

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM

REPÜLTISZTI INTÉZET

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK



XI. ÉVFOLYAM 28.SZÁM

1999/3.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
XI. ÉVFOLYAM 28. SZÁM
1999/3.

A ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM TUDOMÁNYOS LAPJA

Szerkesztette:

Békési Bertold mérnök százados

A szerkesztőség címe:

5008, 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

Lektori 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

Felelős kiadó: Dr. Szabó Miklós,
a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem rektora
Felelős szerkesztő: Dr. Hadnagy Imre József alezredes
Tervezőszerkesztő: Békési Bertold mérnök százados
Készült a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Repülőtiszt Intézet Nyomdájában, 150 példányban
Felelős vezető: Szepesi János

ISSN 1417-0604

TARTALOMJEGYZÉK

HADTUDOMÁNYI ROVAT

Hatos János Egy NATO-gyakorlat margójára	7
Jószai János A repülőcsapatok alkalmazásának lehetőségei a földi objektumok ellen, a béketeremtő és fenntartó tevékenységben és a terrorizmus elleni harcban	15
Kovács István – Semsei László A dugóhúzó	47

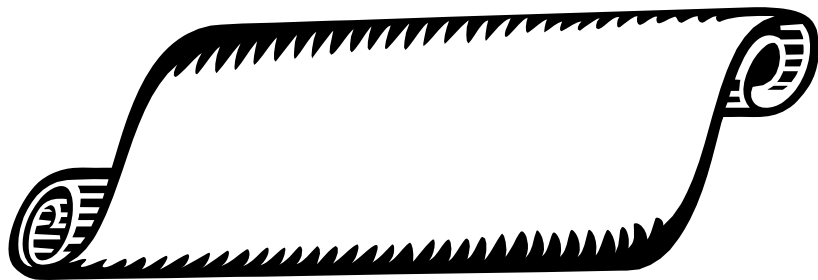
KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI ROVAT

Békési Bertold Lézergiroszkópok működési elve, egyenletei és átviteli karakterisztikái	61
Békési László – Dr. Szabó László A repülőgép szimulátorok és trenázs berendezések matematikai modellezésének jellemzői	75
Géczi József A GPS és a mozgatható térkép	85
Békési Bertold A repülőszerkezetek műszaki karbantartása	93
Kavas László Örvényáramos anyagvizsgálat a repülőgépek üzemeltetésében	105

MŰSZAKI TUDOMÁNYI ROVAT

Szabó Gyula – Teréki Csaba Az impulzuskompresszió radartechnikai alkalmazása	123
--	-----

Kovács Attila	
Automatizált mérésvezérlés	135
Teréki Csaba – Szabó Gyula	
Az elektromágneses kompatibilitás	145



HADTUDOMÁNYI ROVAT

ROVATVEZETŐ: DR. PINTÉR ISTVÁN

ROVATSZERKESZTŐK: DR. ÓVÁRI GYULA

KOVÁCS JÓZSEF

BÉKÉSI BERTOLD

EGY NATO-GYAKORLAT MARGÓJÁRA

**Hatos János alezredes
egyetemi adjunktus
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Hadtudományi Kar
Repülő tanszék**

1998 nyarán abban a szerencsében volt részem, hogy a 10 fős magyar kontingens tagjaként elutazhattam megfigyelőként egy NATO-gyakorlatra. A gyakorlat helyszíne Törökország volt, ahol három repülőtérről, Akinci, Erkilet és Konya légi bázisokról folyt a tevékenység vezetése és a végrehajtás is. A gyakorlat neve: Cooperative Key 1998, amelyet a Nápolyban települő Szövetséges Légierők Déli Parancsnoksága (HEADQUARTERS ALLIED AIR FORCES SOUTHERN REGION) tervezett és szervezett meg. A COMAIRSOUTH kidolgoztatta és minden résztvevő számára időben biztosította a gyakorlat végrehajtási utasítását (EXOPORD, EXERCISE OPERATIONAL ORDER), amelyet a felkészülés folyamán a szükségletek szerint módosítottak. Az EXOPORD példértékű lehet a jövőben tervezendő magyar gyakorlatok számára is. Rendkívül hasznosnak tartom, hiszen minden résztvevő vagy megfigyelő számára világossá válik a gyakorlat célja, résztvevői, a feladatok végrehajtásának részletes rendje, a biztosítások és a költségek is. A részletesség igénye nélkül, a kb. 250 oldalas dokumentum a következő főbb részekből áll:

- **ANNEX A:** EXERCISE AIM, OBJECTIVES AND CONCEPT OF EXECUTION (A gyakorlat célja, a gyakorlandó feladatok és a végrehajtás elgondolása)
- **ANNEX B:** ORGANISATION AND PARTICIPATION (Szervezeti felépítés és résztvevők)
- **ANNEX C:** COMMAND AND CONTROL (A vezetés és irányítás rendje)
- **ANNEX D:** OPERATIONS (A végrehajtandó tevékenység részletesen)
- **ANNEX E:** LOGISTICS (A mindenoldalú biztosítás)
- **ANNEX F:** COMMUNICATIONS AND INFORMATION SYSTEMS (Információs és összeköttetési rendszerek)
- **ANNEX G:** PUBLIC AFFAIRS/PROTOCOL (Sajtótájékoztató és protokoll)

- **ANNEX H:** BUDGET AND FINANCE MEMORANDUM OF UNDERSTANDING FOR EXERCISE COOPERATIVE KEY 1998 (Az 1998-as COOPERATIVE KEY gyakorlat részletes költségvetése és annak biztosítása)
- **ANNEX I:** ORDERS AND REPORT (A parancsok és a jelentések gyakorlaton használatos szabványformái)
- **ANNEX J:** POINTS OF CONTACTS (A gyakorlattal kapcsolatos kérdések esetén keresendő személyek telefon- és faxszámai felelősségi területek szerint)
- **ANNEX L:** DISTRIBUTION LIST EXOPORD (Elosztó lista)

Az EXOPORD kivonatolt tartalomjegyzékéből látni lehet, hogy a gyakorlat előkészítése, tervezése minden területre kiterjed és azon belül pedig minden, a gyakorlat számára jelentőséggel bíró apró részlet ki van dolgozva, fenntartva a változtatás lehetőségét. Valamennyi résztvevő vagy megfigyelő betekintést nyerhet a dokumentumba, ezen keresztül is biztosítva, hogy a résztvevők számára világos legyen a gyakorlat célja, a megoldandó feladat(ok), saját helye, szerepe a gyakorlaton belül, amely egyébként a sikeres végrehajtás katalizátorának tekinthető. A későbbiekben, az általam megfigyelt terület kiemelt bemutatásánál kiderül, mennyire részletes az EXOPORD.

A gyakorlaton 15 ország 664 fővel vett részt, ebből 8 ország repülőeszközökkel is (30 db harcászati vadászrepülőgép, 16 db szállítógép és helikopter, valamint 1 AWACS a NATO NAEWF állományából).

Románia 51 fővel, 2 db MIG–21 (egy izraeli cég segítségével modernizált MIG–21), 1 db C–130 és 1 db IAR–330H repülőeszközökkel;

Szlovákia 27 fővel, 3 db MIG–29 és 1 db AN–26 repülőeszközökkel;

Bulgária 34 fővel, 2 db SU–25, 1 db AN–26 és 1 db MI–17 repülőeszközökkel;

Érdekességképpen megemlítem, hogy Magyarország 10 fővel, repülőeszközök nélkül vett részt a gyakorlaton, *annak ellenére, hogy a NATO-hoz való csatlakozás tekintetében potenciálisan Magyarország szerepel az első ütemben taggá válók sorában.*

A gyakorlat egy elképzelt szituációra épült, amelyben egy ország polgárháborús helyszínné vált, felborult a törvényesség és a rend, az ország elnöke kérte az ENSZ-t, hogy segítsen megoldani a helyzetet, hiszen a menekültek tömege árasztotta el a szomszédos országokat, amely a krízis ezen országokra való kiterjedésével is fenyegetett. Az ENSZ által kezdeményezett béketárgyalások nem vezettek eredményre, így a szomszédos országok határozott kérésére az ENSZ feladatot szabott a NATO számára, hogy nemzetközi erők bevonásával hajtson végre egy Béke Támogató Tevékenységet, megakadályozni a konfliktus eszkalálódását, csökkenteni a polgári lakosságnak okozott károkat, szenvedéseket, megoldást keresni a menekültválságra.

Ebben a szituációban kell a NATO-országok és a békepartnerségi kapcsolatban levő országok kijelölt fegyveres erejének a Béke Támogató Tevékenység keretén belül végrehajtani a korábban már gyakorolt, különböző interoperabilitási célkitűzésekben meghatározott műveleteket, úgy mint:

- Practice the Elements of Deployments: A szétbontakozás gyakorlása.
- No-Fly Zone Enforcement: Tiltott repülési zóna felállítása és a repülési tilalom betartása, őrzőbeállítás megszervezése és biztosítása vizuális azonosítás végrehajtása és a jogtalanul behatoló légi járművek elfogása.
- Close Air Support: Szárazföldi csapatok légi támogatásának gyakorlása, földi célra való rávezetésekkel és a fegyverek használatával, imitálásával.
- SAR (Search and Rescue) and MEDEVAC (Medical Evacuation): A kutatómentő tevékenység és az evakuálás gyakorlása
- Air drop: Csapatok kidobásának gyakorlása a megadott körzetben

A gyakorlat július 15–24-ig tartott, amelynek szakaszai:

- július 15–18: az erők és eszközök szétbontakozása
- július 19: nyitó ünnepség, adminisztráció, eligazítás
- július 20: az ismerkedést, összekovácsolódást szolgáló feladatok, repülési feladatok végrehajtása
- július 21–23: a különböző jellegű gyakorlatok végrehajtása, aktív szakasz
- július 24: Záró ünnepség repülőbemutatóval egybekötve

A 10 fős magyar delegáció különböző települési helyen és beosztásokban hajtotta végre feladatát. Az én megbízatásom KONYA légibázisra szólt, ahonnan a NAEWF (NATO AIRBORNE EARLY WARNING FORCE) egy E-3A típusú repülőgépe szállt fel minden repülési napon az aktuális repülőtevékenység irányítására. A nálunk AWACS-ként is ismert repülő harcálláspont tevékenységét figyeltem meg a feladatra való közvetlen felkészüléstől kezdve, a feladat végrehajtáson keresztül a feladat végrehajtásának értékeléséig.

Mielőtt a megfigyelésekről beszámolok, röviden ismertetem az E-3A repülőgépet és a szervezetet, amelyben alkalmazzák.

A NATO AEWf települési helye a németországi NATO Légi Bázis Geilenkirchen, ahol 17 db NATO-tulajdonban lévő E-3A teljesít szolgálatot. NATO-fogalmakkal ezt a települési helyet MOB-nak (Main Operating Base, Fő Üzemeltető Bázis) nevezik, ugyanis nem ez az egyetlen bázisuk, 3 FOB-t (Foreward Operation Base, Előretolt Üzemeltető Bázis) alakítottak ki Európában:

- Törökországban: Konya
- Görögországban: Aktion
- Olaszországban: Trapani
- és ezen kívül egy FOL-t (Foreward Operating Location, Előretolt Üzemeltető Hely):
- Norvégiában: Oerland

Az E-3A repülőgép tulajdonképpen egy Boeing 707, amelyet felszereltek minden olyan eszközzel, amellyel fő funkcióit, a felderítést, vezetést, irányítást és az összeköttetések biztosítását el tudja látni.



Néhány fontos paramétere:

- beszerzési ár: (1997. júniusi áron) 70 millió USA dollár
- méretei:
 - hossza: 46,68 m
 - fesztáv: 44,45 m
 - magasság: 12,70 m
- sebessége: 800 km/h felett
- szolgálati magassága: 9000 m felett
- maximális felszálló súly: 147 429 kg
- maximális repülési idő: 10 óra légi utántöltés nélkül, minden gép alkalmas légi utántöltésre
- fegyverzet: nincs
- radar:
 - átmérő: 9,1 m
 - magasság: 3,35 m
 - vastagság: 1,8 m
 - forgási sebesség: 6 ford/perc

- felderítési lehetőség: 30 000 lábon repülve
 - 400 km, kismagasságon repülő légi cél és 520 km közepes magasságon repülő légi cél esetén
- Személyzet:
- repülő személyzet:
 - 2 pilóta
 - 1 navigátor
 - 1 fedélzeti mérnök
 - a felderítést és harcirányítást végző személyzet a feladattól függően változik általában:
 - 1 fő harcászati vezető
 - 1 fő vadász elosztó
 - 3 fő harcirányító (weapons controller)
 - 1 fő légtérfelderítést irányító
 - 3 fő légtérfelderítést végző
 - 4 fő technikai biztosítást végző.

A NATO AEFW a 17 db E-3A-n kívül rendelkezik 3 db TCA-vel (Trainer Cargo Aircraft), amely alkalmas a légi utántöltés és egyéb repülési feladatok gyakorlására, valamint az E-3A-k alkalmazásával kapcsolatos szállítási feladatok megoldására. Utasszállító tere 69 utas befogadására alkalmas e mellett 7 db 3630 kg-os konténer fér a rakterébe.

A Cooperation Key 1998 gyakorlaton az E-3A funkciója összetett volt, a gyakorlat különböző fázisaiban más és más feladatokat oldott meg. Minden repülési napon 8.00-tól–16.30-ig hajtott végre repülést, és a számára kijelölt légtér elfoglalása után teljesítette felderítési és irányítási feladatait. A kijelölt légtérben FL 260 (26 000 láb) magasságban körpályára állt 800 km/h sebességgel, egy kör 20 percig tartott, a berendezéseket 15–20 perc alatt tudták üzemkész állapotba helyezni, amelyet csak a repülőgép körpályára való állása után lehetett megkezdni, előtte a kezelőszemélyzet a számára biztosított ülésben kellett, hogy tartózkodjon, bekapcsolt biztonsági övvel.

A feladatok közül kiemelek egyet, röviden bemutatva a mindenre kiterjedő előkészítést.

A feladat légi járművek elfogása vadászrepülőgéppel, amelyhez a rávezetést az E-3A biztosítja.

A feladatra való felkészüléshez az EXOPORD tartalmazza a repülési körzet leírását, a fel- és leszálló repülőterek részletes leírását, amely a repülőtér minden elemét bemutatja, kezdve a futópálya pontos helyétől, irányától a repülőtér berendezésein keresztül a repülőtéren alkalmazott szabvány gurulási eljárásig.

A következő szakaszokra osztották fel egy ilyen jellegű feladat végrehajtását:

— felszállás és szabvány emelkedés,

- bejelentkezés az E–3A-hoz,
- kirepülés az őrzáratozási körzetbe,
- őrzáratozás;
- az elfogás végrehajtása;
- hazarepülés;

Minden egyes szakasz részletezve van a szabvány eljárások és használatos frekvenciák leírásával. Emeljük ki az elfogást.

Az elfogások biztonságos végrehajtásához kidolgozták:

- szabvány kifejezéseket az irányító és a repülőgép-vezető számára, például:
 - BANDIT: ellenséggént azonosított repülőeszköz;
 - KNOCK IT OFF: váljon ki;
 - TALLY HO: szabad szemmel látom a célt.
- az elfogások biztonsági rendszabályait, például:
 - Csak a gyakorlaton részt vevő repülőeszközt lehet elfogni;
 - Éles rakétát nem szabad használni, a gépágyúba lehet;
 - behevederezni, de nem szabad kibiztosítani;
 - mikor tilos elfogást végrehajtani;
 - mikor kell befejezni az elfogást;
 - milyen feltételek mellett lehet földközeli magasságban elfogást végrehajtani;
 - sebesség korlátozások;
 - kötelező elkülönítések.
- az elfogás végrehajtásának szabvány leírását, például:
 - milyen módszerrel történhet a rávezetés;
 - sikeres vizuális azonosítás után lehet csak megkezdeni a fegyverzet alkalmazásának imitálását.

Az ilyen részletesen meghatározott feltételrendszert és a feladat végrehajtást természetesen a résztvevőknek át kell tanulmányozni, tökéletesen ismerni kell saját feladatukat.

A konkrét repülési feladat előtti napon az E–3A teljes állományának eligazításon kellett részt venni. Nekem is mint megfigyelőnek, ahol szolgálati ágaknak megfelelően a felelős személyek jelentettek az előkészületekről és tájékoztatást adtak a következő napi feladatokkal kapcsolatos, mindenre kiterjedő biztosítási tevékenységről. Példával illusztrálnám, hogy a hadtápbiztosításért felelős tiszt-helyettes mindenkivel, aki másnap repült, kitöltetett egy büfét és ebédet igénylő nyomtatványt, amely alapján másnap reggel a fedélzeten voltak a névre szóló, élelmiszert tartalmazó dobozok. A harcirányító munkát vezető elmondta a végrehajtandó konkrét tevékenységet, majd vélemények nyilvánítására és kérdések feltevésére adtak lehetőséget.

Az eligazítás végén közölték a kötelező takarodó időpontját és a másnap reggeli repülés előtti közvetlen eligazítás időpontját.

A feladat végrehajtásának napján, másfél órával a felszállás előtt tartották meg a közvetlen repülés előtti eligazítást, amelyben közölték az aktuális időjárást, a feladatban esetleg beállt változásokat, majd időegyeztetés után megadták, mikorra kell a fedélzeten lenni. Közölték, hogy a személyzeten kívül kik tartózkodnak és milyen jogcímen a repülőgépen az aznapi repülés folyamán.

A felszállás és a tevékenységi körzetbe való kirepülés alatt mindenki a kijelölt ülésben tartózkodott, majd a kijelölt légtér elérése után a repülőgép körre állt és a személyzet megkapta az utasítást a berendezések bekapcsolására és üzemkésszé tételére. Az üzemkész állapot elérése kb. 15–20 perc normál bekapcsolási eljárás esetén, létezik egy gyorsított bekapcsolási mód is, azonban azt csak szükség esetén alkalmazzák, veszélyeztetve a berendezések tartós használhatóságát. A helyes működés megállapítása után bejelentették az üzemkész állapotot és a megjelölt időben megkezdték a repülő tevékenység biztosítását. Repülésmentes övezet (No-Fly Zone) volt kijelölve, amely mellett vadászipülőgépek őrjáratozási légtérben manővereztek, készen állva a szabálysértő repülőeszközök elleni tevékenységre. Terv szerint érkezett a „szabálysértő” helikopter, amelyre az E-3A rávezette a vadászgéppárt, azonosították vizuálisan is, majd kikísérték a tiltott övezetből, ugyanezt nagyobb sebességű repülőgéppel szemben is gyakorolták a vadászok. A légi harc gyakorlását, amely végül imitált fegyverzethasználattal végződött, úgy oldották meg, hogy a kijelölt légtér egyik széléről indult az egyik vadászgéppár egy „fighter controller” (vadászirányító) segítségnyújtása mellett, míg a másik géppár a légtér másik széléről a „fighter allocator” (vadász elosztó) által kijelölt másik „fighter controller” irányítása alatt. A pilóták a repülőgép elektronikai felszereltségétől függően két típusú célravezetést kérhettek a vadászirányítóktól:

- „loose control”-t a jó fedélzeti számítógéppel és rádiólokátor állomással rendelkező vadászipülőgépek vezetői kértek, amely esetén a vadászirányító a pilóta által is ismert és megjeleníthető viszonyítási ponthoz képest (Bulls Eye) adja meg a feltételezett ellenség helyzetét, amelyet aztán a pilóta önállóan felderít és megvívja ellene a légi harcot. A célról való információcsomag tartalmazza a cél sebességtartományát és magasságtartományát;
- „close control” szolgáltatást a gyengébb fedélzeti elektronikai eszközökkel rendelkező vadászgépek kaptak, amely esetén a légi cél helyzetét az elfogó vadászgéphez viszonyítva adja a vadászirányító, ugyanakkor tájékoztatást ad a légi cél magasságáról, sebességéről és haladási irányáról.

Érdekes szituáció volt, amikor 2 db MIG-29-es vívott légi harcot 2 db F-16-ossal, az F-16-os pilóták „loose control”-t vettek igénybe és mellő féllegtérből imitálni tudták a rakétaindítást, ugyanakkor a MIG-29-es pilóták „close control” segítségével a 2 db F-16-os hátsó féllegterébe való fordulás után tudtak csak sikeres

rakétaindítást elérni. Természetesen egy ilyen szituációból nem lehet messzemenő következtetéseket levonni, hiszen más környezetből érkeztek a pilóták, a kiképzettségük sem biztos, hogy azonos szinten volt, így nem lehet közvetlenül felhasználni az eredményt, például a két típus összehasonlításához.

A vadászrepülőgépek két kiindulási helyzetből hajtották végre a különböző tevékenységet, űrjáratozási légtérből és repülőtéri készülségből. Másik fajta felosztás szerint a vadászrepülőök végrehajtottak olyan feladatokat, amelyekre fel tudtak készülni, hiszen korábbi kérés alapján tevékenykedtek, ugyanakkor gyakorolták egy új igény vagy kérés azonnali végrehajtását, amely a feladathoz való más jellegű hozzáállást igényelt.

A pilóták gyakorolhatták az E-3A irányításával a földi célok támadását a fegyverhasználat imitálásával, amely során az E-3A-n irányítást végző „weapons controller” nagy pontosságot követelt meg a pilótától térben és időben. Az E-3A irányító személyzete segítséget nyújtott a kutató-mentő feladatot ellátó repülőeszközök számára és légtérbiztosítással segítették a menekültek evakuálását végző légi járműveket.

Az E-3A fedélzetén dolgozó irányítók váltással rendelkeztek, így időnként fel-frissítő szünetekre kiszállhattak egy irányító pozícióból, majd egy másik pozícióba ültek le dolgozni.

A váltást a harcászati vezető irányította, aki az egész tevékenységért felelt.

Az aktív repülő tevékenység befejeztével a kezelők utasítást kaptak a kikapcsolásra, majd a pilóta kikapcsolta a robotot — amely a tevékenység teljes ideje alatt köröztette a repülőgépet, 1 kör ideje 20 perc volt, ez azt jelenti, hogy a fedélzeten egyenes vonalú repülésnek tűnt a nagyon enyhe bedöntésű forduló —, majd a leszálló repülőtér felé fordulva egyenes bejövettel leszállt.

A leszállás után jól begyakorolt csapatként, hangos utasítások nélkül kiszedték az objektív control anyagokat, és speciális táskákban levitték a fedélzetről a kiértékelő csoporthoz. A leszállás után rövid frissítőfogyasztás után megkezdődött a feladat végrehajtás értékelése, majd felkészülés a másnapi repülésre, és a kötelező pihenés kezdőpontjának meghatározásával újraindult a tevékenység, ahonnan elkezdtem az ismertetést. Az értékelés során az irányítók kiemelték a néhány esetben előforduló felkészülési hiányosságot, amely abban nyilvánult meg, hogy néhány pilóta nem ismerte pontosan a feladat végrehajtást, időbeni tévesztés is előfordult a pontosan kijelölt helyek ismeretének hiánya mellett.

A gyakorlat egészéről, a tervezéstől a végrehajtásig, csupa pozitív dolgot lehet megemlíteni, hozzáteszem, hogy a gyakorlat általam átlátható részét tekintve. Feltétlenül hasznos az ilyen jellegű gyakorlatokon való részvétel, valószínűleg még a konkrét repülő erővel való részvétel költsége is jól megtérülő befektetésnek tekinthető.

A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA

**Jószai János határőr alezredes
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Hadtudományi Kar
Határrendészeti és védelmi tanszék**

BEVEZETŐ

Kevéssel a század, illetve ezredforduló előtt nem csak a politikusoknak és politológusoknak kell számtalan vadonatúj problémával szembesülniük, hanem a különböző tudományok művelőinek, köztük a hadtudósok —szerencsére egyre bővülő — táborának is. Bizonyos szempontból, 10 évvel ezelőtt, a hidegháborús korszak végén a tudományos vizsgálódás szempontjából jobb, egyszerűbb és áttekinthetőbb volt a helyzet. Azóta számtalan új és megválaszolatlan kérdés vetődött fel, miközben a világ két fele sok szempontból — például a szegénység és gazdagság, a fogyasztói társadalmakra jellemző óriási ütemű fejlődés és a totális elmaradottság szempontjából — tovább távolodik egymástól.

