközök még zömmel a VSZ eszközei. A személyi feltételek, az ICAO szabályok ismerete, NATO rendszer megismerése és alkalmazása terén látványos eredményeket értünk el, ám a technikai eszközeinket rövid időn belül le kell cserélni a légiforgalom irányítás hatékonysága érdekében az együttműködést minden képpen folytatni kell a nemzetközi polgári légiforgalom irányítással és fel kell készülni a katonai repülések számának növekedésére, amire remélhetőleg minél hamarabb lehetőség nyílik.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Convergence and Implementation Programme Document edition 3.2. 1998. Június
- [2] Convergence and Implementation Programme for Hungary Edition 3.1. 1997 december
- [3] CSÁKI Imre - Katonai irányítók átképzése: második félidő - Repülőtéri magazin, 1997.
- [4] EUROCONTROL - The Concept of the Flexible Use of Airspace – 1997.
- [5] Honvédelmi Közlöny, 1995/28.
- [6] KUTIKA Károly - A légiforgalom „menedzselése” Európában - Honvédségi Szemle 1996/07.-Magyar Honvéd - Különkiadás az 1999. 03.12-i számhoz.
- [7] MAVRÁK Gábor - Airspace Organisation and Optimisation - Advisory Group for Aerospace Research & Development - Conference proceedings of the Mission Systems Panel Workshop on ATM held in Budapest, Hungary, 27-29 May 1997.

*The political changes that took place lately in Hungary demanded the modernisation of the Hungarian Home Defence Forces. The modernisation of the military air traffic control plays an important role in achieving the goals of having a state-of-the art Hungarian Army. To acquire this, military and civil air traffic control system must be compatible to assure safety for all aircraft. The implementation of the Flexible Use of Airspace Concept, the constructing of the MATIAS system, the opening of the military airfields to civil air traffic, and the updating of the present military technical background indicate this endeavour*





# **A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐKKEL MEGOLDHATÓ FELADATOK A NATO HARCÁSZATI LÉGIERŐ ALKALMAZÁSI FORMÁI KERETÉBEN**

**Palik Mátyás őrnagy  
egyetemi adjunktus  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Hadtudományi Kar  
Repülőtanszék**

*A cikk röviden ismerteti a pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazását a fontosabb helyi háborúkban, bemutatja ezen eszközök fejlesztésének legújabb irányait és rávilágít azok felhasználásának területeire a NATO harcászati Légiерő alkalmazási formáin belül.*

## **BEVEZETÉS**

Hosszabb idő óta kísérem figyelemmel a pilóta nélküli repülőgépekkel (továbbiakban UAV - Unmanned Aerial Vehicle) folytatott fejlesztéseket és egyes katonai szakértőkkel egyetértve magam is nagy lehetőséget látok ezekben a modern technikai eszközökben, amelyek beszerzési ára, kiszolgálása olcsó, de emellett igen gazdaságosan lehet alkalmazni különböző harc feladatok végrehajtására. Ezen tényezők miatt a világ hadseregeinek - elsősorban a fejlettebb technikai színvonalat felvonultatóknak - több mint egyharmadánál már rendszerben állnak, vagy rendszeresítésük a közeljövőben várható. A fejlesztő és gyártó vállalatok egyre több megrendelést kapnak mind korszerűbb technikai paramétereknek megfelelő UAV-k gyártására, az egyes haderőnemek pedig többcélú rendszereket hoznak létre.

A korábban lezajlott helyi háborúk és fegyveres konfliktusok is bizonyítják a katonai repülés szükségességét a fegyveres küzdelemben. A koronát a légi hadviselés homlokára a szövetséges légiерő Öböl-háborúban végrehajtott tevékenységének eredménye helyezte.

A repülő-technikai fejlődése ezzel itt nem zárult le, hiszen nap mint nap hallani, olvasni olyan új technikai megoldásokról, melyek a katonai repülést hatékonyabbá, biztonságosabbá teszik. Valójában azonban van a katonai repülésben egy olyan kétoldalú tényező ahol a fejlődésnek már ma is megvannak a határai. Az egyik az ember fiziológiai adottságai és a repülésben. A másik az emberi pszichikum, mögötte a veszélytől való félelem, a kritikus helyzetek megoldásának elkerülése, a minimális kockázat vállalás.

Valószínű, hogy az előzőekben felsorolt tényezők is közrejátszottak annak az irányzatnak a kialakulásában, és megerősödésében ami szorgalmazta az UAV-k alkalmazását. Természetesen ahhoz, hogy ezen irányzat teret nyerjen az emberiségnek egy magas tudományos-technikai színvonalat kellett elérnie. Korunk haditechnikai szakemberei egyre nagyobb figyelmet fordítanak az UAV-k fejlesztése és alkalmazása iránt, mind elméleti, mind gyakorlati síkon.

Úgy vélem, hogy - bár a Magyar Honvédség nem rendelkezik UAV-kkal - a NATO csatlakozással különböző, közösen végrehajtásra kerülő feladatokban (gyakorlatok, gyakorlások, békefenntartó műveletek), kapcsolatba kerülhetünk ezekkel az eszközökkel. Mindezek miatt megpróbálok egy rövid ismertetést adni ezen eszközök alkalmazási lehetőségeiről összhangba állítva a NATO harcászati Légierő alkalmazási formáival.

## FELHASZNÁLÁSUK A HELYI HÁBORÚKBAN

Az 1960-as évek után lezajlott helyi háborúk, és azok megvívásának körülményei készítették a harcoló feleket arra, hogy egyre nagyobb számban építsenek és alkalmazzanak UAV-eket különböző feladatokra.

### VIETNÁM (1965-73)

A háború eszközlődése, és a nagyszámú felderítő repülőgép és repülőgépvezető elvesztése tette szükségessé az UAV-k alkalmazását. A délkelet-ázsiai hadszíntéren, az USA 1965 és 1975 között közel 3.500 bevetést hajtott végre pilóta nélküli repülőgépekkel.

A nagy kiterjedésű lakott települések, repülőterek, vasutak, hidak felderítésére, valamint rádiótechnikai felderítésre, a rádiólokátor állomások zavarására, figyelemelterelő és megtévesztő tevékenységre alkalmazták általában ezeket az UAV-eket.

## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK LEHETSÉGES FELADATAI

A nagy magasságban alkalmazott UAV-k jelentős veszteséget szenvedtek, ezért alkalmazásukat korlátozták, míg a kismagasságon felderítést végzők bevetései évről-évre intenzívebbé váltak. A 147SC rendeltetése a nappali függőleges és ferde tengelyű légifényképezés 100-1500 m magasságból.

A típus földi és hajófedélzeti indítóállványról vagy C-130-as repülőgépről volt indítható. Repüléseiket a Tonkini-öböl irányából hajtották végre, és az útvonalon általában egyszer, esetenként kétszer váltottak irány. A hordozót 3000 m-en hagyták el, mely után 20-25 km-es szakaszon 500-800 m magasságra süllyedtek, ezalatt a sebességüket 550-600 km/órától 900 km/óra-ra növelték. A VDK légvédelmi zónája előtt tovább süllyedtek 100-300 m-re és a szárazföld elérésekor megkezdte a légifényképezést, 150-300 km-es szakaszon majd 13.000-15.000 m-re emelkedve repültek vissza a földetérés (vízre szállás) körzetébe. A süllyedést a leszállási pont előtt 50-70 km-re kezdték meg. A fotóberendezésük a fényképezés magasságától függően 520-1560 m- széles és maximum 180 km hosszúságú terepszakaszról biztosított felderítési adatokat. Az UAV-kel előzetes, közvetlen és ellenőrző légi felderítést folytattak.

Az előzetest a csapás előtt 3.-4 hónappal általában fotófelderítést alkalmazva hajtották végre, melynek eredményeként elemezték ki és tervezték meg a végrehajtást. A közvetlen felderítést a csapásmérést közvetlenül megelőző 24-48 órában hajtották végre, amikor általában komplex fotó és rádiótechnikai felderítést végeztek, átrepülve a célobjektumot, felderítve az őt oltalmazó légvédelmi rakétakomplexumot. Felderítették és fényképezték az egyes elemi célokat, bemérték a légvédelmi rakétakomplexumok technikai paramétereit. Alkalmazásuk harmadik fázisának célja a csapásmérés utáni rombolások mértékének meghatározása volt.

A haditevékenység elemzése alapján elmondható, hogy az UAV-knek jelentős szerepe volt a légi felderítésben. E mellett kisebb számban és változó sikerrel vetették be őket rádiólokációs felderítésre és zavarásra, megtévesztő célként az ellenséges légvédelem figyelmének elterelésére. A gépek kis visszaverő felülete, és változó profilú repülése is növelte életképességüket. Ezzel együtt azonban a Vietnamban lezajlott háború alatt a pilóta által végrehajtott felderítő repülőgép-bevetéshez képest az UAV-k alkalmazása még azok 10- %-át sem érte el.

Megoldatlan technikai probléma maradt, a felderítési információk reális időben történő átadása a felhasználóknak. Hosszú időre volt szükség a hagyományos légifényképek feldolgozásához, különösen értékeléséhez.



## LIBANON (1982)

Az USA gyakorlati tapasztalattal párhuzamosan Izrael is levonta a következtetéseket a harctevékenységek realitásaiból, melynek eredményeként az izraeli pénzráfordítások az 1982-es libanoni invázió során bőségesen megtérültek. Az izraeli hadvezetés UAV-eket igen sokoldalúan használta fel.

Az egyszerű felépítésű Mastiff és Scout kisméretű UAV-k tették lehetővé a behatolást a veszélyes Bekaa-völgybe azáltal, hogy felderítési adatokat biztosítottak a szír légvédelmi rakétarendszerről.

A támadást megelőző időszakban a TV és fényképező berendezéssel ellátott UAV-k felderítették a szír csapatok, a légierő és a légvédelem csoportosítását, a vezetés rendjét, a rádió és rádiólokációs eszközöket, azok paramétereit, üzemmódját. Berepülve a Bekaa-völgybe olyan elektronikus jeleket sugároztak ki, melyek megegyeztek az izraeli harcászati repülőgépek fedélzeti lokátorainak a jeleivel. Amikor a szírek aktivizálták a légvédelmi rakétakomplexumok felderítő lokátorait, az izraeli UAV-k átjárták és egy E-2 Hawkeye repülőgépen keresztül továbbították a szír lokátorok települési helyét és sugárzási iránykarakterisztikáját.