Ezzel egy időben tovább mélyülnek az egész földet és az egész emberiséget veszélyeztető globális válságjelenségek, kezdve az ásványi kincskészletek kimerülésétől a minden képzeletet felülmúló környezetszennyezésen át, az állat- és növényfajok eltűnéséig, az időjárás ijesztő méretű megváltozásáig és az ózonlyuk kialakulásával járó, még csak meg sem becsülhető veszélyek megjelenéséig. Szinte valamennyi tudományág új válaszokat keres. A tudományok fejlődése eközben, a felpörgött folyamattal egy időben, az információs forradalomnak köszönhetően — a világ gazdagabbik felén — hihetetlen mértékben felgyorsult. Ma már Magyarországon is, egy egyszerű és nem is túl jól fizetett egyetemi oktató nem csak a munkahelyén tud számítógépen dolgozni, hanem otthonra is vehet PC-t, és elérheti az Internetet.



Ha kissé megváltozik a szemléletmód, és a dolgozóknak elhiszik, hogy ott-hon is képesek hatékony alkotómunkát végezni, szakítva a blokkolóóra mentálitással, a tudományos kutatómunka előtt a fejlődés új lehetőségei állnak.

Tíz éve, a két vilárendszer szembenállásának megszűnése óta, a világban végbemenő folyamatok új erőviszonyok kialakulása felé mutatnak. Új válságok és veszélyek alakultak ki. A nemzeti hadseregeknek és szövetségi rendszereknek új kihívásokkal kell szembenézni és új feladatrendszereknek kell megfelelni, mégpedig egy rohanó ütemben fejlődő világban, egy nehézkesen változó és nagyon sérülékeny világ gazdasági rendszerben. A felhalmozott hadianyag készletek komoly veszélyt jelentenek. Bármikor megjelenhet egy jelentősebb, jól szervezett nemzetközi terroristacsoport¹, egy vallási fanatikusokból álló, könnyen irányítható és befolyásolható tömeg, egy-vagy több, komoly anyagi erőforrásokkal rendelkező diktátor vagy hadúr. Semmi sem garantálja jelenleg, hogy a világ nem rohan ismét egy nagy háborúba. A II. világháború óta bekövetkezett és jelenleg is folyó kisebb-nagyobb helyi háborúk, népirtások, fegyveres konfliktusok és terrorcselekmények magas száma — különösen, ha figyelembe vesszük a világon jelenleg felhalmozott fegyverek és egyéb pusztítóeszközök minőségét és mennyiségét — nem sok jót ígér.

¹ A volt Szovjetunióban, illetve a világ számtalan országában magasan képzett, nem egy esetben széleskörű gyakorlati tapasztalattal rendelkező „szakemberek” sokasága maradt ideiglenesen munka nélkül a hadseregek átszervezésnek elnevezett leépítése során. „Tudásuk” kamatoztatása sok érdekcsoportnak érhet meg egy kis anyagi befektetést. Manapság meglehetősen könnyű bér-gyilkost vagy zsoldost fogadni.

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

Egy dolog azonban mind a mai napig nem változott. Valamennyi hadsereg annak a társadalomnak a tükörképe, amely kiállítja. A célokat, amelyekért küzd és ahogyan küzd, az határozza meg, mit akar elérni az adott társadalom a háborúval és mit vár el a hadseregétől. Ez a nemzeti haderőkre és a szövetségi rendszerekre egyaránt érvényes.



Régiókban a II. világháború óta, az 1956-os és 1968-as események, az 1980-as évek végén többé-kevésbé békésen bekövetkezett változások, valamint a délszláv válság (és polgárháború) kivételével — szerencsére — nem következett be háborús konfliktus. Ugyanakkor a frissen alakult demokratikus államoknak egy sor gazdasági és politikai feszültség adta föl az igen nehéz leckét. Új kihívások sorával kell szembenézniük. A migráció, a munkanélküliség, a terrorizmus, az embercsempészet, a kábítószeres, a szervezett és a nemzetközi bűnözés valósággal rászakadt a régió társadalmaira. Csak tíz év elteltével kezdenek el kibontakozni a megfelelő válaszlépések lehetőségei. Napjainkig a politikai élet szereplőinek járatlansága, hozzá nem értése, a túl sok megoldatlan probléma, a törvényhozás túlterheltsége és nem utolsósorban a hatalomért folyó harc, valamint a jogszabály-rendszer hiányosságai kedvezőtlen irányba vitte a rendszerváltást, amelynek így jóval kevesebb lett a nyertese és jóval több a vesztese a szükségesnél. Mindeközben a fegyveres erők és rendvédelmi szervek gyökeres átalakuláson mentek át, szinte önvezérlő módon, és eljutottak a mennyiségi átalakulás utolsó fázisáig. Ma a minőségi átalakítás és az új feladatoknak megfelelő szervezeti-, eszköz- és feladatrendszer kialakítása van soron.

Jelen dolgozatban — kapcsolódva a doktori képzés keretében kidolgozni tervezett témához ² — vizsgálni kívánom a légierő szerepét, a szárazföldi objektumok veszélyeztetettségét és őrizetük, oltalmazásuk, valamint védelmük lehetőségeit, figyelembe véve a megváltozott körülményeket és ezen belül elsősorban a légierő, valamint a korszerű, mozgékony, nagy hatékonyságú hivatásos (profi)

² A Magyar Köztársaság határőr szervezetei objektumainak őrizete és védelme.

hadseregek és a különleges erők új lehetőségeit. Az anyag összeállításában a feltüntetett felhasznált irodalom mellett az Internet nyújtotta — elképesztően nagy — lehetőségeket³ is igyekeztem kihasználni.



ÚJ FEGYVEREK, ÚJ TÍPUSÚ HÁBORÚK

Napi hír: az izraeli légierő és a nehéztüzérség, válaszul a terrorcselekményre, csapást mért a Hezbollah libanoni feltételezett állásaira, illetve bázisaira. Furcsa háború ez Izrael részéről, amely 50 éve folyamatosan tart. A XX. századi közéleti háborúkra amúgy is jellemző a repülőeszközök széles körű, tömeges alkalmazása. Az 50. születésnapját ünneplő (izraeli) fegyvernem fejlődéstörténetét és hadműveleteinek történetét sok országban oktatják a katonai felsőoktatásban.

Kolumbiában a polgárháború csak tavaly körülbelül 35 000 áldozatot követelt. A volt Jugoszlávia, Bosznia és Koszovó a közvetlen közelünkben, határainktól pár kilométerre szintén véres polgárháború és népirtás tanúja. Tömegmészárlások, háborús bűnök, nemzetiségi ellentétek — és nem csak ez a két példa hozható fel. Jelen pillanatban is 32 helyi háború folyik, bárminek is nevezzék azokat.

³ A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen rendelkezésre álló Internet elérés lehetőséget nyújt arra, hogy a világhálón fellelhető rendkívül (sőt kissé már túlfűtött) bőséges anyagot a lehetőségekhez képest behatóan tanulmányozzuk, képeket és szakirodalmat gyűjtsünk, illetve töltsünk le és kapcsolatot teremtsünk hazai és — idegen nyelv(ek) ismeretében — külföldi szakemberekkel.

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

Valamennyi eddigi háború tapasztalataiból egy következtetés biztosan levonható. Mindegyiket az előző háborúk gyakorlati tapasztalatai alapján levont következtetésekre épülő elméleti okfejtések, direktívák, koncepciók szerint próbál-



ták megvívni. Az újonnan vívott háborúk folyamán rendre, az azóta bekövetkezett társadalmi változások és technikai fejlődés természetesen új módszerek, vezetési stílus, illetve új és még újabb pusztítóeszközök, valamint az azok elleni védekezés bevezetését tették szükségessé. Az újítások bevezetésének ára gyakran igen magas volt, emberéletek százaiba, később ezreibe, tíz, százezreibe, majd ebben az évszázadban millióiba került. Erre többek között az I. világháborúban kialakult és évekre megmerevedett állóháború minden képzeletet felülmúló veszteségei és áldozatai mutatják a legjobb példát. Ekkorra ugyanis a fegyverek tűzereje, a korszerű nagyiparon alapuló utánpótlás, a korszerű logisztikai rendszerek kiépülése és a sorkötelesek megfelelő száma — és nem utolsósorban könnyű és gyors kiképezhetősége — a hadviselő felek lehetőségeit és erőviszonyait közel egyenlővé tette.

A II. világháborútól napjainkig eltelt — történelmi szempontból igen rövid — időszak alatt láthattunk példákat azonos erejű ellenfelek közti összecsapásokra⁴ és eltérő feltételekkel rendelkezőkre is. A két világrendszer is összemérhette erejét nem egy — szerencsére világháborúba nem torkolló — helyi háborúban és háborúig nem fajuló konfliktusban⁵.

A történelem során egyre rövidültek azon időszakok, amikor a hadvezéreknek aránylag állandó elemeket lehetett alkalmazni a hadviselés során. Ilyen szempontból Wellington például szerencsés volt, hiszen egy olyan, majdnem két

⁴ Számtalan belháború, törzsi háború és polgárháború példa erre.

⁵ Korea, Kambodzsa, Vietnam, kubai válság stb.

évszázados időszak tetőpontján vezethetett hadsereget, amelyben szinte semmit sem változott a hadviselés. A lőpor már a XVI. században forradalmasította a harcteret, szertefosztatva a hadviselés négyezer éve alkalmazott alapszabályait, társadalmi változásokat is vonva maga után, hiszen kémiai energiával helyettesítette a testi erőt. Ezáltal az izmos hivatásos harcossal egy szintre emelte a rosszul táplált és sietősen kiképzett katonát, és a lovas méltó párjává, ellenfelévé tette a gyalogost. Ugyanakkor átrendezte a hatalmi viszonyokat, és úgy hatott a központosított erős államhatalmak kialakulása irányába, mint addig semmi más.

A lőpor felfedezésétől az újabb korszakig, a tömegpusztító (ABV) fegyverek megjelenéséig, történelmi léptékkal mérve igen rövid idő telt el. A legújabb forradalmi változást az információs forradalom és a nagy találati pontosságú pusztítóeszközök megjelenése — valamint a géntechnika és ki tudja még, mi minden — hozta, illetve hozza.

Ugyanakkor megjelent az államilag már a második világháború során is alkalmazott, azonban mára a „szegény” államok, a különböző szélsőséges politikai szervezetek és vallási irányzatok alapvető és sajnos egyre gyakrabban alkalmazott „fegyverévé” vált terror, amely nem más, mint megkülönböztetés nélküli támadás.

Ide sorolható minden olyan erőszakos cselekmény vagy azzal való fenyegetés, amelynek elsődleges célja, hogy rettegést keltsen a polgári lakosság körében, jóllehet a fegyveres erőknek elvileg tilos polgári lakosság ellen megtorlásként támadást intézni. A terror azonban mára – kevés kivételtől eltekintve - nem elsősorban a fegyveres szervezetek részéről fenyegető veszély.

A Hadtudományi Lexikon szerint: „rettegést keltenek a különféle kegyetlenségek, kollektív büntetések, kegyelem kizárásának bejelentése és a támadás megfélemlítést célzó esetei is. Megkülönböztetés nélküli, ezért (a fegyveres erők részére⁶) tiltott az olyan támadás, amely nem meghatározott katonai célpont ellen irányul, vagy amely során olyan harcmódot vagy harceszközt alkalmaznak, amelyek nem lehet meghatározott katonai célpont ellen irányítani, vagy amely



hatását nem lehet megfelelő módon korlátozni, és ezért minden ilyen esetben

⁶ A szerző megjegyzése.

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

megkülönböztetés nélkül, egyaránt sújtja a katonai célpontokat és a polgári sze-



mélyeket és a polgári javakat. Megkülönböztetés nélküli többek között az olyan bombázás, amely egyetlen katonai célpontnak tekint több, egymástól különálló és jól megkülönböztethető katonai célpontot városban vagy más lakott helyen, vagy más olyan helyeken, ahol polgári személyek, illetve polgári javak tömörülnek. Megkülönböztetés nélküli továbbá az olyan támadás, amely a polgári lakosság körében feltehetően annyi áldozatot követel és annyi sebesültet okoz, valamint a polgári javakban olyan kárt idéz elő, hogy azok önmagukban vagy együttesen meghaladnák a támadástól várható konkrét és közvetlen katonai előny mértékét⁷. Ilyen megítélésűek a zóna-, övezet- és szőnyegbombázások. Kifejezetten terrorfegyver volt a német hadvezetés által a II. világháborúban használt 1944. június 16-tól London ellen bevetett „csodafegyver”, a V-1⁸ nevű pilóta nélküli szárnyas bomba. 1944. szeptember 8-tól a még hatékonyabb V-2 rakétával támadták Párizst, Brüsszel és más városok polgári célpontjait. Ezek előrejelzésére nem volt mód. Válaszul az angol hadvezetés, Churchill javaslatára, a „Thunderclap”⁹ fedőnevű terv során terrorbombázással támadta 1945. február 18-án Drezda lakosságát 805 angol bombázó repülőgéppel, majd ápr. 14-én 500 bombázóval Potsdam polgári célpontjait.”

A fenti idézet jól tükrözi az új típusú háborúk lényegét. Mára elmúlt a hős, harcos férfiú eszményképének varázsa. A történelem nosztalgikus, mesészerű világába merült a kemény harcosok által szemtől szemben vívott, egyenrangú felek közti közvetlen küzdelem, mint a középkori lovagoké, illetve az antik világ

⁷ 1977. évi I. genfi kiegészítő jegyzőkönyv 49. És 50. Cikk

⁸ Vergeltung = megtorlás

⁹ Mennydörgés

harcosaié. Ugyanígy történelmi mesévé vált a hős hadvezér és vallási vezetőként mai napig is sok katona által tisztelt példakép, Nagy Sándor féle birodalomépítő háborúk eszménye.

Az új típusú fegyverek és háborúk legfrissebb és legkézzelfoghatóbb példája a Hatnapos Háború óta a Sivatagi Vihar és — legeslegfrissebbként — a Sivatagi Róka elnevezésű hadművelet. E legutóbbit elemezve nyilvánvalóvá válik, hogy új értelmezést nyert a háború fogalma is. Eszközei és módszerei, s ezáltal eredményei és következményei is alaposan megváltoztak.

Az Egyesült Államok és Nagy-Britannia által Irakra mért légi csapás sok elemző szerint nem is nevezhető háborúnak. Az 1991-es Öböl-háború óta Irakra mért legkeményebb katonai csapás időzítését számos szakértő és a világ egy része elfogadhatatlannak, annak valódi célját pedig értelmetlennek tartotta, illetve tartja. Ráadásul, mivel a bombázásra az ENSZ BT konkrét jóváhagyása nélkül került sor, sok politikai elemző az akciót az Egyesült Államok nyílt világcsendőri fellépése premierjének tartja.¹⁰

Egy azonban biztos. A Sivatagi Vihar és a Sivatagi Róka egyaránt a legkorszerűbb légi támadó és elhárító rendszerek segítségével vívott, új hadviselési korszak kezdetét jelentő eseményként vonul majd be az emberiség történetébe, mint a nagy távolságból alkalmazott, nagy pontosságú támadóeszközök megjelenésének és alkalmazásának időpontja. Jellemző még a saját és az ellenséges előerő-veszteség minimális volta. (Ez utóbbi feltehetőleg elsősorban a földi objektumok kezelő- és őrszemélyzetéből, valamint az eltévedt, hibás eszközök általi pusztításból adódnak. Ugyanakkor a polgári lakosság veszteségei sem számottevőek, ráadásul elkerülhetőek is lettek volna, hacsak nem az iraki fél szándéka szerint — az USA terrorizmusának bizonyítása céljából — következtek be.) Az is nyilvánvaló, hogy minden idők eddig legdrágább harccselekményeinek lehettünk tanúi. Mindkét háború az anyaországtól nagy távolságra került megvívásra. Jóllehet ez az Egyesült Államok és sok más nagyhatalom történetében nem először fordul elő. A Sivatagi Rókánál szárazföldi erők alkalmazására nem került sor, vagy legalábbis erről nem szóltak a hírek. (Elképzelhető, sőt igen valószínű, hogy diverziós–felderítő csoportokat is bevetettek célfelderítési, illetve célpontosítási feladatokkal.)

Szintén új vonás, hogy az egyik hadviselő fél, jelen esetben az iraki hadsereg teljesen tehetetlen, miközben a másik, a csapást mérő hadsereg, illetve a légierő sértetlen, hiszen a nagyszámú bevetés során saját veszteség egyáltalán nem volt.

¹⁰ Tony Blair a bírálatokra például csak annyit mondott, hogy „Amerika a jó védelmezője a világon”, s ezért kell kiállni mellette. A NATO létrehozásának 50. évfordulójára Washington egy új stratégiát igyekszik kidolgozni, amelyben deklarálná, hogy az észak-atlanti katonai szövetségnek a cselekvéshez nincs szüksége az ENSZ mandátumára. A külügyminiszter pedig úgy nyilatkozott, hogy Washingtonnak elidegeníthetetlen joga, hogy nemzetközi engedély nélkül is fellépjen.

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

A vesztes fél győzelmi ünnepet ült, jóllehet a mintegy 400 manőverező robotrepülőgép jelentős károkat okozott a tömegpusztító fegyvereket előállító kapacitásban, a katonai és biztonsági infrastruktúrában (a teljes megsemmisítésről hivatalosan szó sem volt, hiszen az pusztán légitámadással nem lehetséges). Az amerikai külügyminiszter által meghatározott 3 fő cél közül tehát csak egy teljesült.¹¹ A célpontok kiválasztása is jellemző: a különleges biztonsági szolgálat és a köztársasági gárda állásai, a Baath-párt bagdadi irodái, a Szaddam család „hátszobája”, azaz Tikrit városa és Baszra olajfinomítói.

Az új típusú fegyverek — alig néhány év alatt — tovább tökéletesedtek. Egy műholdas irányítórendszernek köszönhetően, például a cirkálórakéták a célpontok 90 százalékát telibe találták.

Reális a veszélye a tömegpusztító fegyverek bevetésének is. A nukleáris fegyver-arsenál teljes felszámolásáig állandósult a fenyegetettség. Az Irakban tevékenykedő ENSZ-bizottság hétéves tevékenysége eredményeként 40 000 vegyi töltetet, 700 tonna veszélyes vegyi anyagot, 48 rakétát és 30 vegyi és biológiai fegyverrel ellátott rakétafejet semmisítettek meg. Felszámoltak egy bakteriológiai hatóanyag-gyárat is. Becslések szerint azonban az iraki diktátor még 30 000 vegyi töltettel és 4000 tonna mérgező anyaggal rendelkezik. Ez iszonyatosan nagy mennyiség.

A fenti veszélyeken túl egyre erősödő migrációval, embercsempészetrel, fegyvercsempészetrel, a hasadóanyagok és más veszélyes anyagok kereskedelmével, kábítószer csempészetrel és a kábítószerrel kapcsolatos, valamint egyéb szervezett és nemzetközi bűnözéssel kell szembenéznünk, miközben súlyos válságócokat kéne lokalizálni, illetve felszámolni. A nemzetközi szervezetek nyomása kevés, az elrettentés és a béketeremtés, illetve fenntartás kevés helyen jár eredménnyel. Mindeközben a fejlett nyugati társadalmak folyamatosan öregednek és létszámuk is egyre fogy, míg a legelmaradottabb, illetve kevésbé fejlett térségekben rohamosan, sőt ugrásszerűen nő a népesség.

A háborúkon túl a fegyveres konfliktusok és válságok kezelésében, a terrorizmus elleni harcban, a béketeremtésben és fenntartásban mindeközben jelentősen nő a légierő szerepe. Különösen jól megfigyelhető ez az elrettentésben és visszatartásban, s ennél sokkal kevésbé — a békeidőszakban is kiemelkedően fontos feladatnak minősülően — az objektumok őrizetében és oltalmazásában.

Egy dolog azonban napjainkra sem változott. A politikusok döntenek az alapvetést illetően, azaz, hogy:

- mikor (például: kedvezőnek ítélt általános és konkrét helyzet, évszak, napszak, esetleg vallási ünnep);

¹¹ A másik kettő: középtávon Bagdad rákényszerítése az Irakkal kapcsolatos ENSZ-határozatok maradéktalan végrehajtásra, elsősorban a tömegpusztító fegyverek leszerelése. Hosszú távon a cél a diktátor megbuktatása.

- hol (érdekszféra, kontinens, ország, hadszíntér stb.);
- kivel (a szövetségi rendszer, a fegyveres erők összetétele, kiképzettsége, szervezési módja stb. (például: egyre inkább magasan képzett, kis létszámú, jól felszerelt, mozgékony, önkéntes haderővel));
- mivel (légierő, különleges erők, légideszant, szárazföldi erők, tüzérség, haditengerészet);
- hogyan (az alkalmazás, bevetés(ek) konkrét módja);
- ki ellen (ki az ellenség és miért);
- és mit kell a fegyveres erőknek végrehajtani (például: melyek a megsemmisítendő célpontok, objektumok, vagy mely területeket kell elfoglalni vagy megvédeni).

Ehhez elsősorban a biztonsági stratégiát kéne meghatározni. A szövetségi rendszer kérdése már eldőlt. A NATO tárt karokkal vár minket. Most már csak arra kellene vigyáznunk, hogy ne a legszegényebb, legkisebb testvér szerepét osszák ránk, amint az már történelmünk során néhányszor megesett. A saját haderő, illetve annak részei alkalmazásának elsődleges szempontja pedig remélhetően egyre inkább a saját élőerő kímélése lesz, jóllehet a költségtényező a továbbiakban is fontos szerepet játszik. Félő az is, hogy két haderőnk — egy kompatibilis és egy „mezítlás” — alakul ki. Csak bizakodhatunk, hogy a mindenkori kormányzat igénybe veszi szakértők, szakemberek, hadtudománnyal behatóan foglalkozó, megfelelően képzett, nagy gyakorlati tapasztalatokkal rendelkező, idegen nyelveket beszélő hadtudósok és tanácsadók segítségét.

AZ OBJEKTUMŐRIZET JELENTŐSÉGE KORUNKBAN

Már az ókori háborúkban is fontos szerepet kapott az utánpótlási útvonalak, a táborok és raktárak őrzése, védelme. Hadjáratok sorsa múlhatott ezen. A különböző objektumok, mint elsősorban például a vezetési pontok, a csapásmérő eszközök indítóállásai, a repülőterek, a fegyvergyárak, a különböző raktárak és utánpótlási útvonalak pusztítása elsőrendű feladattá vált korunk háborúiban. Az új fegyverek megjelenése és az új típusú háborúk minden eddig felülmúló lehetőségei miatt az objektumőrizet jelentősége nemhogy csökkent, de számottevően nőtt. Az objektumok elleni támadások lehetősége mára már nem csak a háborúk folyamán, illetve az azokat megelőző időszak során áll fenn, de bekövetkezhet a hosszú békeidőszak alatt is. Azonban rendkívül nagy a valószínűsége annak, hogy az objektumok veszélyeztetettsége — túl a békeidőszaki, terroristák általi fenyegetettségen — a különböző válsághelyzetekben, a háborús küszöb alatti konfliktusok és természetesen a háborúk során — és különösen

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

annak kezdeti időszakában — jelentősen megnő, hiszen pusztításukkal a befek-



tetett idő és pénz, az igénybe vett erő és eszköz aránytalanul kedvezően megtérül.