A sikeres felderítő tevékenység eredményeként az izraeli föld-föld osztályú rakéták mindössze egy óra alatt 29 légvédelmi rakétindító állást semmisítettek meg. Közvetlenül az izraeli repülőcsapások előtt a célokat TV kamerával felszerelt UAV-kről pontosították úgy, hogy a felderítő adás gyakorlatilag a valós időnek megfelelő „élőkép” mutatott az objektumokról. Ezek után az izraeli harci gépek megkezdték „tisztogató” tevékenységüket, mialatt az UAV-k folytatták a felderítést, felmérték a károkat és figyelemmel kísérték a szíriai csapatok mozgását. Ezen a harci napon egyetlen izraeli repülőgépet sem lőttek le a szírek!!

Ki kell emelni azt, hogy mekkora lehetőséghez jutottak a parancsnok azáltal, hogy az ellenségről, magáról a harcmezőről is valós idejű felderítési információhoz jutottak. Ez megkönnyítette a tevékenység megtervezését, és annak vezetését, hiszen ezáltal a parancsnokok valamilyen fajta előrelátással rendelkeztek már

## ÖBÖL-HÁBORÚ (1991)

A Sivatagi-vihar hadművelet alatt az UAV-k új lapot írtak a pilóta nélküli repülőeszközök történetében.

## *A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK LEHETSÉGES FELADATAI*

Az USA hat Pioneer-rendszer telepített az Arab-öbölben és Szaud Arábiában közel 40 db repülőeszközzel. Egyet a szárazföldi csapatok, kettőt a haditengerészet és hármát a tengerészgyalogság. A Pioneerok kifejezetten felderítő feladattal lettek bevetve. Készletükbe a napszaktól függően TV-kamera, vagy éjszakai FLIR volt található. Az egységek feladata az volt, hogy figyeljék az iraki hajómozgásokat, az aknatelepítő hajókat és a tengeri aknákat. A haditengerészet Pioneerjait gyakran alkalmazták a hajófedélzeti 16 hüvelykes ágyúk lövészeihez célmegjelölési adatok biztosítására is.

Adatokat szolgáltatott a célok elhelyezkedéséről, az iraki menetoszlopokról és harckocsikról az azok elleni légi csapásokhoz. A tengerészgyalogság UAV-jei felderítették a partraszállási lehetőségeket a különleges rendeltetésű erők számára és valós idejű felderítési adatokkal szolgáltak (elsősorban) az AV-8B-k és más harci repülőgépek számára.

A szárazföldi csapatoknál lévő egység az útvonal-felderítés új koncepcióját dolgozta ki az Apache helikopterek számára, amelyek vezetői megfigyelhették a Pioneerokról érkező valós idejű képet, majd követték ugyanazt az útvonalat, de már ismerve a terepet és a célokat, amelyekkel szembe kellett találkozniuk. A hat rendszer 1991 január-februárjában 533 harci bevetésen vett részt 1688 órában. Közülük csak 7 eszköz semmisült meg (2 ellenséges tűz, 5 kezelői tévedés miatt). Ezen kívül 19 másik UAV is szerzett sérüléseket, de ezek közül 13-at még a harctevékenység során megjavítottak és újra bevetettek, és csak 6 került vissza a gyártóhoz nagyjavításra.

Az USA szárazföld hadereje olcsó, kézi indítású akkumulátorral működő, nappali, rögzített fekete-fehér kamerával felszerelt UAV-eket (POINTER-eket) is használt a hadműveletek alatt. Ezt a könnyű repülőeszközt a sivatagi viszonyok gyakran nehéz próba elé állították, mivel a szélsőséges hőmérséklet többször meghaladta a POINTER repülési sebességét, valamint a fedélzeti fekete-fehér kamera nehézkessé tette a részletek megkülönböztetését a kontrasztmentes sivatagban. Mégis, amikor gyenge volt a szél, általában ellátó körletek őrzésére alkalmazták.

A tengerészgyalogság is sikeresen alkalmazta a BAI Aerosystem BQM-147A Exdrone típusú UAV-jeit. Az Exdronokat megfigyelési céllal vetették be, fedélzetükön miniatűr színes kamerákkal és mikrohullámú videoadókkal. Egyebek között jelezték például azt, hogy az iraki erők elhagyták Kuvait City-be lévő állásaikat, ezáltal a tengerészgyalogság a tervezetthez képest több mint egy napot nyert az előrenyomulásban. A több mint 50 db eszköz olyan sikeresen szerepelt, hogy további 110 gyártására írtak alá szerződést.

A koalíciós szárazföldi offenzívában részt vett a 8. francia tüzérezred is, melynek egyik osztályánál rendszeresítették a MART távirányítású kisméretű felderítő repülőgépet, ami 1991 februárjától sikeresen vett részt, mint harctéri megfigyelő és felderítő, célmegjelölő és tűzvezető eszköz. Az UAV-k több



alkalommal hajtotta végre a vezetési pontok, repülőterek felderítését több mint 15-17 km távolságról, melyeket azonosítás után a francia tüzérség 155 mm-es ágyútarackjaival semmisített meg.