E tény világossá válik, ha tisztázzuk az objektum, a katonai objektum fogalmát.¹²

- Körülhatárolható területen elhelyezkedő erő- és eszközcsoporthoz.
- A hadszíntéren a hadászati, hadműveleti, illetve harcászati irányokban elhelyezkedő politikai, gazdasági vagy katonai jellegű létesítmény, támaszpont, átjáró, természetes képződmény vagy mesterséges építmény, műtárgy, amelynek birtokba vétele, megtartása, működőképességének biztosítása döntő hatással van a csapatok elé tűzött célok elérésére. Az objektum lehet hadászati, hadműveleti és harcászati jelentőségű.
- Katonai szervezet, technikai eszközök és anyagok elhelyezésére, illetve kiképzési célokra szolgáló létesítmény a hozzá tartozó területekkel.

* object * ouvrage, établissement, objectif * das Objekt * obiettivo, impianto¹³”

Védett objektumnak nevezzük a fentiekből következően a Magyar Köztársaság biztonságpolitikai és honvédelmi alapelveivel összhangban, rendkívüli állapotban és körülmények között az állami és katonai vezetés folyamatosságának fenntartása érdekében kialakított objektumokat, illetve a kormány vagy a belügyminiszter által — őrzés és védelem szempontjából — kijelölt a Köztársasági Őrezred hatáskörébe utalt épületeknek és zárt területeknek az összességét. A

¹² Hadtudományi Lexikon (Magyar Hadtudományi Társaság, Akadémia Kiadó, Bp., 1995. Főszerkesztő: Dr. Szabó József, ISBN 963 045 226 X, 8)

¹³ Az idegen nyelvű meghatározások sorrendje (a továbbiakban is): *angol, *francia, *német, *olasz

fenti fogalomkör a nemzetközi szakirodalomban is hasonlóképpen van mindenhol meghatározva.



Napjainkban elsősorban azért nőtt meg az objektumok őrzetének jelentősége, mert a világ egyre több országában alakítják, szervezik át a nagy létszámú, kötelező katonai szolgálaton alapuló tömeghadseregeket kis létszámú, önkéntes,



hivatásos „zsoldos” fegyveres erőkké. A katonai hivatás így egyre inkább hivatássá válik, és a lakosság egyre nagyobb része marad mindennemű honvédelmi képzés, sőt ismeret nélkül, miközben erre nagy szükség lenne, és a különböző „túlélőtáborok” népszerűségéből következően igény is van. Az objektumokat, vezetési pontokat érő esetleges csapás révén szakértők és vezetők nélkül maradó lakosság, irányítás és szervezettség híján, az ellenségnek számottevően jobban kiszolgáltatott.

Az objektumok, illetve az azokban telepített eszközök és az ott tárolt készletek megsemmisülése, az éppen ott tevékenykedő vezető és kiszolgáló állomány ideiglenes vagy végleges harcképtelenné válása háborúban, illetve az azt megelőző időszakban, vagy kisebb konfliktusok, háborús küszöb alatti cselekmények során végveszélybe sodorhatja a fegyveres erőket és végső soron az országot a honvédelmi képesség végletes csökkenésével.

A fentiekből következően jelentősen megnőtt az objektumok és ezen belül kiemelkedően a védett objektumok őrzetének jelentősége. A védelem szerves részét kell

26

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

hogyan képezze a hagyományos őrzésen túl az objektum megközelítési útvonalainak ellenőrzése és oltalmazása. E feladatban a légtér folyamatos — rádiólokációs eszközökkel történő — figyelésén túl a légierőnek is kiemelkedően fontos feladata van. Ezek közül a helikopterekkel történő közelbiztosítás emelkedik ki a légi támadó ellenség elleni harc mellett.

Hazánk geostratégiai helyzete és a kis távolságok miatt célszerű fenntartani és megfelelően felszerelni a gyors reagálású különleges erőket, amelyek békeidőszaki feladatai között szerepelhet, akár kiképzési céllal is, a rendvédelmi erőkkel szoros együttműködésben, a terrorizmus elleni harcon túl az objektumok rendszeres ellenőrzése és a védelmi stratégiák kidolgozásában való közvetlen részvétel. A védelem régi alapelvét kell csak betartani: „gondolkozz az ellenség fejével!”

A légi eszközökkel gyorsan bejárható hadszíntér, különösen, ha oly kényszerűen ragaszkodunk a védelmi hadművelethez, s ha azt is figyelembe vesszük, hogy az egész ország milyen könnyen járható lánctalpas eszközökkel, indokoltá teszik a légierő kiemelt fejlesztését. Ehhez jól kiépített, jól védhető, korszerű objektumokra és színvonalas objektumőrizetre is szükség van. A légimozgékonyt szállító helikopterek sokaságával, az esetleges ellenség elrettentését, illetve visszaverését korszerű csatahelikopterekkel kell biztosítani.

Ha a nem túl korszerű rendőrségi helikopterekkel¹⁴ Budapestről az ország legtávolabbi részeibe is kényelmesen el lehet jutni 30–50 perc alatt, de Sármelléktől Nyíregyházáig sem tart tovább az út, mint közepes forgalom mellett. Megkülönböztető jelzést nem használó személygépkocsival átjutni a fővároson bármely irányban, jogosan lehet vonni azt a következtetést, hogy a repülőcsapatokat és a rendvédelmi szerveket a lehető leggyorsabban el kell látni a lehető legtöbb és legkorszerűbb szállító és harci helikopterrel. Eljött az ideje annak, hogy egyszer a bűnüldöző szervek a bűnözőkénél jobb lehetőségekkel rendelkezzenek.

AZ OBJEKTUMOK ELLENI TÁMADÁS LEHETŐSÉGEI

Az objektumok ellen többféle célból indulhat támadás. Ilyen lehet például az ott tárolt anyagi javak, vagy adott esetben fontos okmányok megszerzése, a személyzet vagy

¹⁴ Az a megtiszteltetés ért, hogy ORFK Repülőtéri Biztonsági Főigazgatóságnak 1990. július 1-jei megalakulásától tagja lehettem. A Szakirányítási és Ellenőrzési Osztály létrehozásakor – amely rendőr-hatósági szempontból felügyelte Magyarország valamennyi repülőterét – módomban nyílt az egész országot bejárni, többnyire helikopteren, így módon széles körű tapasztalatokra tehettem szert a polgári és katonai repülés terén.

VIP¹⁵ személy elfogása vagy megsemmisítése, illetve a teljes objektum működésképtelenné tétele vagy teljes megsemmisítése. Mindez hordozhat természetesen politikai célokat is.



A repülőeszközök megjelenésével szinte egy időben kialakult azok, katonai felderítésre történő alkalmazásában betöltött szerepén túl, a pusztításra, csapásmérésre való igénybevételük is. Napjainkban folytatódik a légierő jelentőségének növekedése. Lassan el sem képzelhető, hogy a jövő háborúi ne a csapásmérő és szállító helikopterek és repülőgépek, valamint manőverező robotrepülők tömeges alkalmazásával folyjon le.

Az „objektumok pusztítása”¹⁶ meghatározás a fentiekből következően elsősorban a repülőerők által használt fogalom, amelynek jelentése: földi objektumok rombolása repülőgépek és helikopterek fedélzeti fegyvereivel. A rombolás mértékétől függően különböző pusztítási fokok határozhatók meg. Ezek: lefogás, üzemképtelené tétel és megsemmisítés. E pusztítási fokok a harctevékenységből kiesés idejével jellemezhetők. Így a lefogás legalább egy-két óráig, a megsemmisítés pedig minimum hét-nyolc napig tartó kiesést, illetve helyreállítási munkaidőigényt jelent. A pusztítás foka százalékosan is kifejezhető. Típusobjektumokra vonatkoztatva táblázatokban rögzítik a szükséges pusztítás mértékét. Általában a 15–20% közötti veszteségokozás kielégíti a lefogás mértékű pusztítást, a megsemmisítéshez viszont 50%-nál nagyobb pusztítás szükséges.

¹⁵ VIP: nemzetközileg elfogadott angol eredetű = Very Important Person = különösen fontos személy

¹⁶ *destruction of objects *destruction des installations/objectifs *die Objektenzerstörung
*sterminio d'obiettivi

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*



Az objektumok pusztításának másik „kedvelt” módja diverziós csoport, illetve diverziós felderítő csoport¹⁷ alkalmazása. Mivel ezeket a csoportokat általában az ellenség mélységében levő objektumok ellen vetik be, alkalmazásuk szin-



te elképzelhetetlen légi szállítás, légi támogatás, illetve a feladat végrehajtása utáni — ismét csak légi eszközzel történő — kihozásuk nélkül. A diverziós felderítőcsoport ugyanis nem más, mint nem hagyományos hadviselésre felkészített, jól kiképzett, fegyveres konfliktus vagy azt megelőző időszakban bevetésre szánt, átszivárogtatással, átdobással vagy hátrahagyással telepített, általában öt-tizenkét főből álló, technikailag jól felszerelt csoport, amelynek a tevékenysége a hírszerzésen túl elsősorban állami, katonai vezetési pontok támadásával a vezetés működőképességének gyengítésére, bénítására irányul.

Feladata lehet még katonailag, hadászatiilag fontos ipari, energetikai, közlekedési, hírközlési objektumok, raktárbázisok bénítása, rombolása, illetve menetet végrehajtó csapatok, utánpótlást végző szállítmányok akadályozása, támadása, tönkretétele. E mellett hadifoglyok kiszabadítására, lázadás szervezésére, együttműködésre hajlandókból fegyveres ellenálló csoportok szervezésére, kiképzésére is igénybe vehetik őket. A diverziós felderítőcsoport a kis létszámá-

¹⁷ * diversion-reconnaissance *groupe d'éclairage et de subversion *die Diversantaufklärer-Truppe
*gruppo di esplorazione

ból, elszigetelt működéséből eredően kerül a nyílt harcot, erejét a feladatnak megfelelően gyorsan széttagolja vagy összpontosítja.



A mélységi felderítésben is döntő szerepet kapnak a légierő, illetve a légi szállító és támadóeszközök, hiszen ez a hadászati, a hadműveleti és a harcászati felderítés egyik meghatározó felderítési neme, amely az ellenség harcászati, közeli hadműveleti és hadműveleti mélységében a fontos objektumok felderítését, rombolását, megsemmisítését hajtja végre a különlegesen kiképzett mélységi felderítőegységekből, alegységekből alkalmazott csoportokkal. Ezek képesek több napon át tevékenykedni, különleges feladatokat végrehajtani, a megszerzett felderítési adatokat rövid időn belül jelenteni. A 4–7 fős csoportok ugyanis általában légi úton, kirakással vagy ejtőernyős ugrással jutnak az ellenség mélységébe.



A mélységi felderítés¹⁸ fő feladata az ellenség vezetési pontjainak, felderítő-csapásmérő rendszerei földi elemeinek, tömegpusztító eszközeinek, harcászati és hadműveleti tartalékainak, repülőtereinek, légvédelmi rakétaegység-

¹⁸ * deep reconnaissance *reconnaissance dans la profondeur *die Tiefanaufklärung *ricognizione in profondità

gei álláskörletének és más fontos objektumainak a felderítése. Alapvető felderítési módja a figyelés, az átvizsgálás, a leszállás és a rajtaütés. E feladatok napjainkban a csapásmérő erők célra vezetését is magában foglalja.

Az objektumok elleni támadás — egyáltalán nem új — módja a légideszant csapatok bevetésén túl a speciálisan képzett, jól felszerelt „diverzánso” alkalmazása¹⁹. Azonban e területen is nőtt a légierő szerepe, hiszen a kis létszámú, de nagy hatékonyságú csoportok célba juttatásának és kimentésének is szinte egyedül lehetséges eszközei. A HUREY-k tömeges alkalmazása a vietnami háború során bizonyította a ma is eredményes eljárás hatékonyságát.

A siklóernyővel felszerelt 3–5 fős csoport, kézfegyverein és a túléléshez elengedhetetlen felszerelésén túl, képes legalább egy mázsányi nagy hatóerejű robbanóanyagot magával vinni. Gyorsan, észrevétlenül és pontosan megközelíthetik a célobjektumot és a robbanóanyagok pontos, szakszerű elhelyezésével nagy pusztítást vihetnek benne végbe. A hadműveletek, illetve a megelőző feladatok, de az egyéb tevékenységek — mint a béketeremtő és fenntartó műveletek stb. — tervezésekor célszerű tehát a csapások módját, a ráfordítás és megtérülés arányait alapadatként figyelembe venni.

CSAPÁS A HARMADIK DIMENZIÓBÓL

A LÉGIERŐ SZEREPE AZ OBJEKTUMOK PUSZTÍTÁSÁBAN ÉS A NAGY MOZGÉKONYSÁGÚ/ KÜLÖNLEGES ERŐK ALKALMAZÁSÁBAN

A megsemmisítendő, illetve pusztítandó objektumokat tehát a légi- és űreszközökkel folytatott felderítésen túl légimozgékonyaságú felderítő, mélységi felderítő és diverziós felderítő csoportok is kutatják, figyelik. A célok pontosítását pedig a különböző eszközökkel történő csapás követi. Ez nagy távolságok esetén alapvetően a légierőre, illetve a csapásmérő légi eszközökre hárul. A csapás tehát egyre inkább a harmadik dimenzióba helyeződik át. A mai, korszerű csapásmérő repülő, és a vietnami háború óta tömegesen alkalmazott, egyre hatékonyabb helikopterek gondosan összehangolt alkalmazása a korszerű fegyveres küzdelem alapját képezi.

¹⁹ Búvár Kundtól a Piszkos Tizenkettőn át a palesztin terroristákig széles a példák skálája.

Az Amerikai Egyesült Államok és Nagy-Britannia által a Ramadan előtt Irak ellen végrehajtott támadás nem más, mint a harmadik dimenzióból végrehajtott csapás és így az új típusú háborúk egyik legszemléletesebb példája. A konkrét indítékok és a politikai helyzet elemzésén túllépve, a hadtudomány szempontjainak kizárólag a szigorúan katonai vonatkozásait szem előtt tartva kirajzolódik a szinte kizárólag egy haderőnemmel, a légierővel végrehajtott „furcsa” háború képe. Sajnálatos tény, hogy ez a ma még szerencsére egyoldalú háború eszkalá-



lódhat, és a szegényebbik fél olcsó, ám nagy pusztító hatású fegyverek bevetésével és terrorakciókkal reagálhat. A győzelem kérdése sem teljesen egyértelmű, mivel az egyik fél egyértelműen győztes — hiszen jelentős pusztítást okozott nagy találati pontosságú, korszerű és igen drága eszközeivel, miközben saját vesztesége nem volt —, míg a másik fél nem egyértelműen vesztes, hiszen a győztes a kitűzött célok nem mindegyikét érte el. Az irakiak, nem hivatalos adatok szerint, katonákból 62 halottat és 180 sebesültet, míg a polgári lakosságból 68 halottat és több száz sebesültet vesztek. A civil veszteségek sok szakértő szerint a diktátor előzetes elképzelései szerint alakultak, aki nem engedélyezte az időbeni riasztást, és a veszélyeztetett objektumok köré, illetve azok közelébe „önkénteseket” vezényelt.

A támadó fél sikerét a nemzetközi visszhang, illetve a tömegpusztító fegyverarzenálban okozott tényleges veszteség erőteljesen megkérdőjelezi. Szakértők becslései szerint Irak rendkívül rövid idő alatt képes újra előállítani anthrax biológiai fegyvert és VX vegyi fegyvert. Valószínű, hogy mindkettőből jelenleg is van jól elrejtett készlete. Előbbi a világ legmérgezőbb anyaga, baktérium, amelyből egyetlen porszemnyi már halálos. Utóbbi a központi idegrendszert megbénító, oxigénnel egyesülve gázzá alakuló, színtelen, szagtalan folyadék,

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

melynek halálos adagja 10 milligramm, azaz egyetlen csepp. A valódi eredmény a teljes készlet tökéletes megsemmisítése, a diktátor uralmának megtörése és a demokratikus átalakulás megkezdésének elősegítése lett volna. Mindez azonban a csapás előkészítettségét, lefolyásának szervezettségét és hatékonyságát nem kérdőjelezi meg.

Az összes légitámadás egyhetedét Nagy-Britannia vadászbombázói²⁰ hajtották végre. Az Egyesült Államok csaknem 300 repülőgépet vetett be. Ezek a haditengerészet²¹ és a stratégiai légierő²² eszközei.

A főszereplő az Öböl-háború óta tökéletesített Tomahawk és az ALCM robotrepülőgép volt. Robotrepülőkből több mint 300-at hajókról, míg 100-at B-52-es nehézbombázókról indítottak²³. A csapásokat így összességében tehát a rendkívül pontos és hatékony felderítés, a nagy pontosságú és nagy pusztító erejű, nagy távolságról indított pusztítóeszközök alkalmazása jellemezte. Az iraki — amúgy nem korszerűtlen — légvédelem a megelőző csapásoknak és az ultramodern légi eszközöknek köszönhetően teljesen hatástalan volt. Ez számunkra is fontos kérdéseket vet fel.



A harci helikopterek harckocsik elleni hatékony alkalmazására ismerjük már jól a példákat. A Sivatagi Vihar pedig a légvédelmi eszközeink hatékonyságát kérdőjelezi meg, hiszen azok zöme szovjet örökség, akárcsak az iraki fegyveres erőké, amelyek vad tüzeléssel reagáltak az amerikai légi csapásra, a legkisebb eredmény nélkül. Légvédelmi és repülőcsapataink kevés korszerű eszközzel, kevés gyakorlati tapasztalattal és kevés repült órát maga mögött tudó pilótákkal

²⁰ 12 darab Tornado vadászbombázó

²¹ Az Enterprise repülőgép hordozóról felszálló F-14-es és F-18-as vadászbombázók látványos és sikeres akcióit a különböző hírtévéziók a már megszokott módon, élőben is közvetítették.

²² B-1-es és B-52-es nehézbombázók.

²³ A Tomahawk 454 kilogrammos, míg az ALCM 908 kilogrammos robbanófejjel van felszerelve.

rendelkeznek. Addig kell lépni, amíg a békeidőszaki veszteségeink alacsonyak. Itt az ideje újragondolni a cél-, feladat- és eszközrendszert!

Természetesen a Sivatagi Róka hadműveletben is kiemelkedően fontos szerepet kapott a különleges erők állománya, jóllehet — nagyon helyesen — erről a polgári sajtóban egyáltalán, a szaksajtóban pedig alig lehet olvasni.



A különlegesen kiképzett profi katonákra egyre több és egyre jelentősebb feladat hárul. Bevetésük a légierő, a légi szállító és csapásmérő eszközök nélkül elképzelhetetlen. A fejlődés jelenlegi tendenciái arra utalnak, hogy a hivatásos hadseregek kora köszönt be, ahol jól képzett repülő és helikopter-vezetők, illetve fedélzeti fegyverkezelők és speciálisan képzett, minden terep, éghajlati és hadászati viszony közt tevékenykedni képes profi katonákra van egyre nagyobb szükség.

A nagy létszámú, gyengén képzett tömeghadseregek kora lejárt. A harmadik dimenziós hadviselés kora érkezett el. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a lakosságot, a teljes népességet nem kell a honvédelemre és a tömegpusztító fegyverek elleni védelemre felkészíteni.

A profi hadsereg és a lakosság általános honvédelmi felkészítésébe az objektumok őrizete és védelme is szorosan beletartozik.

AZ OBJEKTUMŐRIZET, OLTALMAZÁS ÉS VÉDELEM AZ ÚJ KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

A megváltozott körülmények új módszerek és eszközök alkalmazását követelik meg, miközben a hagyományosakat sem lehet egyelőre teljesen elvetni. Hagyományosnak a katonai erővel, felfegyverzett katonákkal, azaz felállított örökkel

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*



való őrzést tekinthetjük, amely évezredek óta bevált módja az őrzés-védelemnek, jóllehet, a mind távolabbról, mind pontosabban, mind biztosabban és egyre csendesebben ölő, hatékony fegyverek és a gyilkolás egyéb, egyre szörnyűbb eszközei, valamint az úgynevezett nem halálos fegyverek megjelenése és elterjedése komolyan megkérdőjelezi ezen őrzési mód hatékonyságát.

Igen szemléletesen írja le az 1991. január 16-i eseményt annak a speciális alegységnek a parancsnoka, amelynek feladata az iraki légvédelmi rendszer megbontása, két objektum — felderítő-lokátor állomás — megsemmisítése volt az Öböl-háború előestéjén. Az akciócsoport két részre osztva, összesen 12 helikopterrel, teljes sötétben, 50 láb magasan — tehát a lehető legközelibb földközelségben —, közel 300km/óra sebességgel, erősen manőverezve közelítette meg a célokat. Lézervezérlésű rakétákkal semmisítették meg a célokat, mielőtt az őrszemélyzet észbekapott volna, ezzel biztosítva az első csapásmérő kötelékek



útját.

Mindez nem jelenti azt, hogy az objektumok őrizete, védelme és oltalmazása fölöslegessé válik. Egyszerűen arról van szó, hogy új, hatékony módszereket kell kidolgozni a váratlanság, a meglepetés elkerülése érdekében. Ehhez fegyveres erőinknek nagy segítséget nyújt majd a NATO korai előrejelző rendszere. Más kérdés, hogy jelenlegi repülőink és helikoptereink képesek e megelőző vagy válaszcsepás mérésére. Mindenesetre javítani kell a felderítés és hírszerzés haté-

konyságát és gyorsaságát is. Folyamatosan figyelemmel kell kísérenünk a minket potenciálisan fenyegető veszélyek alakulását, az esetleges ellenfél katonai potenciálját, fegyverbeszerzéseit, illetve gyártását. Amíg létre nem jön a teljesen egységes és biztonságos Európa, amíg nem sikerül a nemzetközi bűnözést és terrorizmust felszámolni, illetve társadalmi gyökereinek felszámolásával kezelhető méretűvé zsugorítani, addig magas szinten kell tartani és minőségileg hatékonyra fejleszteni a fegyveres erőket és rendvédelmi szerveket. Mindezt úgy, hogy a demokratikus átalakulás sérülékeny folyamatai ne kerüljenek veszélybe.

Az objektumok őrzetéhez igazán értő szakemberek az utóbbi években, a fegyveres erők és rendvédelmi szervek átszervezésének és a mostanra minden-



napossá vált pénzhiánynak következtében, elhagyták a hivatásos pályát. Magasan képzett, jól felkészült, a szakmához igazán értő honvéd, rendőr és határőr tisztek és tiszthelyettesek találtak új egzisztenciát az őrző-védő szakmában. Szakmai ismereteikre a vagyonok felhalmozódása miatt a civil életben nagy szükség van, és ezt az úgynevezett versenyszférában jól meg is fizetik. A volt szovjet utódállamok szétesőfélben levő fegyveres erőinek nem egy tagját körözik ma, mivel nem a megfelelő oldalra állva keresi a megélhetés lehetőségeit. A szakmai tudást rossz oldalon kamatoztatva ezek az emberek nem kis gondot okoznak a bűnüldözőknek és a békefenntartóknak egyaránt. A másik oldalról szemlélve tehát az a következtetés is levonható, hogy miközben gyengült az állami és katonai objektumok őrzete, erősödött a magánvagyonoké, s ezzel egy időben nőtt az objektumok fenyegetettsége, illetve veszélyeztetettsége is.

A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉG

A béketeremtő és fenntartó tevékenységben a légierő kiemelkedően fontos szerepet tölt be. Ráadásul a világban végbemenő politikai és gazdasági folyamatok, illetve az átrendeződött hatalmi viszonyok miatt és elsősorban a közvetlen világháborúval fenyegető katonai szembenállás megszűnésével a fegyveres erők ezen szerepe tovább erősödött. A humanitárius segítségnyújtás biztosításától a szembenálló felek szétválasztásán és a békeszerződések betartatásán keresztül a fegy-

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*



vezetcsökkentési előírások betartásának ellenőrzéséig igen összetett, felelősségteljes feladatokat látnak el.