A CANADAIR CL-89 típusú DRON-jai is a Sivatagi Vihar hadműveletben debütáltak. A Brit Hadsereg által a hadszíntéren telepített eszköz már az első 24 órától kezdődően levegőbe emelkedett és információt szolgáltatott az iraki állásokról és célpontokról az angol szárazföldi csapatok 32. nehéztüzér ezrede és más koalíciós erők számára. A végrehajtott bevetések mennyisége és módja nem ismert.

## A FEJLESZTÉSEK IRÁNYAI

A világ számos pontján jelenleg is több tucat UAV fejlesztési program folyik. Ezeknek alapvetően kettős célja van. Egyrészt meglévő UAV-k modernizálása és új típusú fedélzeti eszközökkel történő felszerelése, másrészt a jelentkező új harcászati elveknek megfelelően teljesen új eszközök kifejlesztése. Külön tanulmány anyagát képezhetné az új fejlesztések igazán mélyreható ismertetése, ezért ezek bemutatásában csak a megoldandó feladatokra irányítanám a figyelmet, megemlítve előtte az eddigi fő feladatokat.

A közelmúltig az UAV-kat legnagyobb számban felderítésre, harcmező megfigyelésre alkalmazták, egyrészt mivel ez a feladat a pilóta által vezetett repülőek számára igen nagy veszélyt jelentett, az UAV viszont technikai paraméterei miatt sok esetben észrevétlen maradt az ellenség légvédelme számára. Másrészt ezen felderítési adatok az UAV-król valós időben jutnak el a felhasználóhoz.

A felderítésben még mindig elsőrendű jelentőségű az ellenségről és a harcsterületről szerzett képi-, elektor-optikai és akusztikai felderítés, mivel a harcot vezető parancsnokoknak ezek nagy segítséget nyújtottak a terep és az ellenség értékelésében majd ezek után a harctevékenység megtervezésében, végrehajtásában, vezetésében.

A különböző fedélzeti felderítő rendszerek lehetőséget nyújtanak általában egyszerű időjárási viszonyok között nappal és éjszaka a harcmezőről (vízfelszínről) készült két vagy háromdimenziós felvételek elkészítésére, melyekről nagy pontossággal meghatározhatóak az ellenséges objektumok, a veszélyes célok esetleg a kedvezőtlen környezeti (terep) hatások.

Már a korábbi UAV-k is felszerelhetőek voltak különböző típusú elektronikai felderítő berendezésekkel, melyek segítségével képesek voltak rádió és

## *A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK LEHETSÉGES FELADATAI*

rádiolokációs felderítés végrehajtására, meghatározva ezáltal egyrészt a felderített technikai eszköz települési helyét, szervezeti hovatartozását és működési paramétereit. Ezzel nagy segítséget nyújtottak a vezetési struktúrájának a felfedésében és a veszélyes célok (légvédelmi rakéták indító állásai) kiválasztásában és az ellenük való hatásos tevékenység megtervezésében.

Felhasználták továbbiakban őket rádióretranszlációra és egyéb adatátvitelre elsősorban a kis magasságon a közeli harcászati mélységben tevékenykedő helikopterek és nagyobb mélységben felderítési feladatot végrehajtó más UAV-kal való kapcsolattartásra. Ezekre a feladatokra kiválóan megfelelnek a helyből felszálló és hosszabb ideig egy helyben „lebegni” képes eszközök.

Ezen kívül végrehajtottak megtévesztő tevékenységet is, elsősorban a légvédelem különböző elemeinek (felderítő és rávezető rádiolokátor állomások) idő előtti tevékenységre készítésével, ami során felfedték a légvédelem aktív elemeit és elterelték a figyelmet a fő feladatot végrehajtó erők tevékenységéről.

Ez általában oly módon hajtották végre, hogy az UAV-kra szögvisszaverő felületeket erősítettek ezáltal megnövelték azok hatásos visszaverő felületét, melyet az ellenséges légvédelem úgy értékelt mint reálisan veszélyes célokat. Ezek azok a fontosabb feladatok amelyeket napjainkig az UAV-k képesek voltak megoldani.

De nézzük most meg milyen újszerű változásokat hozott az elmúl pár év és milyen irányú törekvések várhatóak a jövőben ezen eszközök alkalmazásában.

A fejlesztők igyekeznek nagy hangsúlyt fektetni a különböző rendszerek közötti helyes egyensúly megteremtésére. Ezért a fejlesztések minden esetben valamilyen UAV kategóriához kötődnek. Az eddig meglévő és felsorolt feladatok megmaradnak azzal a kiegészítéssel, hogy törekszenek az eszközök repülési paramétereinek javítására (repülési időtartam és távolság).

Egyrészt nagyobb teljesítményű de kisebb fajlagos tüzelőanyag fogyasztási jellemzőkkel rendelkező hajtóművek cseréjével és új aerodinamikai formák alkalmazásával, másrészt a fedélzeti berendezések méretének és súlyának csökkentésével az ezzel járó tüzelőanyag készlet megnövelésével vagy a toló/vonó erő és a súlyviszony javításával.