Válságócok, polgárháborús térségek sokaságában teljesítenek szolgálatot többnemzetiségű erők, köztük szép számban magyar katonák és rendőrök is. Már a vietnami háborút követő rendezésben is részt vettek magyar tisztek a 70-es évek elején. Azóta pedig Ciprustól Kambodzsáig és Mosztár városától a Sínai Fél-szigetig sok helyen megtalálhatóak a magyar egyenruhások. Tevékenységüket elismerés kíséri. Munkájukat kimagaslóan jól megfizetik. Egy gond van csak a ma-



gyar részvétellel. Rendkívül belterjessé vált a résztvevők köre. Jóllehet, évente százak végeznek nyelvtanfolyamokat, a kiküldöttek között nemigen lehet új arcokat látni. Pedig kiváló lehetőség lenne ez hivatásos állományunknak a szak-



mai tapasztalatok bővítésén túl a nyelvtudás gyakorlására és kapcsolatok terem-tésére is.

A szárazföldi erők jelenléte elengedhetetlen e feladatok ellátásában, hiszen régi alapelv, hogy a terület közvetlen, katonai jelenlétet nélkülöző felügyelete mit sem ér. A repülőcsapatok feladata is összetett. Az utánpótlás szállításán túl fő feladatuk a légtér ellenőrzése, a szárazföldi erők közvetlen biztosítása és oltalmazása. A légi fölény kérdését aránylag könnyű megoldani, hiszen teljes repülési tilalom elrendelése mellett a polgári légi közlekedés közvetlen és teljes ellenőrzésével az könnyen biztosítható.

A repülőcsapatok alkalmazása minden szempontból előtérbe került, elsősorban az erőviszonyok világméretű átalakulása miatt. Az USA mint a világ legerősebb gazdasági és mára egyetlen politikai nagyhatalma éppen erejénél fogva, annak arányában vesz részt a béketeremtésben és fenntartásban. Megfigyelhető azonban, hogy ezt csak ott teszi gyorsan, hatékonyan és lelkesen, ahol érdekei megkívánják. Az unió helyzetét és az 1998-as évet 77 perces beszédben értékelő elnök büszkén dicsekedett azzal, hogy a bérek kétszer gyorsabban nőttek az inflációnál és új munkahelyek sokaságát (18 milliót) teremtették meg. Erőteljes gazdasági növekedés képét vázolta fel, hiszen a költségvetés hosszú idő óta először zárt többlettel. Szerényen közölte, hogy az Amerikai Egyesült Államok a legjobb a világon, s hogy vezető szerepe tovább erősödött. Nyíltan meghirdette tehát a világ csendőre szerep jogos vállalását. Mellesleg kitért arra is, hogy 30 év óta először, jelentős összeggel növelik a katonai költségvetést. Lehet, hogy a legújabb kori gyarmatosítást megvalósító nagyhatalom csatlósaként lépjük át az ezredfordulót a NATO tagjaként?

A TERRORIZMUS ELLENI HARC

A terrorizmus valamennyi demokratikus és számos, a demokrácia és a piacgazdaság felé haladó — valamint sok más, ezekbe a kategóriákba nem sorolható— állam szerint a világot, illetve az adott országot vagy szövetségi rendszert napja-



inkban leginkább és alapvetően fenyegető veszélyforrás. Ezért olyan fontos

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

feladat a terrorelhárítás²⁴, amely elsősorban a titkosszolgálatok fő feladata. Ez a terror és a terrorizmus megelőzését, megakadályozását, a bekövetkezett terrorcselekmény tettesének felderítését foglalja magában. A terrorelhárítás feladatainak ellátása során e szervek mindenhol a világon jogosultak titkosszolgálati módszerek és eszközök használatára. A terrorelhárítás Magyarországon, a Katonai Biztonsági Hivatalban, az alkotmányvédelem része.

A nemzetközi terrorizmus ellen egyre gyakoribb az együttműködés a különböző országok terrorelhárítással foglalkozó titkosszolgálati szervezetei között. A külföldi titkosszolgálatok közül Nagy-Britannia elhárító szolgálatának, a



„Military Intelligence 5” munkájának kb. 70%-át a terrorelhárítás teszi ki. A magyar terrorelhárítást a Nemzetbiztonsági Hivatal és a Katonai Biztonsági Hivatal végzi, illetve információkat gyűjt a Katonai Felderítő Hivatal és az Információs Hivatal.

A nemzetközi terrorizmus elleni közös fellépés szükségességének felismerését I. Sándor (1888–1934) jugoszláv király és Jean Louis Barthu (1862–1934) francia politikus ellen 1934. okt. 9-én Franciaországban elkövetett merénylet után a Nemzetek Szövetsége felismerte. A cél már ekkor is a terrorizmus meg-



előzése, illetve megbüntetése volt. A nemzetközi egyezményt 1937. november

²⁴ * antiterrorisme * antiterrorisme * die Terrorabwehr * antiterrorismo

16-án Genfben kötötték meg és 23 állam írta alá. Az ugyanazon a napon kötött kiegészítő egyezményben, a főegyezményt aláíró tíz állam hozzájárulásával, tervezték a Nemzetközi Büntető Bíróság felállítását, de ez nem valósult meg.

Az eltérő megfogalmazásokban közös, hogy a legtöbb szerint terrorista²⁵ az a személy, aki más személyes szabadságától megfoszt, vagy jelentős anyagi javakat kerít hatalmába, és a személy szabadságát, ill. a javak sértetlenül hagyását vagy visszaadását állami szervhez vagy társadalmi szervezethez intézett követelés teljesítésétől teszi függővé. E tetteivel terrorcselekmény büntetettét követi el.

A terrorcselekményt elkövető személyt a hatályos magyar büntetőtörvény 5–15 évig, minősítés esetén 10 évtől életfogytig tartó szabadságvesztéssel fenyegeti. A törvény büntetni rendeli a terrorcselekményre irányuló előkészületet, valamint az előkészület hitelt érdemlő tudomásra jutása esetén a feljelentés elmulasztását. A terrorista az emberrablótól abban különbözik, hogy a követelését, amely lehet politikai, anyagi, jogi természetű, állami szervhez vagy társadalmi szervhez juttatja el. A terrorszervezetek valamely nép, nemzet, etnikum nevében kormányokhoz, nemzetközi szervezetekhez intézik követeléseiket. Egyre jellemzőbb korunkban, hogy egy-egy, már elkövetett terrorcselekményt utólag vállal magára valamely szervezet. Nem is mindig jár követeléssel a terrorcselekmény, hiszen mind gyakrabban van bosszú jellege, amelynél az elkövető jogosnak vélt céljai elérésére él a gyilkosság és pusztítás eszközeivel. E célt számos terrorszervezet nyíltan is magáénak vallja. A politikai okból elkövetett gyilkosság — a magyar joggyakorlat szerint — jogi értelemben csak akkor terrorcselekmény, ha az emberölést megelőzően a terrorista az áldozatát a személyes szabadságától megfosztotta, és a szabadon bocsátásának feltételeit állami, társadalmi szervhez eljuttatta. A nemzetközi irodalomban és még inkább a gyakorlatban a terrorizmus és a terrorista fogalma kibővül. Erre elsősorban az egyébként is feszültségekkel terhes



²⁵ *terrorist *terroriste *der Terrorist *terrorista

Közel–Keleten van számos példa.

A terrorizmus elleni harc a nemzeti és nemzetközi rendvédelmi szervezetek és titkosszolgálatok mellett jelentős feladatokat ró a fegyveres erőkre és ezen belül a légierőkre is. A fegyveres erők és rendvédelmi szervek összehangolt akcióival és nemzetközi összefogással lehet csak hatékonyan felvenni a harcot a nemzetközi terrorizmus ellen. Ezen akciókban a titkosszolgálatok által gyűjtött, elemzett és értékelt adatokra, konkrét tényekre rendkívül gyorsan kell reagálni. A gyors reagáláshoz különlegesen képzett rendőrökre és katonákra és nagy mozgékonyaságú, jól felszerelt alegységekre, illetve ideiglenesen létrehozott, vegyes, — nem egy esetben nemzetközi összetételű — nagyobb létszámú csoportosításokra van szükség. Ezek vezetésére azonban csak magasan képzett, több nyelvet beszélő, tapasztalt vezetőkre, törzsekre és logisztikai háttérre van szükség. Nélkülözhetetlen a mindenoldalú kompatibilitás is. A bevetés, igénybevétel színhelyén meg kell teremteni a helyi hatóságokkal, államigazgatási szervekkel a megfelelő együttműködés lehetőségét. Külön problémát jelent az adott állam törvényeihez történő alkalmazkodás, amelyek nem egy esetben jócskán eltérnek az adott erőket a multinacionális kötelékbe delegáló országtól.

Külön kategóriát képeznek a több évszázados nemzetiségi ellentétekkel sújtott térségek. Karnyújtásnyi távolságra tőlünk, a délszlávnak nevezett balkáni térségben például, vagy kissé távolabb, a kurdok lakta térségben, mit sem törődve a nemzetközi közvéleménnyel, az ENSZ és a NATO fenyegetéseivel, állami szinten terroristának bélyegeznek népcsoportokat, illetve nemzetiségeket és szabályos népirtást folytatnak. Ugyanez történik polgárháború formájában az amerikai kontinensen, Kolumbiában, ahol a 38 éve tartó háborúskodás becslések szerint 120 000 áldozatot követelt. Az áldozatok száma csak tavaly mintegy 35 000 fő volt.

Azt sem szabad szem elől téveszteni, hogy a föld teljes lakosságának egyötöde, mintegy 1 milliárd ember az iszlám híve. A szélsőséges iszlám fundamentalista erők szellemi vezetői egyre erősödő propagandát folytatnak, amely terrorizmussal vádolja a fejlett nyugati államokat, elsősorban az Amerikai Egyesült Államokat és Nagy-Britanniát, miközben terrorista akciók elkövetésére tüzelik híveiket. E vallás szélsőségeiből irányzatainak egyébként is több százéves alapelve a vallásért való önfeláldozó, öngyilkos akció.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A létesítmények, objektumok, anyagi javak őrzése nem csak háborúban és rendkívüli állapotban szükséges, de békeidőszakban is kiemelkedő jelentőségű fel-



adat, mivel elfoglalásuk, működésképtelenné tételük, rombolásuk vagy megsemmisítésük, illetve az őrzött javak eltulajdonítása vagy annak kísérlete a várható — az esetleges, ezért kevés kivételtől eltekintve mindig váratlanul támadó — ellenség, illetve a bűnözők elsőrendű célja, illetve feladata. Terroristák, illetve kis létszámú, ám adott esetben nagyon jól felkészült irreguláris és reguláris csoportok váratlan akcióival pedig bármikor számolni lehet és kell. Nem elhanyagolható a veszélye a szervezett bűnözés, a fegyver-, hasadóanyag-, kábítószér-, és embercsempészet elleni harc során az állami intézmények, katonai objektumok, illetve a rendvédelmi szervek objektumai elleni akcióknak sem. A NATO-hoz való csatlakozásunkkal jelentősen megnő a tagállamok követségei, a szervezet létesítményei és bázisai elleni támadások veszélye.

A fentiekből egyenesen következik, hogy az objektumokat és az anyagi javakat a fegyveres erőknél és rendvédelmi szerveknél, valamint a polgári életben is megbízhatóan, felkészülten kell őrizni, védeni. Ez a légi erőre is jelentős feladatokat ró. Ezért a repülőcsapatokat fel kell készíteni a rendvédelmi szervekkel való hatékony együttműködésre és el kell látni a megfelelő technikai eszközökkel és fegyverrendszerekkel, ezen belül elsősorban korszerű szállító, több funkciós és csapásmérő helikopterekkel. E mellett a repülőcsapatok NATO-n belüli



feladatainak megfogalmazásakor ügyelni kell arra, hogy jelenlegi szerény képes-

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

ségeinkkel ne játsszunk abszolút alárendelt szerepet. Elvileg a minket fenyegető veszélyről a NATO korai előrejelző rendszerének útján szerzünk tudomást, ám mire ez bekövetkezik, már a levegőbe emelkednek és úton lesznek a hazánkat oltalmazó kötelékek. Olasz támaszpontokról. Hacsak nem lesz egyéb irányú elfoglaltságuk, például a délszláv válság környékén.



Miközben a világ fegyvergyártásában — hasonlóan más fejlett és nagy anyagi hasznot hajtó üzletágakhoz — egyre nagyobb vállalatok jönnek létre felvásárlások és összeolvadások útján, a hazai gyártó és javító kapacitások és a munkaerő foglalkoztatása előtt is komoly lehetőségek állnak, ha megfelelő időben ismerik fel és használják ki azokat az arra illetékesek. Nem kéne mást tenni, mint fegyvervásárlások helyett beengedni a nyugati tőkét erre a területre is. A legjobb ajánlatot tevő 1-2 fegyvergyártó konszernnel kell üzletet szervezni, hiszen a hazai fegyvergyártásnak és javításnak nagy hagyományai és komoly múltja van. Ráadásul komoly hasznot is hajtana, különösen a nagy munkaigényű területeken. Ezzel a hazai hadiipar a honvédelem költségeihez is hozzájárulhatna.

A repülőcsapatok, a honvéd légierő feladatait hazánk katonaföldrajzi adottságai, az ország nagyságrendje és a velük szemben támasztott követelmények, valamint a — sajnos meglehetősen korlátozott anyagi lehetőségek — határozzák meg. E feladatok agresszió esetére jól behatárolhatóan meghatározhatóak. Ezek:

- Légi felderítési feladatok (pl.: hadműveleti–harcászati, pontosító és ellenőrző, légi, vegyi, tűz, műszaki, időjárás, valamint többek közt a harcmező megfigyelés stb.)
- Légi oltalmazási feladatok (körzetek, objektumok, csapatok, kötelékek oltalmazása, légi fölény kivívása és az ellenség légideszantjainak pusztítása a levegőben)
- Légi támogatási feladatok (határ menti városok védelme, az ellenség első lépcsője páncélos alegységeinek pusztítása, a harctevékenységi körzet el-

szigetelése, saját csapatok közvetlen légi harctámogatása, az ellenség légimozgékonyságú és deszant alegységeinek pusztítása a földön)

- Légi szállítási feladatok (bevonva a polgári repülőtechnikát is: deszantolás, anyagi-technikai eszközök szállítása, átcsoportosítások, evakuálás, a lakosság és a polgári védelem részére történő szállítások stb.)
- Légi biztosítási feladatok (pl.: légi vezetés biztosítása, légi futár- és tábori postaszolgálat, tűzoltás, vegyimentesítés, aknatelepítés, kutatás és mentés, tűzérzési tűzhelyesbítés, elektronikai zavarás, harcmező megvilágítás stb.)

A fenti feladatrendszer jól tükrözi, hogy a Magyar Honvédség légierije a katonai helikopterek és a csapatrepülők nélkül nem képes feladatait teljesíteni. Nincs olyan feladatcsoport, amelynek végrehajtása lehetséges lenne helikopterek, elsősorban csatahelikopterek részvétele nélkül. Kiemelkedő fontosságú tehát a fegyvernemnek az erőteljes fejlesztése. Érdemes lenne fontolóra venni a román fegyveres erőkkal, illetve hadiiparral való kapcsolatfelvétel lehetőségét is, hiszen a DRACULA harci helikopter nekünk is megfelelne. Különösen jól alkalmazható például ugyanis földi objektumok ellenséges helikopterek elleni oltalmazásában és páncélosok elleni harcban. Közös gyártása pedig mindkét fél számára hasznos lenne, ráadásul javítaná az országaink közötti viszonyt és tovább segítené az Európai Unióhoz való — oly áhított — közeledést is.

Összességében tehát megállapítható, hogy a repülőcsapatok alkalmazásának lehetőségei a földi objektumok ellen, a béketeremtő és fenntartó tevékenységben és a terrorizmus elleni harcban az úrfelderítés, a korszerű siklóernyők, a nagyteljesítményű és sokoldalú repülőgépek és helikopterek fejlődésénél gyorsabb ütemben bővülnek. A világ számos pontján nem csak laboratóriumi körülmények, hanem eredeti helyzetekben, kisebb-nagyobb fegyveres konfliktusok, helyi és polgárháborúk formájában — sajnálatos módon napjainkban — is folyó „kísérletek” és az ezek által nyújtott széleskörű tapasztalatok fényesen igazolják ezt. Az általános hadkötelezettségen alapuló tömeghadseregek kora lejárt. Viszont nem szabad elfeledkezni a lakosság honvédelmi felkészítéséről, hiszen a világméretű konfliktus veszélye, vagy a régiót súlytó katasztrófák lehetősége még nem szűnt meg teljesen.

A fő feladat ezért napjainkra egyértelműen, a NATO-integráció szempontjait is szem előtt tartva, a fegyveres erők és rendvédelmi szervek minőségi fejlesztése, ezáltal korszerű, jól kiképzett és felszerelt, jól megfizetett és sokoldalúan alkalmazható hivatásos hadsereg, rendőrség és határőrség létrehozása.

*A REPÜLŐCSAPATOK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A FÖLDI
OBJEKTUMOK ELLEN, A BÉKETEREMTŐ ÉS FENNTARTÓ TEVÉKENYSÉGBEN ÉS
A TERRORIZMUS ELLENI HARCBA*

MELLÉKLETEK

- [1] FOLYTATJÁK IRAK BOMBÁZÁSÁT (Népszabadság Online, 56. évfolyam, 296. szám, 1998 december 18., péntek) –2 lap-
- [2] REPÜLŐK (Forrás: Internet. Letölthető fényképek katonai repülőkről és helikopterekről) –1 lap-
- [3] REPÜLŐS LINKEK (Forrás: Internet. Linkgyűjtemény ABC rendben) –4 lap-
- [4] KÉPTÁR (Forrás: Internet. Fényképek) –6 lap-
- [5] AIR FORCE IMAGES (Forrás: Internet. Letölthető képek és dokumentumok az Amerikai Egyesült Államok légerejéről) –3 lap-
- [6] C-17 GLOBEMASTER III (Forrás: Internet. A C-17 leírása. az Amerikai Egyesült Államok légerejének honlapjáról.) –3 lap-
- [7] AMERICA'S AIR FORCE IN BOSNIA (Forrás: Internet. Linkek, letölthető képek és dokumentumok az Amerikai Egyesült Államok boszniai jelenlétéről és küldetéséről) –3 lap-
- [8] HÁBORÚ IRAK ELLEN. CÉLPONT A DIKTÁTOR FEGYVERALZENÁJA (Hetek Online, II. évfolyam 51. Szám 1998 december 51. Hét) –5 lap-
- [9] IRAQ (Forrás: Internet, MILNET. -angol- Részletes leírás Irak fegyveres erejéről, haderőneveiről, földrajzáról, időjárásáról, népességéről, gazdaságáról, stb.) –10 lap-
- [10] OPERATION JOINT ENDEAVOR FACT SHEET DECEMBER 7., 1995 (Forrás: Internet. Dokumentum és linkek az USA erők boszniai IFOR küldetéséről) –3 lap-

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [11] Az embercsempészet és az ellene folytatott tevékenység a Magyar Köztársaság Határőrségénél (Tanulmány, ZMNE Határrendészeti és védelmi tanszék, 1997, szerkesztette Józai János határőr alezredes)
- [12] DR. BAK ANTAL nyugállományú mérnök ezredes: A katonai objektumok geoinformatikai rendszere, Hadtudomány 1997/4.
- [13] BILKI LÁSZLÓ alezredes – VÖRÖS GYÖRGY alezredes: A Magyar Köztársaság katonai biztonsága és a délszláv háború összefüggései, ZMKA, 1995.
- [14] BÍRÓ SÁNDOR őrnagy: Kis kiterjedésű objektum közvetlen oltalmazásának kérdései, Záró dolgozat, ZMNE könyvtár, 835/447
- [15] DR. BOGNÁR KÁROLY nyugállományú ezredes: A veszélyek, fenyegetések újszerű értelmezése, Hadtudomány, 1998/2.
- [16] Hadtudományi Lexikon. Magyar Hadtudományi Társaság, Akadémia Kiadó, Bp., 1995. Főszerkesztő: Dr. Szabó József, ISBN 963 045 226 X, 8
- [17] HORVÁTH BÉLA alezredes: A katonai repülőerők földi célpontok elleni harctevékenységeinek modellezése, ZMNE, Jegyzet, 820/26, 1995.
- [18] JÓZAI JÁNOS határőr alezredes: Az objektumörizetben ható törvényszerűségek és általános elvek. MHTT pályázat 1998, különdíj, (megjelenése folyamatban), Honvédelem, 1999.
- [19] JÓZAI JÁNOS határőr alezredes: Gondolatok a fegyveres erők fejlesztéséről. HVK pályázat 1998, HM könyvtár
- [20] KOHÁRY ISTVÁN alezredes: Légirendészet ellátása katonai repülőgépekkel. Hadtudomány, 1997/3.
- [21] DR. KORMOS LÁSZLÓ nyugállományú ezredes: A helikopterek katonai alkalmazásának tapasztalatai. Hadtudomány, 1998/3.

- [22] DR. KORMOS LÁSZLÓ nyugállományú ezredes: A légierő építésének néhány tanulsága az európai országokban. Hadtudomány, 1997/4.
- [23] DR. KÖSZEGVÁRI TIBOR nyugállományú vezérőrnagy: A jövő század hadviselése és a különleges erők. Hadtudomány, 1997/4.
- [24] KRAJC ZOLTÁN őrnagy – TATORJÁN ISTVÁN őrnagy: A légierő doktrínájának néhány kérdéséről. Hadtudomány, 1998/3.
- [25] LÜKŐ DÉNES mérnök alezredes: A légierő helyének, szerepének, rendeltetésének, feladatrendszerének és alkalmazási alapelveinek elemzése a Magyar Köztársaság NATO-integrációjának tükrében. Kandidátusi értekezés, 1997.
- [26] NATO Doktrína a Békétámogató Hadműveletekről (HVK Euro–Atlanti Integrációs munkacsoport)
- [27] PALIK MÁTYÁS százados: Pilóta nélküli repülőeszközök alkalmazási lehetőségei. Záró dolgozat, ZMNE könyvtár, 835/493.
- [28] DR. SZABÓ GYULA r. alezredes: A biztonságot szolgáló személy- és vagyonvédelemről. Hadtudomány, 1998/3.
- [29] SZECSKÓ JÁNOS százados: Az ellenség földi célpontjainak értékelése a harcászati repülők légi csapásainak tervezésekor. Záró dolgozat, ZMNE könyvtár, 835/0515.
- [30] Szövetséges Közös Hadműveletek Doktrínája (NATO AJP-1)
- [31] TÓTH RUDOLF - JÓSZAI JÁNOS: A Határőrség és a Polgári Védelem Együttműködése MHTT pályázat 1998, III. díj, (megjelenése folyamatban), Honvédelem, 1999.
- [32] VÁNYA LÁSZLÓ mérnök alezredes: A hadviselés különleges eszközei, a nem halálos fegyverek. Hadtudomány, 1998/2.

A DUGÓHÚZÓ

Kovács István alezredes Semsei László alezredes
egyetemi adjunktus egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Hadtudományi Kar
Repülő tanszék

A dugóhúzó a repülőgép mozgásának egyik legbonyolultabb formája. Ezért a cikkben igyekeztünk röviden ismertetni a repülőgép viselkedését ebben a repülési helyzetben. Vázoltuk a repülőgép mozgásparamétereinek változásait, valamint ismertettük a dugóhúzóból történő kivétel szabvány módszerét.

BEVEZETÉS

A dugóhúzó általában nem tartozik a gyakran végrehajtott műrepülő figurák közé. Eltekintve a bemutatókon vagy gyakorlás céljából végrehajtott esetektől, ilyen repülési helyzetbe a repülőgép (pilóta) véletlenül kerül. A dugóhúzó a repülőgép legbonyolultabb mozgásformáinak egyike. A dugóhúzóba kerülés okai hosszú időn keresztül ismeretlenek voltak [1]. A repülés kezdeti időszakában a pilóták számára ez a jelenség jelentette a legnagyobb veszélyt. Ebben az időben még nem voltak ismertek a mozgást leíró fizikai törvényszerűségek, sem a dugóhúzóból való kivétel hatékony módszerei. Az első szándékos és sikeres dugóhúzót az I. világháború közepén hajtották végre. Ezt követően a kísérleti kutatások nagy lendületet kaptak.