Elsőrendű feladattá vált az eszközök felderíthetőségének csökkentése, ezáltal túlélőképességük növelése. Ezt általában a radarvisszaverő felület csökkentésével, Stealth-technológiák alkalmazásával, a hajtóművek hangjának és esetlegesen hőkibocsájtási együtthatójának csökkentésével valamint irányított szűk sávú adatátvitellel kívánják elérni. Mivel nagyon gyakori volt az UAV-k vesztesége a feladatok végrehajtása utáni leszálláskor ezért fokozottabb figyelmet fordítanak a visszatérő rendszerek tökéletesítésére, elősegítve a minél többszöri felhasználást és a kedvezőbb megtérülést.

A megrendelők egyik prioritást élvező igénye a gyártókkal szemben a minden időjárási viszonyok közötti alkalmazhatóság kiszélesítése. Ennek érdekében a gyártók igyekeznek felszerelni az eszközöket a legmodernebb navigációs rendszerekkel (Inerciális, műholdas), amelyek biztosítják az UAV-k számára a sebészi pontosságú navigációt ezáltal a feladat végrehajtást is.

Új feladatként jelentkezik a meglévő fedélzeti eszközök (felderítő, adattovábbító, navigációs) felújítása, cseréje ezáltal a régebbi és az újabb eszközök közötti kompatibilitás megvalósítása, valamint új típusú berendezések (infra kamera, lézer megvilágító és távolságmérő, szintetikus rádiólokátor) beépítése, ezáltal új típusú feladatokban való részvétel.

Nem teljesen új de egyre markánsabban fogalmazódik meg az elektronikai zavarás feladataiban való részvétel. A megoldás egyik formája a hagyományos UAV, melynek hajtóműve képes elegendő elektromos energiát fejleszti az aránylag nagy teljesítményű zavaradó működtetéséhez.

Másik formája ennek az egyszer használatos, kisteljesítményű zavaradók UAV-ről történő kijuttatása a zavarandó berendezés közelébe. Ez a feladat egy UAV-val kisebb kockázattal és nagyobb valószínűséggel hajtható végre, mint egy hagyományos repülőgéppel.

Ugyancsak nem teljesen új feladat, de napjainkban egyre markánsabb az igény az UAV-k csapásmérésben való részvétel. Ez napjainkban két irányba mutat. Egyrészt mint egy hatásos segédeszköz a csapásokat kiváltó repülőgépek számára oly módon, hogy a nehezen felderíthető és megsemmisíthető UAV rejtetten kijut a cél körzetébe, azt infra eszközével megvilágítja, így a ténylegesen csapásmérő repülő eszköznek nem kell a légvédelem aktív zónájában tevékenykednie, csak meghatározott feltételek után rakétát indítania a célra.

A másik elképzelés (és megvalósítás) az, amikor az intelligens UAV felderítve és azonosítva a célját, annak nekirepülve megsemmisíti azt. Az egyik példány ebből a típusból az IAI által gyártott és rádiólokátorok elleni feladatra tervezett HARPY, a másik egy közös német-francia-angol UAV a TAIFUN amelyet földfelszíni, kemény célok (harckocsik, tüzérségi eszközök) ellen fejlesztettek ki. Mindkét eszköz önállóan deríti fel majd semmisíti meg kiválasztott célját.

A jövő évtizedben egyre markánsabb szerepet kívánnak adni az UAV-eknek az ellenséges légvédelem elleni tevékenységben, annak elnyomásában az első támadások alkalmával. Az ilyen jellegű feladatoknak igen nagy a kockázata (lásd öt angol Tornádó veszteség az Öböl-háború első hetében) mivel az ellenséges légvédelem ekkor még hatékony. Ennek a kockázati tényezőnek a csökkentése érdekében kezdődnek új kutatások.

Nagyon fontos feladat a minél gyorsabb és lehetőleg torzítás mentes, műholdas adatátvitel a felhasználók irányába.



## **LEHETSÉGES FELADATOK A NATO HARCÁSZATI LÉGIERŐ ALKALMAZÁSI FORMÁI KERETÉBEN**

Az ATP-33(B) a NATO harcászati repülő doktrínájának célja, hogy elősegítse a repülő-erőforrások hatékony alkalmazását a harcászati légi hadműveletekben és integrálja a nemzeti doktrínákban leírtakat. Alapelveket, ezáltal iránymutatást ad a repülőerők számára azok alkalmazására vonatkozóan a tevékenység sikere érdekében.

A NATO harcászati Légierő különböző szintű magasabbegységei, egységei és alegységei rendelkeznek különböző típusú és sok esetben eltérő feladattal bíró UAV-kkal. Ezek az eszközök részt vehetnek a különböző harcászati légi-hadműveletekben. A következőkben be kívánom mutatni azokat a légi hadműveleti fajtákat és azokon belül a konkrétan jelentkező feladatokat melyekre ezen eszközök felhasználhatóak. A harcászati légi hadműveleten belül a Légierő az alábbi légi hadműveleti formákban hajthat végre tevékenységet:

- Az ellenség repülő erői és eszközei elleni légi hadműveletek;
- Az ellenség felszíni erői és eszközei elleni légi hadműveletek;
- A tengeralattjárók elleni harctevékenység;
- Felderítés és megfigyelés;
- Harcászati légi szállítási műveletek;
- Támogató légi műveletek;
- Harcászati nukleáris légi hadműveletek.