A statisztikai felmérések azt mutatják, hogy napjainkban a repülőbalesetek és katasztrófák 15–20%-a az áteséssel és az azt követő dugóhúzóval kapcsolatosak [1]. Éppen ezért a repülőgépvezetők számára elengedhetetlenül szükséges a kritikus állásszögeken valamint, a dugóhúzóban lezajló fizikai folyamatok átfogó ismerete.

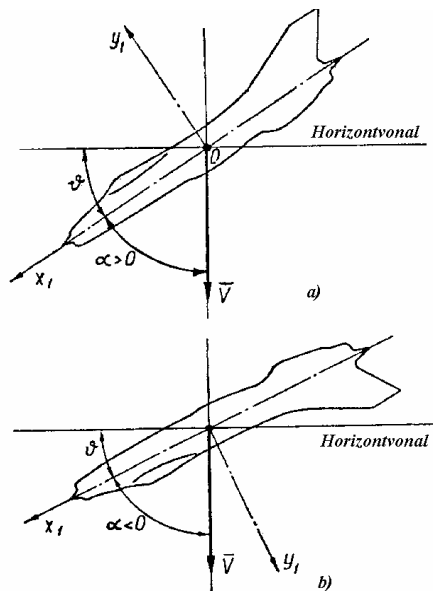
DUGÓHÚZÓ

Dugóhúzónak nevezzük a repülőgép kis sugarú spirális pályán történő mozgását kritikus értéken túli állásszögeken, mindhárom (X_1 , Y_1 , Z_1) tengelye körül történő

nő egyidejű forgással, amelyet a kormányozhatóság teljes vagy részleges elvesztése kísér [2].

A szárny központi metszeti (α) állásszögének előjele és értéke meghatározza a dugóhúzó típusát. Ha az $\alpha > 0$, akkor normális dugóhúzóról beszélünk (1. ábra). Az ilyen repülési helyzetben a repülőgépvezető normális, azaz fejjel felfelé helyzetben van. Ha $\alpha < 0$, akkor hátondugóhúzóról beszélünk, és ebben az esetben a repülőgépvezető fejjel lefelé ül a kabinban, a repülőgép pedig háton helyzetben pörög.

A repülőgép hossz tengelyének a horizont vonalához viszonyított helyzetétől (9) függően megkülönböztetünk lapos és meredek dugóhúzót. Abban az esetben, ha a bólintási szög $\vartheta > 50^\circ$ (általában $50^\circ - 70^\circ$) és a szárny központi metszeti állásszöge $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$, meredek dugóhúzóról, ha a $\vartheta < 50^\circ$ és az $\alpha = 30^\circ - 60^\circ$ (egyes esetekben meg is haladhatja ezt az értéket), lapos dugóhúzóról beszélünk. [3]

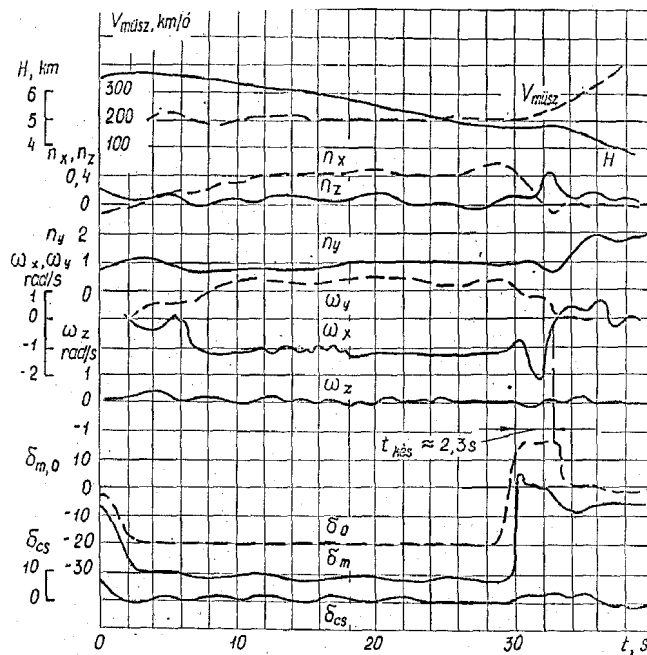


1. ábra

A repülőgép helyzete normális és fordított dugóhúzóban

A repülőgép tömegközéppontjához viszonyított mozgásának jellege szerint az összes dugóhúzót két csoportba lehet sorolni, az INSTABIL és a STABIL DUGÓHÚZÓK csoportjába.

STABIL DUGÓHÚZÓNAK nevezzük azt a dugóhúzót, amelyben a repülőgép nem változtatja forgási irányát. A forgás során a fő mozgásparaméterek megváltozhatnak, de nem olyan mértékben, mint a instabil dugóhúzónál (2. ábra).



2. ábra

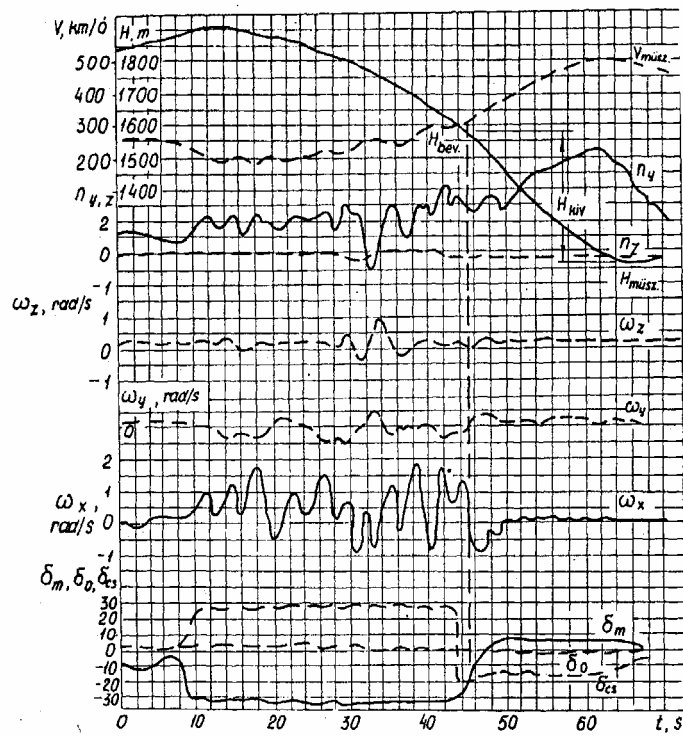
A repülőgép mozgásparamétereinek változása a normális stabil dugóhúzó folyamán

INSTABIL DUGÓHÚZÓNAK nevezzük azt a dugóhúzót, amelyben a forgás periodikusan és önkényesen változik (3. ábra). Ilyen dugóhúzóban a repülőgép orra hol a horizont vonala alatt van, hol pedig felette. A hajtómű (motor) giroszkópikus nyomatékként a jobb forgású dugóhúzó eltérhet a bal forgású dugóhúzótól, különösen a bevitelt követő néhány másodpercben. Instabil dugóhúzóban a viszonylag gyors szögsebesség-változás következtében a repülőgép-vezetőre jelentős oldalirányú túlterhelések hatnak [3].

Vizsgáljuk meg a repülőgép tömegközéppontjának mozgását, valamint a dugóhúzó fő mozgásparamétereit.

Dugóhúzóban a repülőgép energikusan forog a sebességvektorhoz közel eső tengelye körül, és a géppel együtt forog az „R” teljes aerodinamikai erő vektora is. A teljes aerodinamikai erő pályagörbületre gyakorolt hatása nem jelentős, ezért az átesést követően a dugóhúzóban a repülőgép tömegközéppontja egy meghatározott spirál mentén mozog (4. ábra).

A repülőgép tömegközéppontjának mozgáspályáját képező spirális pályát a dugóhúzó tengelyének nevezzük [1].



3. ábra

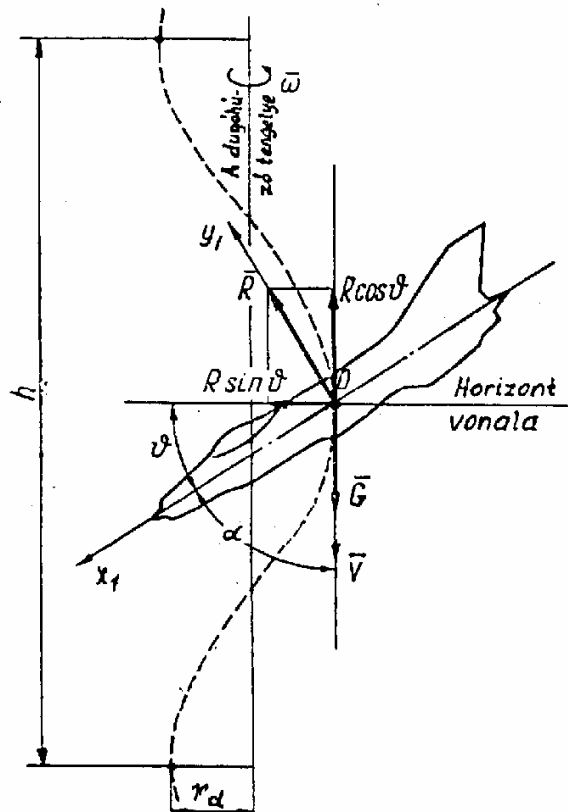
A repülőgép mozgásparamétereinek változása az instabil normális dugóhúzó folyamán

A dugóhúzó fő mozgásparamétereinek vizsgálatakor általában stabil forgású és viszonylag függőleges tengelyű mozgást szoktak feltételezni. Mivel természetes körülmények között a dugóhúzó mozgásparamétereinek csak feltételesen tekinthetők állandósultnak, így a vizsgált jelenséget csak igen rövid szakasz viszonylatában lehet elfogadni.

A dugóhúzó fő mozgásparamétereinek:

- A dugóhúzó sebessége: v
- Pörgés sugara: r_d
- Egy pörgés ideje: t_{df}
- Egy pörgés alatti magasságvesztés: h
- A dugóhúzóban fellépő túlterhelés: n_d

A dugóhúzó sugarának (r_d) a spirál vízszintes vetületének sugarát vesszük.



4. ábra

A repülőgépre ható erők dugóhúzó közben

Feltételezzük, hogy a dugóhúzóban a teljes aerodinamikai erő a szárny felületének szimmetriasíkjába esik, és a hosszirányú, valamint a keresztirányú erők jelentősen kisebbek a normális értéknél. Állandósult dugóhúzóban $v = \text{constans}$ a repülőgép súlyereje a teljes aerodinamikai erő függőleges összetevőjével tart egyensúlyt (nem működő vagy fojtott hajtómű/motor esetén), a vízszintes összetevője pedig a centripetális erővel tart egyensúlyt.

$$mg = R \sin \alpha = c_R \frac{\rho v_d^2}{2} A \sin \alpha \quad (1)$$

és

$$m \omega^2 r_d = R \cos \alpha \quad (2)$$

(A teljes aerodinamikai erő R tényezője $c_R = \text{constans}$)

Ezen egyenletek felhasználásával meghatározhatjuk a dugóhúzó fő mozgásparamétereit.

A dugóhúzó sebessége:

$$v_d = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A c_R \sin \alpha}} \quad (3)$$

A dugóhúzó sugara:

$$r_d = \frac{g}{\omega^2 \tan \alpha} \quad (4)$$

Egy fordulat végrehajtási ideje:

$$t_{df} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (5)$$

Egy fordulat alatti magasságvesztés:

$$h = v t_{df} = 2\pi \frac{v}{\omega} \quad (6)$$

A dugóhúzóban fellépő túlterhelés értékét a következő képletből határozhatjuk meg:

$$n_d = \frac{R}{gm} = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (7)$$

A dugóhúzóban fellépő túlterhelés önmagában nem jelent sem nagy megterhelést, sem veszélyt, mivel értéke nem nagy. Jelentős túlterhelés növekedés csak a meredek zuhanásból történő kivétel közben jön létre.

KIVÉTEL DUGÓHÚZÓBÓL

A dugóhúzó fő okának tekinthetjük azt, hogy a repülés során a repülőgép a kritikus értéket meghaladó állásszög értékre kerül. Ezért a dugóhúzóból történő kijutáshoz a repülőgépet olyan helyzetbe kell hozni, hogy az állásszög értéke kisebb legyen a kritikus értéknél. Ehhez a manőverhez meg kell bontani a beállt nyomatéki egyensúlyt [1].

Az állandósult forgásban az M_{ZA} aerodinamikai, bólintási nyomaték az $M_{Z\text{ teh}}$ tehetetlenségi nyomatékkal tart egyensúlyt.

$$M_{ZA} + M_{Z\text{ teh.}} = 0$$

és

$$M_{Z\text{ teh.}} = |J_Y - J_X| \omega_Y \omega_X$$

$$M_{ZA} + |J_Y - J_X| \omega_Y \omega_X = 0$$

Így állandósult forgás esetén az ω_X dőlési és a ω_Y legyező szögsebesség a dugóhúzó ω szögsebességén keresztül kerül kifejezésre:

$$\omega_X = \omega \cos \alpha$$

$$\omega_Y = \omega \sin \alpha$$

Ezért a $M_{Z\text{ teh}}$ hosszirányú tehetetlenségi nyomatékot a következőképpen is meghatározhatjuk:

$$M_{Z\text{ teh.}} = |J_Y - J_X| \frac{\omega^2}{2} \sin 2\alpha$$

Ismerve az önpörgés jellemzőit és a $J_{Y,X}$ értékeit, megszerkeszthetünk egy diagramot (5. ábra), amely kifejezi az aerodinamikai M_{ZA} és a tehetetlenségi $M_{Z\text{ teh.}}$ nyomatékok változását az állásszög α függvényében.

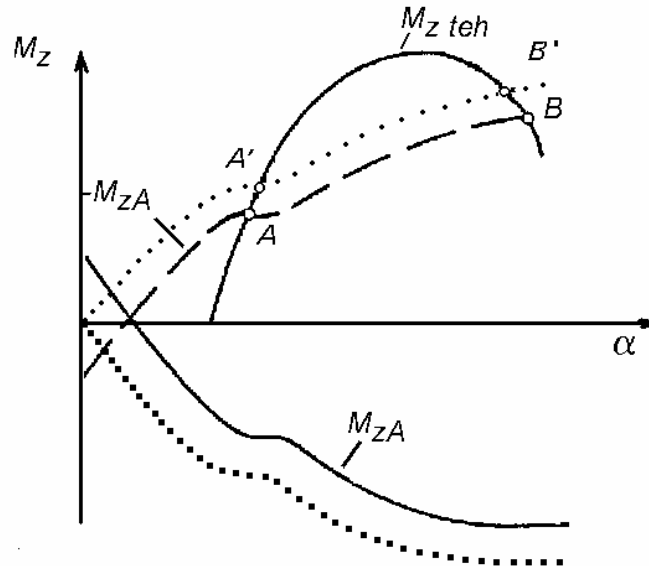
Mivel állandósult mozgás dugóhúzóban csak akkor valósul meg, ha az aerodinamikai M_Z és a tehetetlenségi nyomaték $M_{Z\text{ teh}}$ egyenlő. Az állandósult dugóhúzó üzemmódjainak meghatározásához célszerű felrajzolni az M_{ZA} aerodinamikai nyomaték tükörképét is (az ábrán szaggatott vonallal van ábrázolva), így a két görbe metszéspontjában a következő üzemmódokat határozhatjuk meg:

- „A” pontban az állandósult meredek, instabil dugóhúzó;
- „B” pontban a lapos, stabil dugóhúzó üzemmódjai találhatók.

A KIVÉTEL TECHNIKÁJA

Ha a magassági kormányt előre nyomjuk ($\Delta\varphi > 0$), akkor a repülőgépen olyan nyomaték keletkezik, melynek hatására az aerodinamikai nyomaték M_{ZA} lefele mozdul el, vagyis értéke nő. $M_{ZA\varphi 2}$ (5. ábra pontozott görbe) és ezáltal a tükörgörbéje a tehetetlenségi nyomaték $M_{Z\text{ teh}}$ görbét nem metszi, ami azt jelenti,

hogy ebben az esetben elégséges zuhanási nyomaték keletkezik, vagyis a repülőgépet ki lehet venni a dugóhúzóból.



5. ábra

Az aerodinamikai és a tehetetlenségi nyomaték az állásszög függvényében

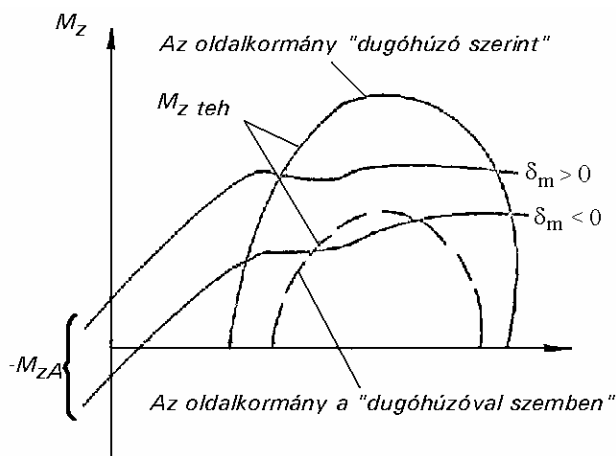
Egyes szélsőséges esetekben (nagy hátsó súlyponti helyzet) előfordulhat, hogy egyedül a magassági kormány kitérítése nem elégséges ahhoz, hogy a repülőgép kijöjjön a dugóhúzóból. Ezért ennél a módszernél hatásosabb módszert dolgoztak ki. A módszer lényege az, hogy először a repülőgép forgási szögsebességét (ω_x , ω_y) csökkentik és ezáltal csökken a tehetetlenségi nyomaték $M_{z\text{ teh}}$ értéke is. Ahhoz, hogy a szögsebességet (ω) le lehessen csökkenteni, az oldal-kormányt (pedált) a dugóhúzó forgási irányával szembe kell kitéríteni. A kitérítés eredményeként a belső félszárnyon csúszás keletkezik, és e csúszás eredményeként olyan erők keletkeznek, melyek fékezik a repülőgép forgását. (6. ábra) Ezen tényezők figyelembevételével a repülőgépek dugóhúzóból történő kivételére szabvány módszereket dolgoztak ki.

A szabvány módszer lépései a következők

- meg kell állapítani a repülőgép forgási irányát (nem szándékos bevitel esetén);

- a forgási szögsebesség, valamint a tehetetlenségi nyomaték csökkentése céljából az oldalkormányt (pedált) a dugóhúzó forgási irányával szembe térítjük ki;
- 2–4 másodperc múlva a magassági kormányt a zuhanás irányába térítjük ki (botkormányt előre nyomjuk);
- a forgás megszűnése után a kitérített kormányokat semleges helyzetbe állítjuk;
- a repülőgépet a dugóhúzóban elvesztett magasság figyelembevételével kivezetjük a zuhanásból.

A kormányszervek kitérítésének mértékét és a kitérítés közti intervallumot, általában kísérleti úton, a repülőgép berepülései során határozzák meg. A kidolgozott módszereknek egyszerűen végrehajthatóknak kell lenni, és biztosítani kell a dugóhúzóból való kivételt minimális késéssel.

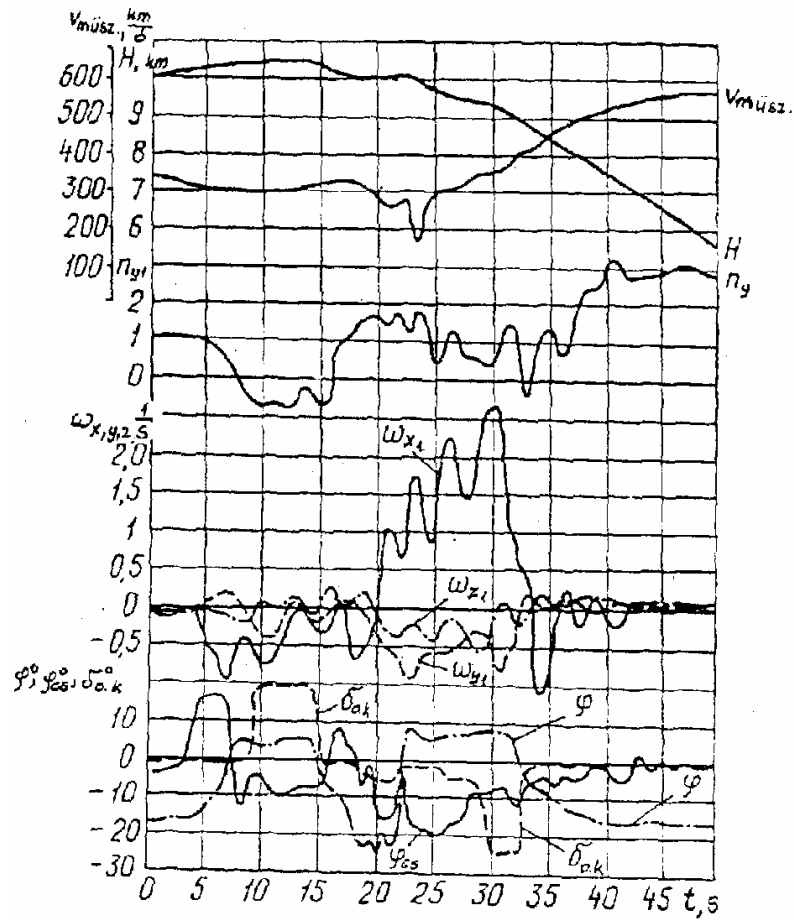


6. ábra

Az oldalkormány kitérítésének hatása a tehetetlenségi nyomatékra

A (7. ábra) a repülőgép mozgásparamétereinek változását szemlélteti egy stabil, meredek dugóhúzóból történő kivétel során. A kivételt a fent említett szabvány kivételi módszerrel hajtották végre. A kormányok kitérítésének az irányát és a mértékét a (8. ábra) szemlélteti.

A dugóhúzóból történő kivételt a repülőgép-vezető a 22. másodpercben kezdte meg. A csűrőkormányt jobbra, vagyis a repülőgép forgási irányával megegyező irányba térítette ki (φ_{cs}). Ezáltal stabilizálta a forgást, majd a 29. másodpercben az oldalkormányt (pedált) a forgási iránnyal szembe térítette ki a szögsebesség csökkentése céljából.



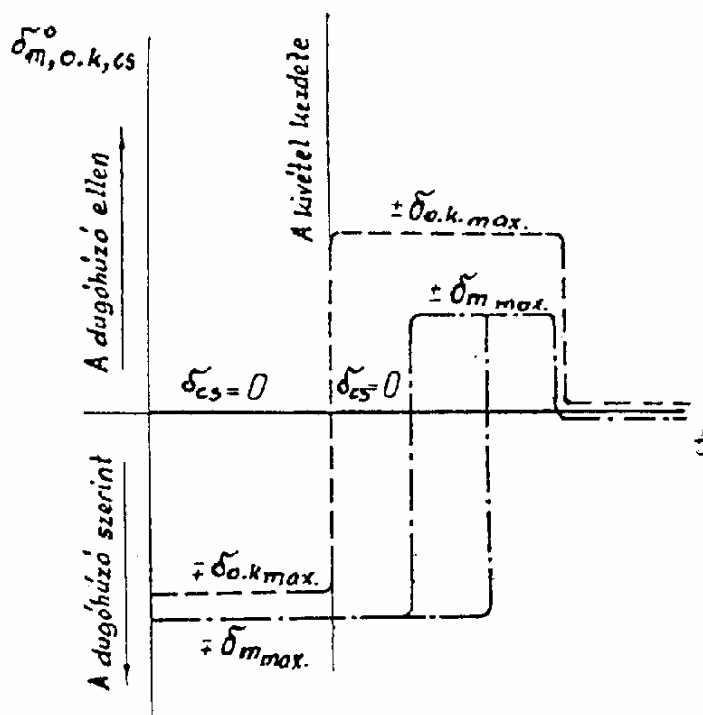
7.ábra

A repülőgép mozgásparamétereinek változása stabil, meredek dugóhúzóból történő kivételkor

A repülőgép forgása a 32–33. másodpercben megállt, és ebben a pillanatban a pilóta a magassági kormányt (φ) a zuhanás irányába térítette ki (a botkormányt intenzíven előre nyomta a semleges helyzet mögé). Ezzel egyidőben a kitérített oldalkormányt (δ_{ok}) intenzíven a semleges helyzetbe állította. A csűrőkormány finom mozgásával megakadályozta a nem szándékolt keresztirányú bedőlést. Az egész manőver mintegy tíz másodperc alatt zajlott le.

A dugóhúzóban lezajló gyors mozgásparaméter változások, valamint a rendelkezésre álló rövid idő szükségessé teszik azt, hogy a repülőgépvezetők megfelelő szinten ismerjék repülőgépük viselkedését dugóhúzóban, és kellő jártas-

ságra tegyenek szert a dugóhúzóból történő kivétel szabvány módszereinek elsajátításában.



8.ábra

A kormányok kitérítése stabil, meredek dugóhúzóból történő kivételkor

Korszerű repülőgépek viselkedése dugóhúzóban szinte típusonként más és más. Egy adott repülőgép viselkedését dugóhúzóban a repülőgép aerodinamikai kézikönyve, a kivétel szabvány módszerét pedig a légiüzemeltetési utasítás tartalmazza.

Az újonnan kialakításra került repülőgépeken számos technikai újítás segíti a pilótát abban, hogy ne kerüljenek spontán dugóhúzó helyzetbe. A legismertebb ilyen berendezés fény és hangjelzéssel figyelmeztet, ha a repülőgép manőverezés közben eléri a kritikus állásszöget. Vannak olyan berendezések, amelyek megakadályozzák a pilótát abban, hogy a kritikus állásszögnél nagyobb állásszög értéket tudjon beállítani (blokkolják a magassági kormány kitérítését).

ÖSSZEFOGLALÁS

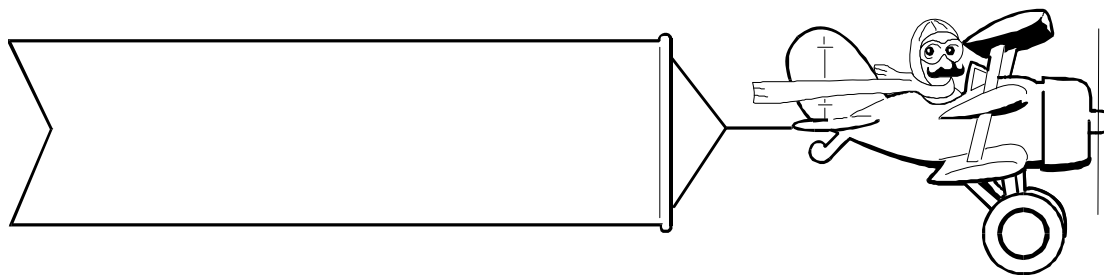
A cikk bemutatta a dugóhúzót mint repülési figurát. Megismerteti az olvasót a dugóhúzó fajtáival, kialakulásának fizikai magyarázatával és a repülőgép viselkedésével dugóhúzóban.

Megvizsgálja a dugóhúzó fontosabb mozgásparamétereinek változásait. Végezetül pedig a dugóhúzóból történő kivétel szabvány módszerét ismerteti. A cikk szerzői a téma feldolgozásával segítséget kívántak nyújtani a záró, valamint a TDK- dolgozatok elkészítéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. M. TARASZENKOV, V. G. BRAGA, V. T. TARANENKO: Dinamika poljota i bojevogo manevrirovaniya letatelnykh apparatov, Moszkva, 1984.
- [2] Prakticseszkaja aerodinamika manyevrennih szamoljotov, Moszkva, 1997.
- [3] A. E. KOROVIN, J. F. NOVIKOV: Prakticseszkaja aerodinamika poljota szamoljotov JAK-52, Moszkva, DOSZAAF, 1989.

Spin is to be one of the most sophisticated forms of aircraft's moving. That is why in this article we have tried to describe briefly the attitude of the aircraft during such circumstances of flying. We outlined the changes of aircraft movement's parameters and characterized the standard way of taking the aircraft out of spin.



KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI ROVAT

ROVATVEZETŐ: DR. ROHÁCS JÓZSEF

ROVATSZERKESZTŐK: DR. NÉMETH MIKLÓS

ESZES JÁNOS

LÉZERGIROSKÓPOK MŰKÖDÉSI ELVE, EGYENLETEI ÉS ÁTVITELI KARAKTERISZTIKÁI

**Békési Bertold mérnök százados
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék**

A lézer egyik legbiztosabb alkalmazása a giroszkópként való felhasználása (Heer, 1961; Rosenthal, 1962; Macek és Davis, 1963; McCartney, 1966; Killpatrick, 1967). A lézergiroszkópok repülőtechnikai alkalmazása egy cikksorozat keretén belül kerül bemutatásra. Az első rész a lézergiroszkópok elméleti alapjait tárgyalja (Young, Michelson, Sagnac) kísérletein keresztül, valamint a gyűrűlézerek szerkezeti kialakítását vázolja.

BEVEZETÉS

A lézergiroszkóp egy integráló sebességi pörgettyű, nem a megszokott értelemben, mivel nem tartalmaz forgó tömeget. A lézergiroszkóp alapvető jellegzetessége (tulajdonsága), hogy a lézersugárzás egy gyűrű alakú üregen áthaladva záródik. Az üreg biztosítja két független, ellentétes irányítású haladóhullám oszcillációját különböző frekvenciákon. A haladó hullámok oszcillációjának frekvenciái függenek az üreg tehetetlenségi térhez viszonyított forgásától. A két hullám frekvenciájának különbsége adja az üreg forgásának nagyságát. A rendszer szempontjából a lézergiroszkópot figyelembe vehetjük, mint egy fekete dobozt. Energiát közlünk vele, információt ad, amit betáplálnak a számítógépbe.

Tehát azt mondhatjuk, hogy a lézergiroszkóp nem más, mint egy gyűrűs optikai rezonátor, amelyben két, egymástól függetlenül, ellentétesen futó hullám keletkezik. Az elektromágneses hullámok paraméterei függenek a forgási szögsebesség irányától és értékétől. Tehát a lézergiroszkópokban a mérendő szögsebességről az elektromágneses hullámok hordoznak információkat.

A kezdeti kísérletek alapjait Michelson és Sagnac rakták le. A lézergiroszkópok gyakorlati megvalósításának első jelei a 60-as évek elején jelen-

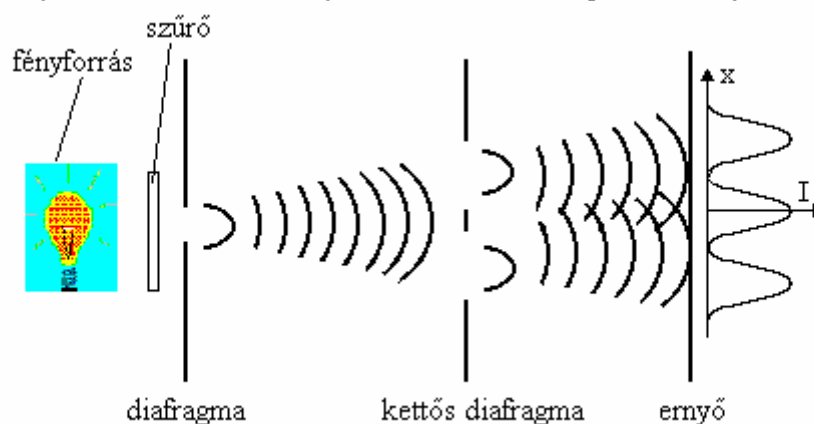
tek meg. A lézergiroszkópok vizsgálatát három részre oszthatjuk: működésének elméleti alapjai, az aktív lézer jelenség és az üreg. [5, 6]

A lézergiroszkóp anyagának és működésének kihangsúlyozása más, potenciálisan problémás területet hoz felszínre, amelyet figyelembe kell venni a giroszkóp tervezésénél és felépítésénél. A lézergiroszkóp sikeres felhasználását és végső elfogadását mint eszközt az fogja meghatározni, hogy mennyire jól és gazdaságosan lehet tervezni, valamint felépíteni.

LÉZERGIROSKÓPOK ELMÉLETI ALAPJAI

YOUNG KÍSÉRLETE

Th. Young (1773–1829) zseniálisan egyszerű kísérletet gondolt ki és valósított meg a fény hullám voltának bizonyítására. A kísérlet alapelvét mutatja az 1. ábra.



1. ábra

Young kísérletének vázlata

Monokromatikus (egyszínű) síkhullám esik két egymáshoz közel eső kis nyílásra. A nyílásokon elhajló fényhullámok két széttartó kúpban terjednek tovább, egymást részben átfedve. Az átfedési tartományban elhelyezett ernyőn interferenciacsíkok jelennek meg; fényesség vagy sötétség lesz a vizsgált pontban, attól függően, hogy a két nyílástól odaérkező részhullámok azonos vagy ellentétes fázisban vannak.

Ha a gyakorlatban is meg akarjuk valósítani Young kísérletét, és látható interferenciaképet akarunk kapni, akkor egyrészt biztosítani kell, hogy az ernyőre eső fény eléggé monokromatikus legyen — ez pl. megoldható úgy, hogy egy izzólámpa fényéből keskeny áteresztési sávú színszűrővel kiszűrünk egy szűk hullámhossz tartományt —, másrészt el kell érni, hogy a beeső hullám fázisa a két nyílásnál egymáshoz képest állandó legyen. Ez utóbbi úgy valósítható meg, hogy a lámpát egy további kis nyílás mögött, elég távol helyezzük el (pontszerű forrás, nagy távolságban); ekkor a hullámtér, bár továbbra is fluktuál a nyílások tartományában, de a lámpa nagy távolsága és a nyílások közelsége miatt a két nyílás helyén a hullám fázisa közelítőleg azonos módon változik, s így a fáziskülönbség többé-kevésbé állandó marad.

Mivel azonban a fáziskülönbség nem teljesen állandó, az interferenciakép kontrasztja sem lesz tökéletes: a minimum nem lesz teljesen sötét, és a maximum is kevésbé lesz fényes. Növelve a nyílások távolságát, a csíkok láthatósága rohamosan lecsökken, majd el is tűnik, mutatva, hogy egy bizonyos távolságon túl a hullámfront két pontjának fázisa között már nincs semmi kapcsolat.

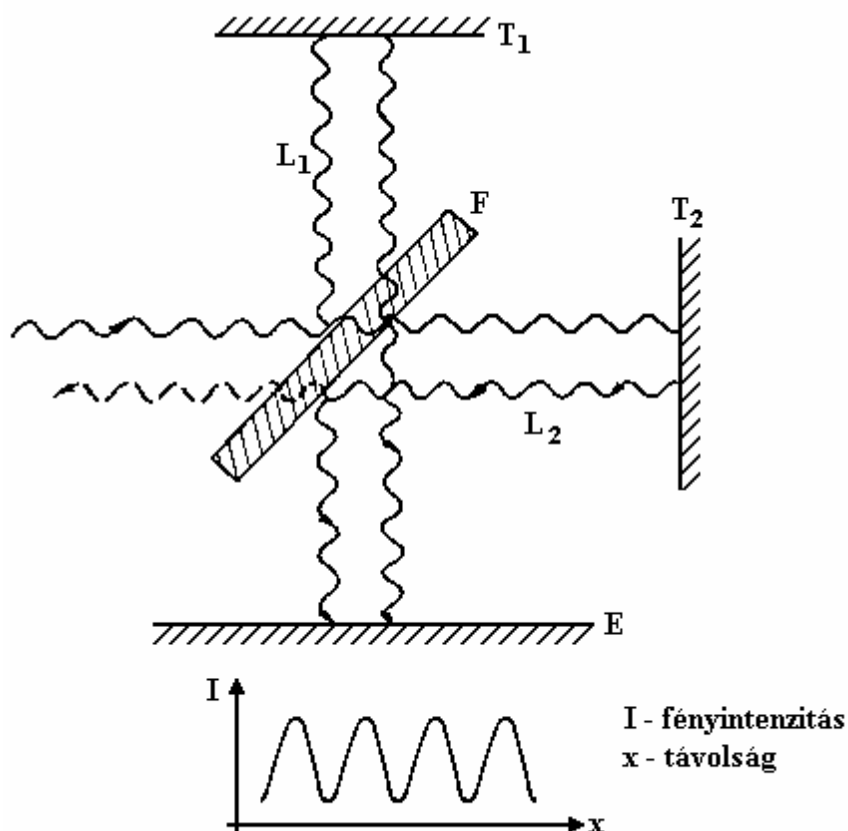
A fényhullámtér két pontja közötti fáziskötöttségnek tehát mértéke a Young-interferenciakép láthatósága. A hullámtér pontjai közötti fáziskötöttséget térbeli koherenciának (rendezettségnek) szokták nevezni. Ezzel a fogalommal eredményeinket úgy foglalhatjuk össze, hogy egy hullámtér térbeli koherenciájának mértéke a Young-interferenciakép láthatósága. A közönséges fényhullám általában térben inkohere. A koherenciát javítani lehet színszűrők, diafragmák segítségével. Ez azonban mindig óriási intenzitásvesztéssel jár együtt.[3]

MICHELSON KÍSÉRLETE

Michelson (1852–1931) kísérlete később a relativitáselmélet sarkköveként vált világhírűvé. Itt most azért idézzük fel vázlatosan, mert a fényhullámok időbeli koherenciájának vizsgálatára ad lehetőséget. A kísérlet elvét a 2. ábra szemlélteti.

A beeső monokromatikus síkhullám az F félig áteresztő tükrore két résznyalábra oszlik, majd ezek a T_1 illetve a T_2 tükrökről visszaverődve az F félig áteresztő tükrore ismét egyesülnek és együtt haladnak tovább az E ernyőhöz. A befutott külön fényutak miatt a két hullám fáziskülönbségét a $2(l_1 - l_2)$ úthossz-különbség szabja meg. Ha ez a hullámhossz egész számú többszöröse, akkor a két hullám azonos fázisú és erősíti egymást, ha az úthossz-különbség a fényhullámhossz páratlan számú többszöröse, akkor ellentétes fázisúak és — egyenlő intenzitások esetén — kioltják egymást. A gyakorlatban legtöbbször a tükrök nem pontosan merőlegesek a fényhullám terjedési irányára, s ezért a két részhullám kis szög

alatt találkozik, a fáziskülönbség az ernyőn pontról pontra változik, interferenciacsíkok keletkeznek.



2. ábra
A kísérlet elve

A ténylegesen megvalósított kísérletnél akkor kaphatunk jól látható interferenciaképet, ha a fényforrás pontszerű, távol van és közel monokromatikus. De ezen felül van még egy további feltétel: az l_1 és l_2 karhosszaknak közel azonosaknak kell lenniük. Már Michelson észrevette ugyanis, hogyha az egyenlő karú ($l_1=l_2$) kezdőállapotból kiindulva pl. a T_2 tükröt önmagával párhuzamosan óvatosan elmozgatta, az interferencia csíkok láthatósága rohamosan lecsökkent, s végül teljesen eltűnt. A monokromatikusság mértékétől függően ez a távolság néhány μm -tól néhány mm-ig terjedt. Hagyományos fényforrással és szűrési technikával

később sem sikerült interferenciaképet kapni néhány dm-es úthossz különbség felett.

Matematikai módszerrel ki lehet mutatni, hogy a sávszélesség és egy hullám szabályossága között egyértelmű kapcsolat van: minél monokromatikusabb a hullám, annál hosszabb ideig marad kötött a fázisa és fordítva. Vagyis, ha egy hullámtér fázisa időben szabályosan változik, akkor azt mondjuk, hogy a hullám időben koherens. A Michelson interferométerrel tehát egy hullámról meg lehet állapítani, hogy milyen az időbeli koherenciája (rendezettsége), illetve mennyire monokromatikus. Minél monokromatikusabb, annál nagyobb a koherencia. Azt az időt, amelyen belül a hullám még koherens, koherencia időnek (τ), a hozzá tartozó hosszát koherencia hosszának (Λ) nevezik.

A két mennyiség között nyilván fennáll a

$$\Lambda = c \tau \quad (1)$$

összefüggés (c - a fénysebesség).

Talán érdemes még azt is megjegyezni, hogy a hullám sávszélessége ($\Delta\nu$) és a koherenciaidő között fennáll a

$$\tau = \frac{1}{\Delta\nu} \quad (2)$$

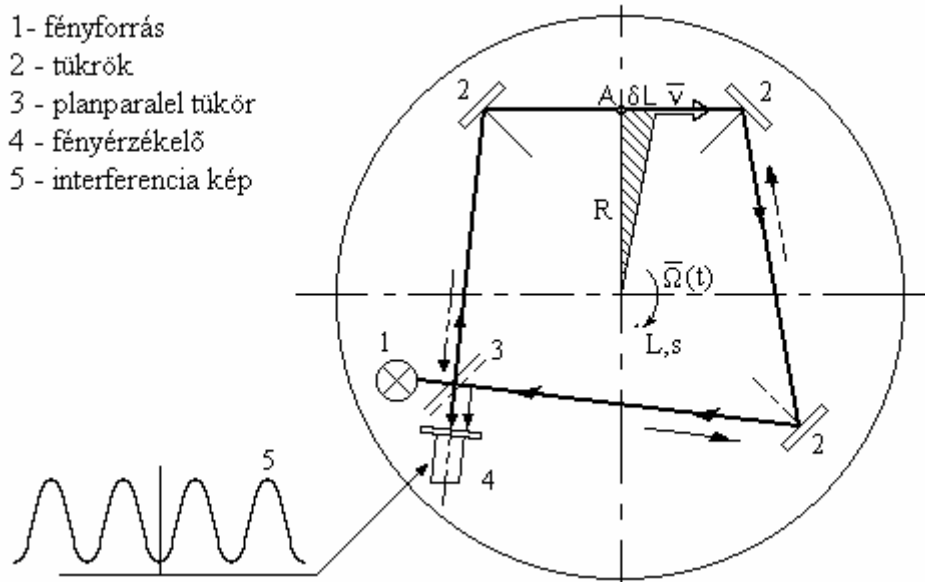
összefüggés.

Végeredményben azt mondhatjuk, hogy minél monokromatikusabb a hullám — minél kisebb a sávszélessége —, annál nagyobb útkülönbségig megmarad az interferenciakép a Michelson féle interferométerben. A Michelson-féle tapasztalat pedig arra utal, hogy a hagyományos fény többnyire nem túl monokromatikus, s monokromatikusságát bizonyos határon túl nem is lehet javítani.[3, 7]

SAGNAC INTERFERENCIA KÍSÉRLETE

Már 1911-ben Sagnac, majd 1925-ben Michelson és Gale interferencia kísérlettel bebizonyította, hogy egy rendszer forgását valamely, úgynevezett inercia rendszerhez (nyugvó vagy állandó sebességű, egyenes vonalú mozgást végző rendszer) képest észlelni lehet magában a forgó rendszerben is. Lényegében az ő mérési elvükön alapszik a lézergiroszkóp működése, mellyel tehát nagy pontossággal mérni lehet egy rendszer forgását, vagy általánosabban megfogalmazva: egy rendszernek az egyenes vonalú mozgástól való eltérését.

Sagnac a newtoni „fényhordozó éter” — elmélet ellenőrzése során végezte interferencia kísérletét. Forgó alapra négy tükröt és fényforrást helyezett (3.ábra), és az optikai fényérzékelőkkel rendelkező gyűrűs interferométerben a fény terjedését vizsgálta.



3. ábra

Sagnac interferencia kísérlete

Az egyik hullám — például az alap forgási irányába tartó — sebességét Sagnac $c+v$ alakban adta meg, ahol v — az alap pillanatnyi kerületi sebessége. Az alap forgási iránya ellenébe haladó hullám sebessége pedig $c-v$, ahol c — a fény terjedési sebessége. Mindezek értelmében a két hullám által befutott úthossz különbsége (lásd a 3.ábrát)

$$\delta L = c\Delta t = c\left(\frac{L}{c-v} - \frac{L}{c+v}\right) \text{ vagy } \delta L \cong \frac{2L}{c}v = \frac{2LR}{c}\Omega(t) \quad (3)$$

ahol:

$$\Delta t = \frac{2vL}{c^2} - c \gg v$$

esetén az egymással szembefutó fényhullámok δL úthossz különbségéhez tartozó idő.

Figyelembe véve, hogy

$$v = R\Omega(t) \quad (4)$$

$$S = RL \quad (5)$$

$c \gg v$ esetén az úthossz különbség:

$$\delta L \cong \frac{2LR}{c}\Omega(t) = \frac{2S}{c}\Omega(t) \quad (6)$$

Az (1) (6) képletekben:

L — egy-egy hullám által megtett út (rezonátorhossz)

R — a δL elemi út forgási sugara

$\Omega(t)$ — a gyűrűs interferométer alapjának forgási szögsebessége

Mivel az egyes fényhullámok a rezonátorban más és más úthosszat ($L + \delta L$, $L - \delta L$) tesznek meg, ezért frekvenciáik is eltérnek az $f_0 = qc/L$ alapfrekvenciától:

$$f_1 = q \frac{c}{L + \delta L}; f_2 = q \frac{c}{L - \delta L} \quad (7)$$

A két szemben haladó hullám frekvenciakülönbsége a detektoron (a 3. ábrán a fényérzékelő) mint a fényintenzitás "lebegése" észlelhető (az interferenciaképen). Ez kb. 100Hz-es alsó határnál hirtelen eltűnik (ez néhány tizedfordulat/óra szögsebességet jelent). Az eltűnés fizikai oka, hogy a szembefutó, eltérő frekvenciájú hullámok a fényerősítő közegben egymással is kölcsönhatásba lépnek, és ha a frekvenciakülönbség kicsi, akkor az egyik a másik frekvenciáját magához húzza. A nehézség kiküszöbölhető úgy, hogy a két frekvenciát eleve távolabb vesszük egymástól. A szemben haladó fényhullámok frekvenciakülönbsége tehát $L^2 \gg (\delta L)^2$ esetén:

$$\Delta f = f_1 - f_2 = qc \frac{2\delta L}{L^2 - (\delta L)^2} \cong f_0 \frac{2\delta L}{L} = \frac{4S}{\lambda_0 L} \Omega(t) \quad (8)$$

vagy

$$\Delta f = A\Omega(t) \quad (9)$$

ahol: $A = \frac{4S}{\lambda_0 L}$ - a gyűrűs interferométer együtthatója

Tehát a frekvenciakülönbség egyenesen arányos a forgó alap szögsebességével [3, 5, 6, 7].

A fenti jelenséget először Sagnac francia fizikus figyelte meg, és örvény jelenségnek nevezte el. Sagnac kísérletei után a következő fontos megállapításokat tette:

- Egy forgó alapon elhelyezett fényforrás egymással szemben haladó fény-sugarainak találkozásakor kialakuló interferenciakép-változás egyenesen arányos az alap szögsebességével;
- A gyűrűs interferométer alkalmas kis szögsebességek pontos érzékelésére.

GYŰRŰLÉZEREK SZERKEZETI KIALAKÍTÁSAI

A gyűrűlézér tulajdonképpen egy gyűrűs, aktív rezonátorral rendelkező kvantumműszer, amelyben a lézersugarak egymással szemben haladnak és fotodetektorra vannak vezetve, ahol a hullámok frekvencia különbségével egyértelműen azonosítható interferenciakép jelenik meg.