A fenti hét hadműveleti formából négy olyan amelyben az UAV-k nem képesek hatékonyan tevékenykedni, ezek:

- Az ellenség repülő erői és eszközei elleni légi hadműveletek;
- Az ellenség felszíni erői és eszközei elleni légi hadműveletek;
- Harcászati légi szállítási műveletek;
- Harcászati nukleáris légi hadműveletek.

A tengeralattjárók elleni harctevékenység fajtából kivehetik a részüket, de mivel annak kicsi a valószínűsége, hogy ilyen tevékenység fajtával találkozhatnánk, eltekintenek az ismertetésétől.

Az előbbi ábrában sötét tónussal jelöltem meg azokat a feladatokat amelyekre a jelenleg rendszeresített UAV-k alkalmasak.

<b>AZ ALKALMAZÁS FORMÁI</b>				
<b>Az ellenség repülőerői és eszközei elleni légi hadműveletek</b>				
Légtér ellenőrzés	Támadó légi ellenállás	Védelmi szembenállás		
<b>Az ellenség felszíni erői és eszközei elleni légi hadműveletek</b>				
Támadó légi támogatás	Harctevékenységi körzet légi lefogás	Tengeri hadműveletek légi támogatása		
<b>Felderítés és megfigyelés</b>				
Harcászati légi felderítés		Megfigyelés		
<b>Légi szállítási műveletek</b>				
Légideszant hadműveletek	Légi logisztikai támogatás	Különleges feladat	Légi egészségügyi evakuálási feladat	
<b>Támogató légi műveletek</b>				
Elektronikai hadviselés	A légvédelem elnyomása	Légi utántöltő műveletek	Kutató-mentő műveletek	Kisgs. légi műveletek
<b>Tengeralattjárók elleni légi hadműveletek</b>				
<b>Harcászati nukleáris légi hadműveletek</b>				

1. ábra

A harcászati légi hadműveletek fajtái

**A HARCÁSZATI LÉGIFELDERÍTÉS ÉS A MEGFIGYELÉS** napjainkban még mindig a legfontosabb feladata az UAV-nak. Egyrészt a felderítési információkat a pilóták veszélyeztetése nélkül, éjjel nappal képesek biztosítani. Ez nagy segítséget jelenthet pl. az ENSZ csapatok számára, ellenőrizheti az embargók betartását, figyelhetik a fegyverzetek mozgását, azok illetve a tüzszünetek betartását. Másrészt a harctevékenységek során a közepes és a nagy hatótávolságú tüzérségi (hagyományos csöves és reaktív) eszközök hatékony működése is megfelelő felderítési adatokat igényel, a célok koordinátáinak meghatározásához és a csapás hatékonyságának biztosításához illetve eredményességének megállapításához. A légvédelem a felderítő repülőgépeket könnyen sebezheti, ezért a légi felderítés az UAV-k segítségével kisebb veszteségekkel oldható meg. Egy védelmi hadművelet megvívásakor, amikor a szinte korlátlanul manőverezhető ellenséggel szemben a védők csak korlátozott manővereket hajthatnak végre, nő az ellenségről megszerzett információ jelentősége, a parancsnokok szinte minden vezetési szinten rendszerint információ hiányban szenvednek. Az előljáró és a központi hírszerző szervektől kapott illetve



## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK LEHETSÉGES FELADATAI

a harcászati repülők által végrehajtott –igen korlátozott- légifelderítési adatoktól eltekintve a hdt.(ho) esetleg dd.parancsnokoknak csak az a minimális felderítési információ áll rendelkezésükre, melyeket a saját rendszeresített mélységi felderítő szervezeteik tudnak rendelkezésükre bocsátani. Ennek az információnak az átfutási ideje igen nagy, ezért sok esetben nem kielégítő, hiszen alig éri el az ellenség 10-15 km-es mélységét. Ezzel szemben egy közepes hatósugárral rendelkező felderítő UAV-k fedélzeti berendezései révén képes ellátni a különböző vezetési szinteket. Repülési időtartamuk (3-5 óra) biztosítja ebben a mélységben felderíteni az ellenség legfontosabb objektumait, felfedhetik annak várható tevékenységét. Végrehajthatják a tűzéréség és a csapásmérő repülők, harci helikopterek számára célfelderítést és tűzhelyesbitést illetve a végrehajtott csapások eredményeinek feltárását.