Kezdetben a kedvezőtlen tömeg- és méretviszonyok miatt a gyűrűlézereket nem használták forgó objektumok szögsebességének érzékelésére. Az első kísérleti gyűrűlézert 1962-ben építették. A berendezés négy He–Ne lézerből állt, melyeket egy képzeletbeli négyzet oldalain helyeztek el, a négyzet csúcsaira pedig tükröket építettek 45°-os szögben a lézerek optikai tengelyéhez képest. Ez az elrendezés biztosította, hogy az egyes lézerek sugarai a tükrörről visszaverődve a másik lézerre kerüljenek.

A gázlézerek ebben az elrendezésben a gáztöltésű csövek mindkét végén lézersugarakat bocsátottak ki, ezért a rendszerben két, egymással szemben haladó fénysugár alakult ki. A lézersugarak energiájának egy részét félig áteresztő tükrök segítségével fényernyőre továbbították.[7]

A gyűrűlézerek fő típusait a 4. ábrán láthatjuk, ahol az alkalmazott jelölések jelentései a következők:

- a. – differenciál kapcsolású gyűrűlézér
 - 1 – tükrök (prizma)
 - 2 – lézer

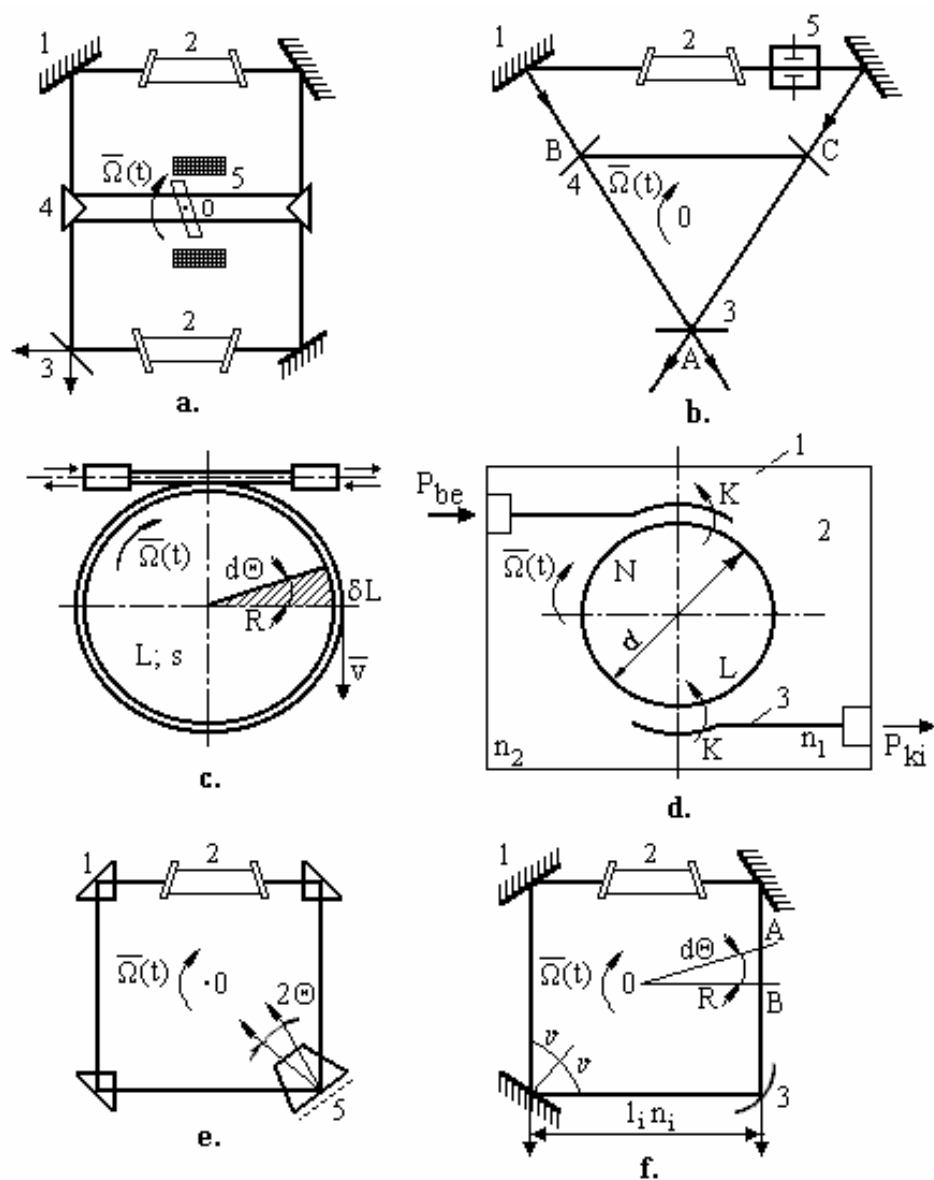
- 3 – félig áteresztő tükör
- 4 – kapcsoló elem
- 5 – tekercs
- b. – háromszög elrendezésű gyűrűlézer
- c. – passzív, üvegszál-optikai gyűrűlézer
- d. – passzív, integrál optikai gyűrűlézer
 - 1 – alap
 - 2 – lézer
 - 3 – irányított leágazó
 - n_2 – az alap törésmutatója
 - n_1 – a fényvezető törésmutatója
 - d – átmérő
 - K – a fényvezetési együttható
 - P_{be} , P_{ki} – a bemeneti és kimeneti optikai jelek teljesítménye
- e. – négyprizmás gyűrűlézer
- f. – négytükrös, aktív közegű gyűrűlézer
 - Θ – a hullámfront beesési szöge
 - $l_i n_i$ – optikai úthossz

Ha a gyűrűlézert valamilyen $\Omega(t)$ szögsebességgel megforgatjuk, akkor az egymással szemben haladó fénysugarak szögsebességeit a következő képletek alapján számíthatjuk:

$$\begin{aligned}\omega_0 &= 2\pi f_0 = \frac{2\pi c}{\lambda_0} \\ \omega_1 &= \omega_0 + \Omega(t) \\ \omega_2 &= \omega_0 - \Omega(t)\end{aligned}\tag{10}$$

ahol: $\omega_0 \gg \Omega(t)$

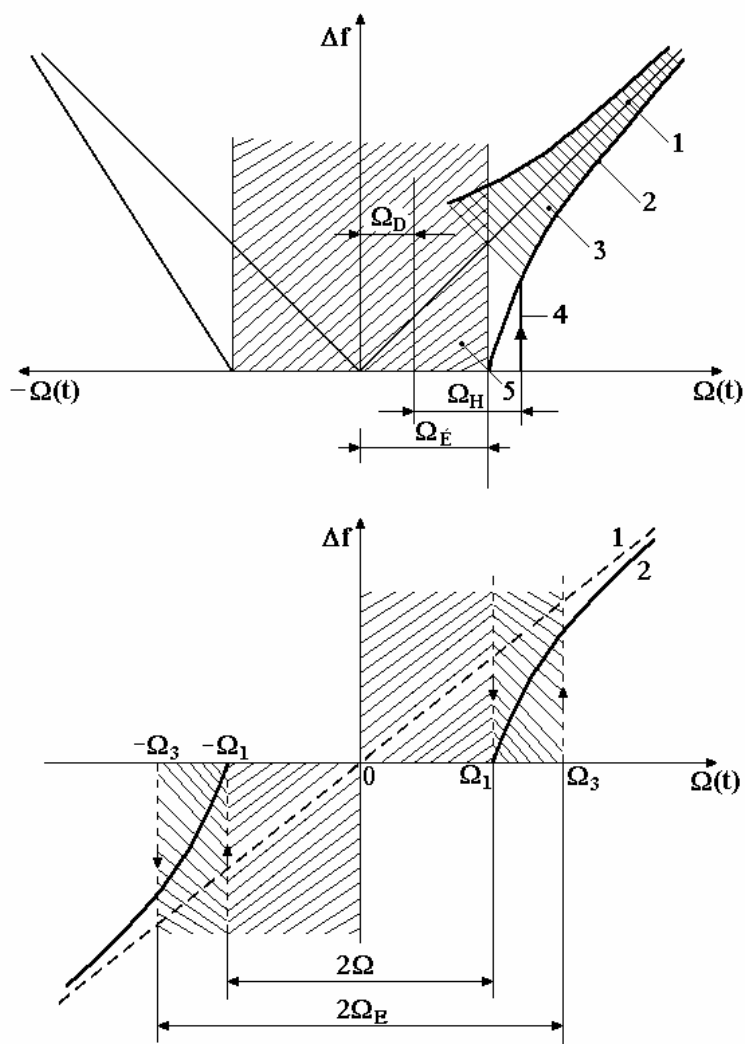
Az egymással szemben haladó lézersugarak energiájának egy részét detektorra továbbítva a regisztrálón interferencia képet (impulzus sorozatot) kapunk, amely információt hordoz a lézersugarak különbségi frekvenciájáról, tehát az $\Omega(t)$ szögsebesség — fénysugarak terjedési síkjára merőleges $\Omega(t) \cos\beta$ összetevőjének — nagyságáról.



4. ábra

A gyűrűlézerek fő típusai

A továbbiakban röviden vizsgáljuk meg a gyűrűlézer átviteli karakterisztikáját. Az 5. ábrán az ideális kimeneti jelleggörbét a $\Delta f = (4S/\lambda_0)\Omega(t)$ összefüggés határozza meg.



5.ábra
A gyűrűlézer átviteli karakterisztikája

- 1 – ideális kimeneti jelleggörbe
- 2 – számított jelleggörbe
- 3 – a valóságos kimeneti jelleggörbe a vonalkázott területen
- 4 – hiszterézis görbe
- 5 – érzéketlenségi sáv

Amint az látható az 5.ábrán, a gyűrűlézer lényeges érzéketlenségi sávval $\Omega_E(t)$ rendelkezik, ezen kívül az $\Omega(t)$ szögsebesség kezdeti driftjét $\Omega_D(t)$ is megfigyelhetjük.

A kimeneti görbe nemlinearitását a léptéktényező h_0 változása alapján lehet megítélni. Az $\Omega(t)$ szögsebesség változása során a léptéktényezőt az alábbi definíciós képlettel lehet számítani:

$$h_0 = \frac{\Delta A}{A} ; A = \frac{4S}{\lambda_0 L} \quad (11)$$

Néhány tipikus gyűrűlézer adata:

0,05 rad/sec. $< \Omega(t) < 5000$ rad/sec. esetén: $h_0 < 0,0001$

Modern gyűrűlézerek érzéketlenségi sávja:

$L = 100\text{cm}$; $\lambda_0 = 0,63\mu\text{m}$ esetén: $2\Omega_E(t) \cong 0,0015\text{rad / sec.}$

Az átviteli karakterisztikán hiszterézis görbe látható, melyet az idéz elő, hogy a törésmutatók különbsége, valamint a szemben haladó lézersugarak szórási tényezője függ a gyűrűlézer plazmájának állapotától. A hiszterézis abban nyilvánul meg, hogy az érzéketlenségi sávból való kilépés nagyobb mérendő szögsebességnek $\Omega(t)$ szeresén jön létre, mint a belépés:

$$\Omega_H(t) > \Omega_E(t) \quad (12)$$

A gyűrűlézer igen széles határok között képes érzékelni a szögsebességet. A szögsebesség érzékelése az $\Omega_{\text{MIN}} \leq \Omega \leq \Omega_{\text{MAX}}$ tartományban történik, ahol: $\Omega_{\text{MIN}} = \Omega_E$ — érzékenységi küszöb.[5,6,7]

Mivel ezeknek a lézereknek a kimenetén a szemben haladó lézersugarak terjedési ideje, fázisa, intenzitása és frekvenciája mind függnek a mérendő szögsebességtől $\Omega(t)$, ezért a gyűrűlézereket osztályozhatjuk a kimeneti elektromágneses mező paramétere és a vizsgált paraméter érzékelő szerve szerint. Mindezek értelmében tehát négy nagy csoportba sorolhatjuk a gyűrűlézereket: idő-, fázis-, amplitúdó- és gyűrűlézerekre. A legnagyobb gyakorlati jelentőséggel a frekvencia és fázis szögsebesség érzékelők rendelkeznek.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett munkát mindenképpen hasznosnak tartom, mivel megvizsgáltam egy rövid történeti áttekintésen keresztül a lézergiroszkópok elméleti alapjait, külön kihangsúlyozva Young, Michelson, Sagnac kísérleteit és eredményeiket. Valamint vázoltam a gyűrűlézerek főbb szerkezeti kialakítását. A további vizsgálódásokhoz jó alapot nyújt ez a cikk, amelyet ezen Közlemények következő számában kívánok megtenni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BAJBOROGYIN J. V.: Osznovi lazernoj tehniki. Visa Skola, Kijev, 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] PELPOR D. Sz, OSZOKIN Ju. A., RAHTYEENKO E. R.: Girozkopicseszkije pribori szisztem orientacii i sztabilizacii. Masinosztroenyije, Moszkva, 1977.
- [7] SZABOLCSI Róbert: Navigációs rendszerek. Szolnoki Repülőtiszt Főiskola, Főiskolai jegyzet, Szolnok, 1994.

One of the more promising applications of the laser is as a gyroscope (Heer, 1961; Rosenthal, 1962; Macek és Davis, 1963; McCartney, 1966; Killpatrick, 1967). The aim of my work is to show application of the laser gyro through series of articles. The first article is to show the principle of operation of the laser gyros (Young, Michelson, Sagnac).

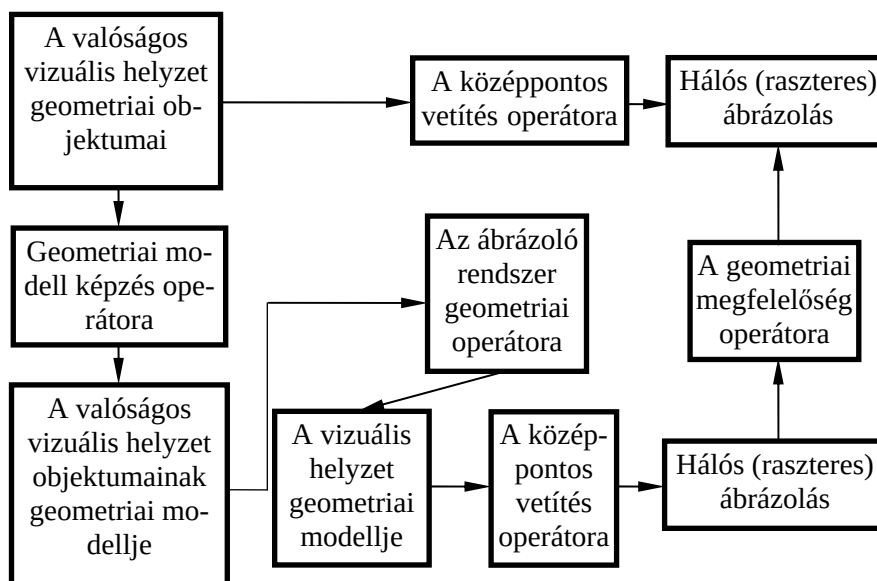
A REPÜLŐGÉP SZIMULÁTOROK ÉS TRENÁZS BERENDEZÉSEK MATEMATIKAI MODELLEZÉSÉNEK JELLEMZŐI

Békési László mk. ezredes Dr. Szabó László mk. alezredes
Egyetemi adjunktus egyetemi adjunktus
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Repülő sárkány-hajtómű tanszék

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Vezetés- és Szervezéstudományi Kar Repülő sárkány-hajtómű tanszékén másfél évtizede kutatjuk a személyi számítógép felhasználását, ezen belül kb. 2 éve a multimédia és a virtuális valóság alkalmazásának lehetőségét a kiképzés folyamatában. Az utóbbi időben a repülőgépek tervezése és üzemeltetése, a repülőszemélyzet oktatása és más a repüléssel összefüggő sokrétű feladatok megoldásakor széles körben alkalmazzák a modellezést. Ennek során különböző modellező berendezést készítenek, amelyek segítségével földi viszonyok között — megfelelő pontossággal — előállítható a repülés teljes folyamata és a repülőszerkezet irányítása. Ehhez a csoporthoz tartoznak a repülőgépek szimulátorai és trenázs berendezései, valamint ezeken belül a szimulációt megvalósító repülőszerkezet vizuális helyzetimitátorai. Középtávú terveink között szerepel a repülőtiszt képzést elősegítő kevésbé bonyolult szimulátor, illetve trenázs berendezés önerőből történő elkészítése és a kiképzés során minél szélesebb körben való alkalmazása. Ezen berendezések tervezéséhez nyújt segítséget cikksorozatunk 3. része.

A VIZUÁLIS HELYZET MODELLEZÉSÉNEK MATEMATIKAI SAJÁTOSSÁGAI

A matematikai modellezésnél a hasonlóság feltételeit az ún. izomorf egyenletekkel írhatjuk le. Ezek az egyenletek a valóságos és a modellezett vizuális helyzetet írják le. Ezért a matematikai modellezés egyik fő feladata a folyamatok matematikai leírása mind a valóságos, mind pedig a modellezett rendszerben. Az 1. ábrán a vizuális helyzet modellezésének geometriai jellemzőinek általánosított vázlatát látható.



1. ábra

A felső ág a valóságos vizuális helyzetészlelés, az alsó ág pedig a modellezett vizuális helyzet geometriai átalakításának felel meg. Ezen átalakítási vázlatból kiindulva a matematikai modellezés következő főbb szakaszai mutathatók be:

- a vizuális helyzet geometriai jellemzőinek matematikai leírása;
- a perspektivikus átalakítás matematikai leírása;
- a valós és a modellezett helyzet perspektivikus ábrázolás feltételeinek meghatározása;
- a vizuális helyzetimitátor paramétereinek és felépítésének meghatározása;
- a vizuális helyzet matematikai modellezésének technikai megvalósítása.

A VIZUÁLIS HELYZET OBJEKTUMAINAK MATEMATIKAI LEÍRÁSA

A vizuális helyzet objektumai matematikai leírásának különféle módszerei lehetnek. Ugyanakkor egy összetett valós rendszer (repülőtér tárgyai, objektumai, terep, környezet stb.) megfelelően helyes és körültekintő matematikai leírása nehézségekbe ütközik. Gyakorlatilag a vizuális helyzet objektumainak matematikai

A REPÜLŐGÉP SZIMULÁTOR ÉS TRENÁZS BERENDEZÉS VIZUÁLIS HELYZET MODELLEZÉS ELMÉLETÉNEK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI

leírásakor bizonyos egyszerűsítéseket (idealizálásokat) hajtunk végre a következők szerint:

- az adott térben az objektum elemeinek teljes matematikai leírása helyett csak a tárgyak nem átlátszó palástfelületeit írjuk le;
- a vizuális helyzet objektumait (tárgyait) rangsoroljuk, azaz a kevésbé lényeges és másodrendű objektumokat figyelmen kívül hagyjuk;
- a vizuális helyzet objektumait leíró folytonos függvényeket diszkrét függvényekkel helyettesítjük;
- a folyamatokat szabályozható, illetve kvázi szabályozható függvényekkel írjuk le;
- a vizuális helyzet objektumainak matematikai leírását az objektumok részekre bontása után a részek matematikai leírásával helyettesítjük.

A vizuális helyzet matematikai modellezésénél a leggyakrabban az *analitikus*, az *elemenkénti* és a *szerkezeti leírást* alkalmazzuk.

Az *analitikus* módszer esetében a matematikai leírás a funkcionális összefüggések halmazát alkotja, amelyet jellemez az energia (W) térbeni (x, y, z) eloszlása, az idő (t) és korlátozó feltételek rendszere. A függvények bonyolultságát alapvetően a vizuális helyzet objektumainak szerkezete határozza meg. Ezt a módszert akkor érdemes alkalmazni, ha a vizuális helyzet objektumai egyszerű szerkezetűek, vagy ha a vizuális helyzet objektumainak szerkezete lényegében szabályozható jellegűt képviselnek. A terep például, mint összetett szerkezetű rendszer analitikai modellezése meglehetősen nehéz.

Az *elemenkénti* matematikai leírásnál a térbeli folytonos koordinátákat diszkrét lépésekkel helyettesítjük Δx , Δy , és Δz , az általános teret pedig felosztjuk véges számú elemi objektumokra, amelyek határain az energiát (W) állandónak tekintjük. Így a vizuális helyzet objektumainak matematikai leírása az elemi objektumok koordinátáinak és a hozzájuk tartozó energiák felsorolásával tehető meg, azaz:

$$(x_i, y_j, z_k) \rightarrow (W_{ijk}) \quad (1)$$

ahol: $i = 1, 2, 3 \dots n_x$; $j = 1, 2, 3 \dots n_y$; $k = 1, 2, 3 \dots n_z$; — az elemi objektumok száma a koordináta tengelyek mentén.

A diszkrét Δx , Δy és Δz lépések a szükséges felbontóképességgel határozható meg. Az egyes tengelyek mentén a diszkrét mennyiséggé való átalakítás foka:

$$n_x = \frac{L_x}{\Delta x}; \quad n_y = \frac{L_y}{\Delta x}; \quad n_z = \frac{L_z}{\Delta x}; \quad (2)$$

ahol: L_x, L_y, L_z a modellezendő tér kiterjedése az OX_0, OY_0 és OZ_0 tengelyek mentén.

Az elemenkénti matematikai modellezés egyik előnye a sokoldalúsága (univerzális), mivel közvetlenül nincs kapcsolatban a vizuális helyzet objektumainak szerkezetével és azok tartalmával. Hátránya az, hogy hatalmas mennyiségű elemi objektumot kell vizsgálni. Például a repülőgép le- és felszállásakor (a számítások szerint) az elemi objektumok száma 10^9 – 10^{12} között mozog.

Így az elemenkénti matematikai modellezést ott célszerű alkalmazni, ahol a vizuális helyzet objektumai pontszerű szerkezetűek, és ezek száma is behatárolható. A vizuális helyzet ilyen modellezésének tipikus esete az éjszakai repülőtér.

A szerkezeti leírás esetén a vizuális helyzet objektumait elemi szerkezeti részekre bontjuk: egyenes szakaszok, sokszögek, sokoldalú testek és más geometriai alakok, amelyek viszonylag egyszerűen leírhatók matematikailag. A matematikai leírás ebben az esetben az elemi szerkezeti rész típusának leírásából, az azt meghatározó pontok koordinátáinak meghatározásából és ezen szerkezeti elemek energetikai jellemzőinek leírásából tevődik össze. Például egy egyenes szakasz összes pontja helyett elegendő megadni az egyenes két pontjának, a végpontok koordinátáit, háromszög esetében pedig a csúcspontok koordinátáit stb. Ennek köszönhetően a vizuális helyzet bonyolult szerkezete jelentősen csökkentett számú objektummal írható le.

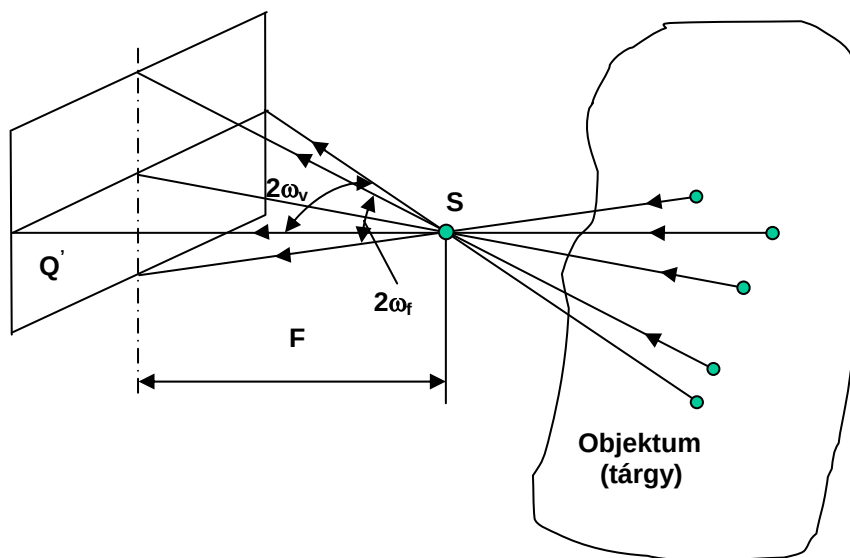
A KÖZÉPPONTOS TÜKRÖZÉSEL TÖRTÉNŐ ÁTALAKÍTÁS MATEMATIKAI LEÍRÁSA

A középpontos tükrözést a 2. ábrán látjuk.