AZ ELEKTRONIKAI HADVISELÉS eszközei egyre fontosabb szerepet töltenek be a hadviselő felek arzenáljában. Az UAV gyártók filozófiája abban áll, hogy egy általános pilóta nélküli eszközt speciális fedélzeti berendezések variálásával számtalan feladatra lehet felhasználni. Ennek megfelelően ritkán találunk kifejezetten elektronikai harcra tervezett UAV-t. Ez természetesen nagy kihívás az elektronikai berendezéseket gyártó vállalatok számára, hiszen, az általuk gyártott eszközöknek egyidőben több követelménynek is meg kell felelniük. Illeszkedniük kell a már meglévő UAV-khoz (méret, súly, energetikai ill. elektromos ellátó rendszer paraméterei stb. ) és meg kell felelniük bizonyos harcászati követelményeknek ( különböző hullámtartományú és intenzitású iránymérés, zavarás stb.)Az UAV-vel az elektronikai felderítési és zavarási feladatokat képesek ellátni, melyek során végrehajthatják az ellenség üzemelő vezetési és fegyverzetirányítási rendszereinek, elektronikai objektumainak, azok szervezeti hovatartozásának, települési körzetének technikai jellemzőinek és az általuk továbbított információknak a feltárását. Ennek megfelelően az UAV-k fedélzeti berendezése különböző elektrooptikai (optikai és infravörös) rádiólokációs, rádió- és rádiótechnikai, hidroakusztikus és mágneses felderítő eszközökből vagy azok kombinációjából áll. Elektronikai zavarás (lefogás) során az UAV-k tevékenysége az ellenség technikai- felderítő, vezetési és fegyverzetirányítási rendszerei és eszközei működésének - aktív (esetleg passzív) zavarással történő - megakadályozására vagy megnehezítésére irányul. Ennek megfelelően az UAV- ket különböző rádió- és rádiótechnikai zavaró-berendezésekkel lehet ellátni. Felderítési feladataikat általában útvonalon, a zavarást meghatározott légterekből őrzőjáratossal hajtják végre. Az elektronikai felderítő feladatot alapvetően az ellenség támadó hadműveletének megindulása előtt hajtják végre a várható harctevékenységi körzetekben, míg a zavarási feladatokat a védelmi hadművelet folyamán.

A KUTATÓ-MENTŐ MŰVELETEK egyre inkább előtérbe kerülnek még egy modern háborúban is, hiszen egy jól kiképzett és felkészített személyzet elvesztése nagy veszteség a harcoló felek részéről. Elsődleges szemponttá vált az emberi élet megmentése, kimentése veszélyes helyzetekből. Így ezekben a műveletekben egyre nagyobb szerepet kapnak az UAV-k hiszen adottságaikat jól ki lehet aknázni. Az esetek nagy többségében ezeket a feladatokat az ellenség védelmének mélységében vagy nehezen megközelíthető területeken kell végrehajtani. Természetesen az UAV nem képes az adott személyzet megmentésére, viszont nagyon fontos információkhoz juttathatja azt a földi személyzetet, csoportot amely feladata lesz a bajba került személyzet mentése. Azonban képes rejtetten megközelíteni a bajba jutottat, akár éjjel vagy nappal jó vagy rossz időben. tájékoztatást tud nyújtani a mentő csoport részére a körzetben lévő ellenség elhelyezkedéséről, technikájáról akár úgy is, hogy ezeket az információkat folyamatosan átjuttassa számukra, akik így kisebb kockázattal tudják ellátni feladatukat.

A KÜLÖNLEGES LÉGI MŰVELETEK kategóriájában több speciális feladat is végrehajtható az UAV-kal. Ezek közül az egyik legfontosabb a MEGTÉVESZTŐ TEVÉKENYSÉG melyet általában a rejtéssel, imitálással, álcázással és dezinformálással kapcsolatos rendszabályokkal együtt alkalmazzák, másodlagos irányban, hogy ezáltal az ellenséges légierő és légvédelem erőit és eszközeit elvonják a saját repülőek fő tevékenységének irányától vagy a harctevékenységi körzetétől. A megtévesztés lehet hadműveleti vagy harcászati méretű. Ezt a tevékenységet a helyi háborúkban széleskörűen alkalmazták. A megtévesztő tevékenység egyik célja az ellenséges repülőek, főként a vadászipülőek idő előtti riasztása és kivezetésre készítése. Ezáltal gyengíthető a vadászipülő oltalmazás. Ezek az eszközök, mozgásparemétereik alapján - mint rádiólokációs célok - a helikopterekkel téveszthetőek össze.

Másik fontos feladat a híradás biztosítása. Híradást biztosító. Harctevékenység viszonyai között általában a legtöbb probléma a föld-föld (hajó-hajó) rádióösszeköttetéssel van. Ezek kiküszöbölése érdekében az UAV-k egyfajta rádió-retranszlátor szerepét töltik be. Fedélzeti berendezéseik segítségével képesek a kiválasztott egy, vagy több rádiófrekvencia vételére erősítésére és továbbítására. A mikrohullámú és a digitális technika fejlődésével elérték azt a színvonalat, hogy zavarmentes, adat- és rádióösszeköttetés folyamatos fenntartására is képesek.

Erre a feladatra az egyhelyben „függeszkező” forgószármvas eszközök igazán alkalmasak, de ugyanezt a feladatot más hagyományos felépítésű UAV is képes ellátni, mely meghatározott légtérben vagy útvonalon is repülhet. A repülési magasság pár száz méterrel történő „megemelése” a rádióösszeköttetés hatótávolságának több tíz km-rel való kiterjesztését eredményezi. Az UAV nagyon fontos technikai eszköz lehet a szárazföldi csapatok légi támogatásában résztvevő harcászati repülőek és főként harci helikopterek csapásainak a

## *A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK LEHETSÉGES FELADATAI*

végrehajtásakor. Ezek repülésüket földközeli magaságon a terepet kihasználva repülnek. Sok esetben fontos lenne ezeknek a repülő kötelékeknek az informálása pl. a harctevékenység során beállt változásokról, az ellenséges vadászrepülők tevékenységéről vagy új, fontosabb feladatokról. Más alkalmazási lehetősége a bekerítésben harcoló egységekkel, alegységekkel vagy az ellenség mélységébe átdobott légimobil harccsoporttal ill. harcászati légideszanttal való híradó összeköttetés biztosítása.

## **BEFEJEZÉS**

Jelen cikkben megpróbáltam egy rövid kis összefoglalást adni a pilóta nélküli repülő eszközök eddigi eredményeiről. Megpróbáltam összegezni az elkövetkezendő években bekövetkező fejlesztések, korszerűsítések várható irányait és bemutatni - nagyon szűk keresztmetszetben - azokat a feladatokat, melyeket ezek az intelligens légijárművek képesek végrehajtani. Az általam feldolgozott téma egyes részei már korábban megjelent más tanulmányokban is szerepeltek, más részük saját anyaggyűjtéseim és önálló gondolataim eredményei.

Bízom abban, hogy mind a kívülállók mind a témát ismerők számára hasznos olvasást jelentett.

## **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] ARATÓ JÁNOS, A repülő harctevékenységének tapasztalatai a helyi háborúban, ZMKA, 1980.
- [2] DAVID MULLHOLLAND, New Roles, Reliability Boort UAV Demand, Defense News, 1998, No.40,6-22
- [3] DAVID MULLHOLLAND, Defense Electronics Spending Projected to Rise, Defense News, 1998, No.42,3,42
- [4] GREGOR FERGUSON, Link to Global Hawk Boosts Australia's Surveillance Effort, Defense News 1999, No.10,38
- [5] Jane's Battlefield Surveillance System, Jane's,1992-1993
- [6] ROBERT HOLZER, U.S. Navy Considers Vertical Takeoff UAVs, Defense News, 1998, No.50, 22-26
- [7] SHARON DANNY, U.S. Test Could Lift Vertical Takeoff UAV Sales Globality, Defense News, 1998, No.23, 42

PALIK MÁTYÁS

- [8] DR.SZEKERES ISTVÁN, Az Öböl-háború légvédelmi vonatkozású tapasztalatai, ZMKA, 1992
- [9] TATORJÁN ISTVÁN, Harcászati légi hadműveletek, Hallgatói Közlemények, ZMNE, 1988. 2.évf. 2.sz., 117-185
- [10] UMIT ENGINSOY, Shortfall Hobbles Turkish UAV Buy, Defense News, 199, No.5, 1,19.

*The article reviews shortly the employ of the Unmanned Aerial Vehicles in the most important local wars, shoes the new trends of the UAVs expansion and presents the possibility of the practice in the Tactical Air Force of the NATO.*

## **Raiffeisen Bank**

*"A legjobb külföldi Bank Magyarországon 1998"*  
Euromoney

Szolgáltatásaink *magánszemélyek* részére :

- lakossági bankszámla forintban és devizában
- pénztári ügyletek
- bankkártyák
- forint- és devizabetétek
- bankszámlahitel, lakossági hitel
- értékpapírok, befektetési jegyek forgalmazása
- lízing ügyletek
- nyugdíjpénztár

Szeretettel várjuk leendő Ügyfeleinket Szolnoki Fiókunkban!  
Címünk: 5000 Szolnok, Szapáry út 22. Tel: 56/341-862, 56/341-867

 **Raiffeisen Bank**

*A pénz személyes ügyünk*



**Raiffeisen Bank**  
**"A legjobb külföldi Bank Magyarországon 1998"**  
*Euromoney*

Szolgáltatásaink *vállalkozások* részére:

- számlavezetés
- fizetési megbízások
- elektronikus bankszolgáltatás
- betéti szolgáltatások
- befektetések
- hitelezési tevékenység
- okmányos ügyletek
- treasury szolgáltatások
- letétkezelés
- tőkepiaci szolgáltatások
- pénzügyi lízing (gépek, járművek, ingatlan), tartós bérlet, ingatlanfejlesztés

Szeretettel várjuk leendő Ügyfeleinket Szolnoki Fiókunkban!  
Címünk: 5000 Szolnok, Szapáry út 22. Tel: 56/341-862, 56/341-867

 **Raiffeisen Bank**

## **Raiffeisen Bank**

*“A legjobb külföldi Bank Magyarországon 1998”*

*Euromoney*

Szolgáltatásaink önkormányzatok részére:

- számlavezetés
- befektetések
- hitelezés
- bankgaranciák kibocsátása
- cél- és címzett támogatásokkal megvalósuló beruházások bonyolítása
- pénzügyi tanácsadás, portfólió kezelés
- vagyonfelmérés, vagyonhasznosítás
- lízing finanszírozás
- kötvénykibocsátás
- önkormányzati kincstár

Szeretettel várjuk leendő Ügyfeleinket Szolnoki Fiókunkban!  
Címünk: 5000 Szolnok, Szapáry út 22. Tel: 56/341-862, 56/341-867

 **Raiffeisen Bank**