Az átalakítást a következő paraméterek határozzák meg:

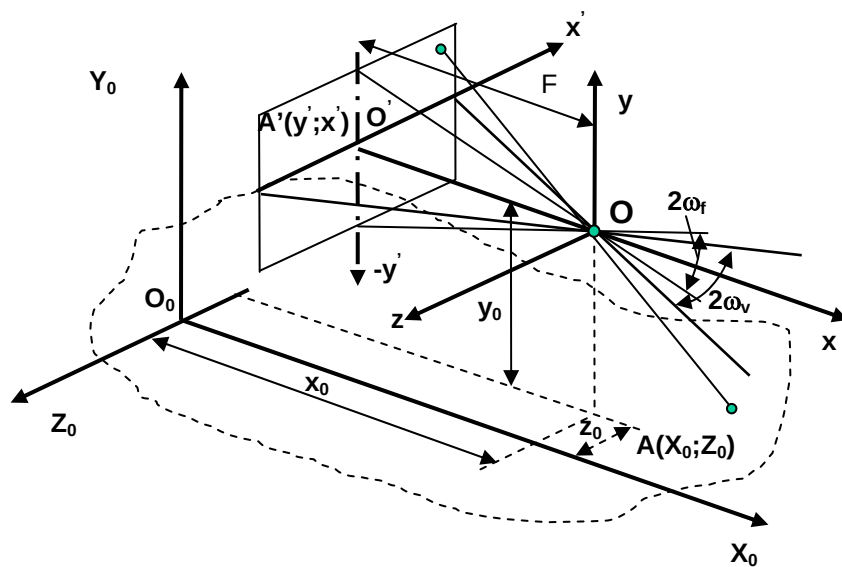
- az adott vetület távolsága a tükrözés középpontjától (F);
- a tükrözés függőleges és vízszintes tükrözés $2\omega_f$ és $2\omega_v$ szögei;
- a tükrözés középpontjának a térben elfoglalt helyzete.

Tételezzük fel, hogy a kiválasztott hely egy sík a földhöz rögzített (lásd a 3. ábrát) $OX_0Y_0Z_0$ koordináta-rendszerben, a tükrözés középpontja pedig a repülőgéphez kötött OX, Y, Z , koordináta-rendszer origójában foglal helyet. A földhöz rögzített koordináta-rendszerben a tükrözés középpontjának koordinátáit jelöljük $x_0, y_0 (H_0), z_0$ -val, és ugyanezen pont szöghelyzetét a repülőgép irányszöge (ψ), bólintási szöge (ϑ) és dőlésszöge (γ) adja meg.



2. ábra

A keletkező kép síkjába helyezzük el az o', x', y' koordináta-rendszert. A középpontos tükrözés operátora g a hely adott $A(X_0, Y_0)$ pontját a keletkező képi síkra képezi le és a $A'(x', y')$ pontban fog helyet foglalni.



3. ábra

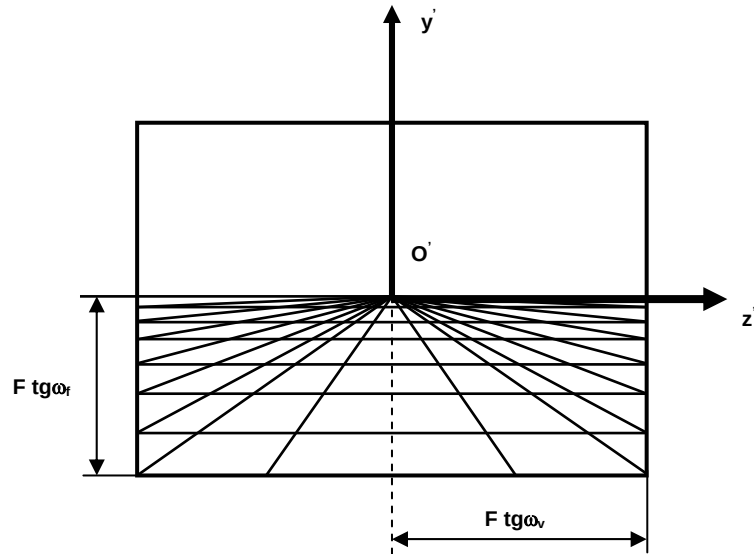
Így a középpontos tükrözés inhomogén koordinátákkal a következő alakban írható fel:

$$g = \begin{cases} x' = \frac{b_{10} + b_{11}x + b_{13}z}{b_{00} + b_{01}x + b_{03}z} \\ y' = \frac{b_{20} + b_{21}x + b_{23}z}{b_{00} + b_{01}x + b_{03}z} \end{cases}$$

ahol: b_{ij} ($i = 0, 1, 2; j = 0, 1, 3$) – az átalakítás tényezői, melyek meghatározott kapcsolatban vannak a középpontos tükrözés F , x_0 , H , z_0 , ψ , ϑ , γ jellemzőivel.

A repülőgép térbeli helyzetének változásakor az átalakítás tényezőit a 1. táblázatban foglaltuk össze. Feltételes kiinduló helyzetnek vettük a repülőgép mozdulatlan vízszintes helyzetét.

A modellezés objektumainak (tárgyainak) struktúrájától függ a képsíkban a perspektivikus átalakítás, valamint az átalakítás operátorának (g) jellege. Amennyiben a terepet (helyet) az O_0X_0 tengely mentén ΔX , az O_0Z_0 tengely mentén pedig ΔZ léptékű derékszögű rácsként fogjuk fel és feltételezzük, hogy $g=g_0$ (lásd a 2. táblázatot), akkor a perspektivikus ábrázolás a 4. ábrán látható módon alakul.



4. ábra

Az adott hely keresztirányú egyeneseit a vízszintes vonalak, a hosszirányúakat pedig a változó δ -szög alatt az O' középpontból kiinduló ferde vonalak ábrázolják.

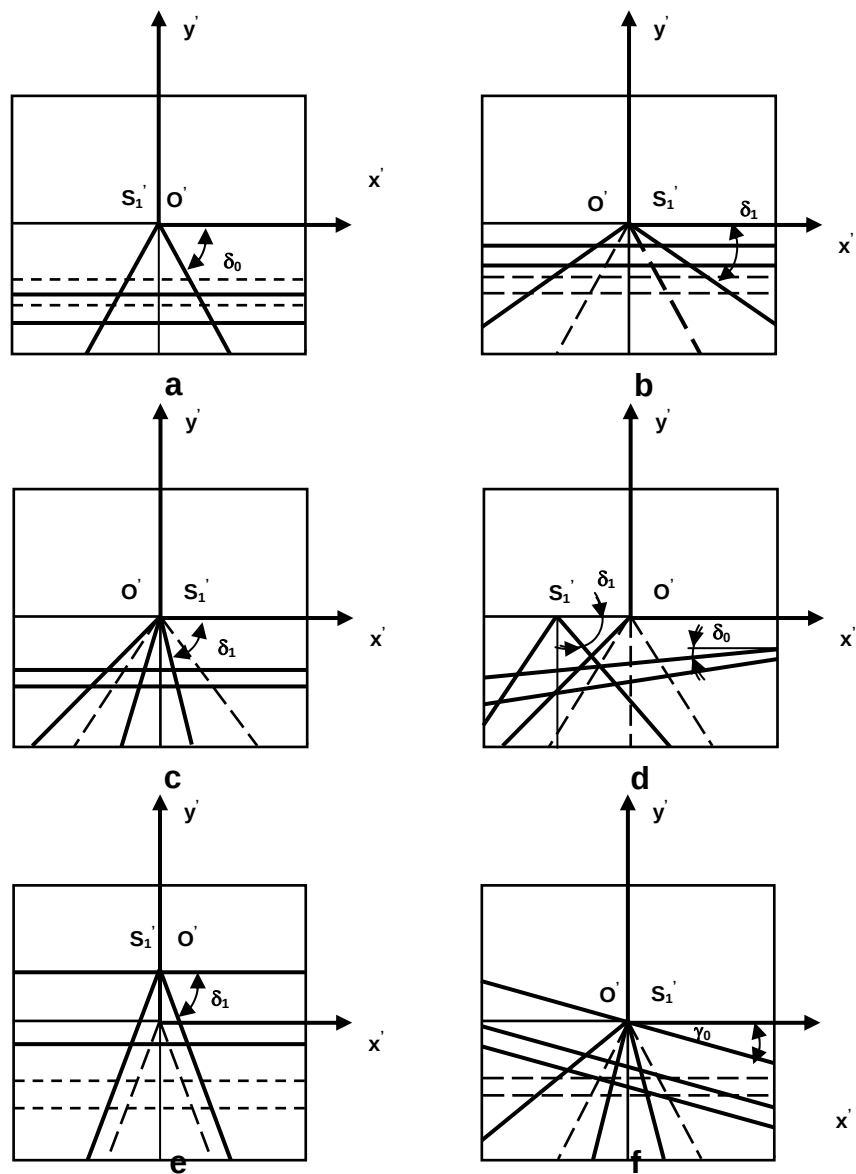
**A REPÜLŐGÉP SZIMULÁTOR ÉS TRENÁZS BERELENDEZÉS VIZUÁLIS
HELYZET MODELLEZÉS ELMÉLETÉNEK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI**

1. táblázat

A repülőgép térbeli helyze- té-nek változá- sa	operátor	Az átalakítás tényezői								
		b_{00}	b_{01}	b_{03}	b_{10}	b_{11}	b_{13}	b_{20}	b_{21}	b_{23}
Kiinduló helyzet	g_0	0	1	0	0	0	F	$H_0 F$	0	0
Vízszintes repülés	g_{0x}	$-x_0$	1	0	0	0	F	$H_0 F$	0	0
Magasság változása	g_{0y}	0	1	0	0	0	F	HF	0	0
Bedőlés	g_{0z}	0	1	0	$-z_0 F$	0	F	$H_0 F$	0	0
Írányszög változás	$g_{0\psi}$	0	$\cos \psi$	$\sin \psi$	0	$-F \sin \psi$	$-F \sin \psi$	$H_0 F$	0	0
Bólintási szög változás	g_{0v}	$-H_0 \sin v$	$\cos v$	0	0	0	F	$H_0 F \cos v$	$F \sin v$	0
Dőlésszög változás	$g_{0\gamma}$	0	1	0	$H_0 F \sin \gamma$	0	$F \cos \gamma$	$H_0 F \cos \gamma$	0	$-F \sin \gamma$
Csúszással történő repü- lés	g_{0xz}	$-x_0$	1	0	$-z_0 F$	0	F	$H_0 F$	0	0
Emelkedő repülés	g_{0xyv}	$-(x_0 \cos v + H_0 \sin v)$	$\cos v$	0	0	0	F	$(H_0 \cos v - x_0 \sin v) F$	$F \sin v$	0

A repülőgép térbeli helyzete koordinátáinak változásakor a hossz- és keresztirányú egyenesek egyenleteit (a g operátor változásakor) a 2. táblázatban foglaltuk össze. Ugyanebben a táblázatban látható az egyes összeadott pontok koordinátái $s_1(x_{s1}, y_{s1})$ és $s_2(x_{s2}, y_{s2})$, valamint a hosszirányú és keresztirányú egyenesek δ_1 és δ_2 szögei.

A g_{ox} , g_{oy} , g_{oz} , $g_{o\psi}$, $g_{o\vartheta}$ és $g_{o\gamma}$ operátorok hatásakor, a képsíkban a kereszt- és hosszirányú egyenesek jellegét a 5. ábrán láthatjuk [szaggatott vonallal ábrázoltuk a kiinduló helyzetet (g_0)].



5.ábra

**A REPÜLŐGÉP SZIMULÁTOR ÉS TRENÁZS BERENDEZÉS VIZUÁLIS
HELYZET MODELLEZÉS ELMÉLETÉNEK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI**

Operátor	Egyenesek egyenletei		Az összeadott pontok koordinátái				Az egyenesek hajlás-szöge	
	Hossz- irányú	Kereszt- irányú	Hossz- irányú		Kereszt- irányú		Hossz- irányú δ_1	Kereszt- irányú δ_2
			$\hat{x}_{s1}$	$\hat{y}_{s1}$	$\hat{x}_{s2}$	$\hat{y}_{s2}$		
g_0	$y' = \frac{H_0}{z} x'$	$y' = \frac{H_0 F}{x}$	0	0	∞	0	$\arctg \frac{H_0}{z} = \delta_0$	0
g_{0x}	$y' = \frac{H_0}{z} x'$	$y' = \frac{H_0 F}{x - x_0}$	0	0	∞	0	δ_0	0
g_{0y}	$y' = \frac{H}{z} x'$	$y' = \frac{HF}{x}$	0	0	∞	0	$\arctg(\frac{H_0}{H} \tg \delta_0)$	0
g_{0z}	$y' = \frac{H_0}{z - z_0} x'$	$y' = \frac{H_0 F}{x}$	0	0	∞	0	$\arctg\left(\frac{\tg \delta_0}{\frac{z}{z_0} - 1}\right)$	0
$g_{0\psi}$	$y' = \frac{H_0}{x'} (x' \cos \psi + F \sin \psi)$	$y' = \frac{H_0}{x'} (F \cos \psi - x' \sin \psi)$	$F \tg \psi$	0	$F \ctg \psi$	0	$\arctg(\tg \delta_0 \cos \psi)$	$\arctg(\tg \delta_0 \sin \psi)$
g_{00}	$y' = \frac{H_0}{z \cos v} x' + F \tg v$	$y' = -F \frac{H_0 \cos v + x \sin v}{H_0 \sin v + x \cos v}$	0	$F \tg v$	∞	$F \ctg v$	$\arctg\left(\frac{\tg \delta_0}{\cos v}\right)$	0
$g_{0\gamma}$	$y' = \frac{H_0 \cos \gamma - z \sin \gamma}{H \sin \gamma + z \cos \gamma} x'$	$y' = \frac{H_0 F}{x \cos \gamma} - x' \tg \gamma$	0	0	∞	∞	$\delta_0 - \gamma$	$-\gamma$

ÖSSZEFOGLALÁS

A ZMNE Repülőgép sárkány-hajtómű tanszék középtávú tervei között szerepel a repülőtisztképzést segítő szimulátor, illetve trenázs berendezés önértékelő elkészítése. Ezen berendezés terveihez kívántunk hozzájárulni cikksorozatunk 3. részével, amelyben bemutattuk a vizuális helyzet modellezésének matematikai sajátosságait, összefüggését és képletgyűjteményét.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BABENKO: Imitátori vizualnoj obsztanovki trenazserov letatelnih apparatov. Moskva, Masinosztroenie, 1978.
- [2] BÉKÉSI LÁSZLÓ: A működő modellek szerepe a repülőgép- és helikopter sárkány-hajtómű szakon tanuló hallgatók képzésében. Katonai Főiskolai közlemények (tudományos módszertani folyóirat), 1986/X/1, pp.74–82
- [3] HABER, RALPH NORMAN: „Flight Simulation”. Scientific American, July 1986.

- [4] F. HAMIT: „Virtual Reality and the Exploration of Cyberspace”. SAMS Publishing, Indiana, 1993.
- [5] KING, DOUGLAS: „The Future of VR”. Funworld, July, 1991.
- [6] PORKER: Video ground-based flight simulation apparatus. USA Pat., Cl. 35-12, no. 4,016,658, Apr. 12. 1977.
- [7] POKORÁDI LÁSZLÓ: Mi a matematikai modell? Haditechnika, Budapest, 1993/4. p.2-5.
- [8] SZABÓ LÁSZLÓ: Személyi számítógép alkalmazásának tapasztalatai a szakalapozó tantárgyak tanításában. BME, Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1991.

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 and the multimedia in the flying and mechanical engineering training. The authors are writing about mathematical modeling of the simulator and the equipment of the simulator of the fighters and the helicopters.

A GPS ÉS A MOZGATHATÓ TÉRKÉP

**Géczi József mérnök százados
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék**

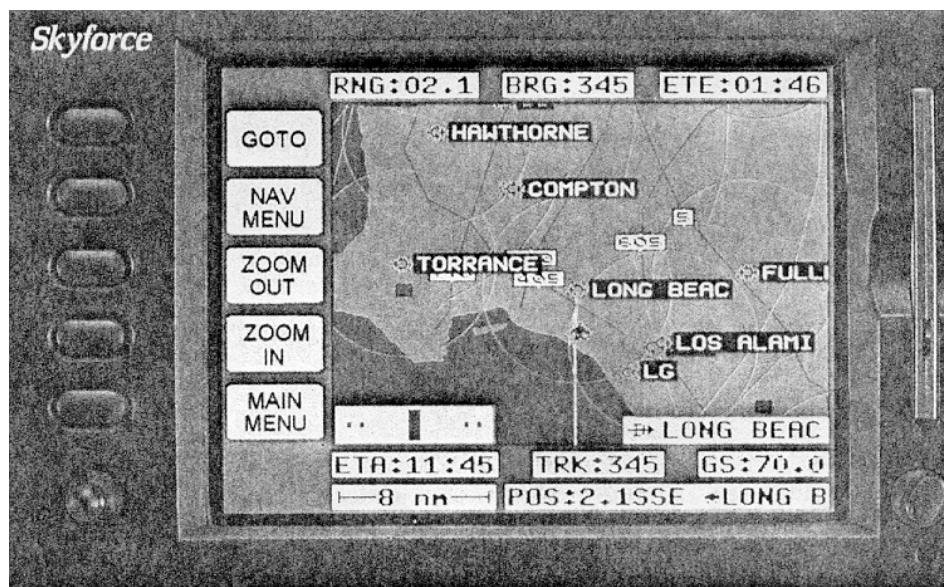
Volt idő, nem is olyan régen, amikor a helikoptervezetők földközeli repüléskor nem a pilótafülkében navigálták magukat. Utak, vasutak, folyók segítették őket a helyes útirány meghatározásában. Ilyenkor az IFR rendszert használták (I Follow Roads). Követem az utakat. Persze azért ez a vicces kis szójáték több igazságot tartalmaz, mint humort. A mai pilótáknak Rand McNally jóvoltából kevesebb dolguk van a navigálással. Egy olyan nagyszerű elektronikus készüléket szeretnék itt bemutatni, amely számtalan lehetőséget biztosít a helikopterek navigálásához. Ha a helikoptervezetők a GPS segítségével megadják a pozíciójukat, akkor ez a kis berendezés megmutatja a koordinátákat a kijelzőjén.

BEVEZETÉS

A Global Positioning System (GPS) rendszernek köszönhetően, és persze más repülőelektronikai eszközöknek, valamint a mikroprocesszoroknak, új eszközök segítik a repülőgép-vezetőket a biztonságos navigálásban. A GPS-nek a helikoptervezetők örülhetnek a legjobban, akik gyakran repülnek a radarok látószöge alatt és így kell navigálniuk. A GPS könnyen kezelhető, pontos és univerzális berendezés.

Az International Civil Aviation Organization (ICAO) szorgalmasan dolgozik a műholdas navigációs rendszer kiépítésével, melynek a befejezését 2000-re tervezték. Ez az újfajta, mozgatható térképrendszer is a GPS-nek köszönhető. A fejlett digitális technika tette lehetővé, hogy létrehozzák ezt a kiváló berendezést, de az alapjától, a GPS-től azonban formájában és funkciójában is eltér. Kiválóan navigál A pontból B-be; megmutatja merre nem lehet menni úgy, hogy ne légy "nemkívánatos vendég" a légtérben.

Sokfajta mozgatható térképrendszer nemcsak a repülési térképeket tudja értelmezni, hanem a legkülönböfélé térképeket is, mint például a geodéziai terepfelvételeket vagy számos utcatérképet is. A sokrétű felhasználhatóság érdekében akár filmfelvételekkel is kiegészíthetők.



A helikopteripar számára a GPS és a mozgatható térképek megjelenése nem jelentős, de a profil, illetve a profit kiterjesztéséhez alkalmas. A mozgatható térképek jól beilleszthetők a helikopteres mentésekbe, tűzoltásba, bűnüldözésbe és más különleges alkalmazásokhoz is felhasználható.

SOKFÉLE GPS

A GPS vevők széles köre a kézívevőktől egészen a multifunkcionális kijelzővel (MFD) működő berendezésekig terjed. Ezek mind a VFR és az IFR által engedélyezett és jóváhagyott berendezések melyek teljesítik a legszigorúbb szabvány előírásait is, úgymint a TSO C129a Class A1. Két GPS gyártmányt a Northstar Technologies biztosít. Egy VFR berendezést, a GPS-60-at és egy IFR készüléket az M3 GPS-t. Mindkettő kapcsolódik az előző Northstar Lorans egységekhez. Ezek a 12 csatornás berendezések útvonalakat, útvonalpontokat, automatikus útvonalkövetést, útvonal pontsorozatokat, távolságokat, földi sebességet, lég-

áramlatokat, útirány hibát, útvonal időt, érkezési időt valamint speciális jelzéseket szolgáltat a felhasználója számára. Mindkét berendezést egy 160x300mm-es és 2kg-os kompakt házban helyezték el. Lekerekített LED „display”-el, CDI, robotpilóta valamint mozgótérkép „interface”-szel rendelkeznek.

Egy másik fő jellemzőjük a FliteCard adatbázis, mely több mint 40 000 előre beprogramozott útvonalpontot tartalmaz. Ezen kívül persze felhasználhatóak a nemzetközi és helikopter adatbázisok, melyek tartalmazzák a magán- és közcélú leszállóhelyeket. Az M3-as széria lehetőséget ad az automatikus megközelítésre is.

A GPS ÉS A MOZGÓTÉRKÉP EGYÜTTES ALKALMAZÁSA

Minthogy már említettük a GPS „interface”-e különböző típusú mozgótérképek csatlakoztatását teszi lehetővé.

KÉZIVEVŐ

Ebből a pilóták által használt készülékből a Garmin öt típust, a Lowrance Avionics kettőt, és egyet-egyet a Magellán, a II Morrow és a Digifly készít. Ezen típusoknál nincs sok hely az információ kijelzésére, így azokat röviden jelentetik meg. A Garmin GPSMAP 195 típusú készüléknek van a legnagyobb kijelzője, egy 50x100mm-es. A méretekhez képest viszont meglepően nagy kapacitással rendelkeznek. Ez az utóbbi például 12 csatornás GPS vevővel, grafikus HSI megjelenítővel rendelkezik. Ezen kívül 250 útvonalpontot, 20 programozható repülési tervet, mindegyikben 30 ponttal, üzemanyag és úttervezést, valamint súlyszámítást végez. Egy ilyen berendezés ára 400–1500\$-ig terjed.

SZÁMÍTÓGÉPES RENDSZEREK

Ezek az úgynevezett „kneeboard” típusú berendezések a hozzájuk kapcsolt számítógép segítségével működnek. Ilyen típusú berendezéseket a CoPilot, a Magellan Systems, a Technon, a Digify és a Dornier gyárt. A CoPilot-nak volt egy régebbi típusú mozgótérképe is, még 1990-ből. Ez egy belső GPS-t használt, és a megjelenítés egy üveglap alá helyezett papírlapra történt. Az információt egy szállkereszt kurzor segítségével rögzítették. A legtöbb kifinomult rendszer azonban digitális térképeket használ. Az első általános repülési térképek 1994-ben a

Magellánnál jelentek meg az EC-10X berendezésével együtt. Ebben 10 repülési útvonalat lehetett programozni 100 útvonalponttal. Meghatározta a GPS helyzetet, magasság/idő funkcióval volt ellátva. Ennek a berendezésnek például egyik felhasználója a Brazil Hadsereg, amelyik több mint 20 EC-10X-et szerelt fel az AS-565-ös Eurocoptereire.

A Technon Flight Pad berendezése már belső számítógéppel rendelkezik, melynek alap operációs rendszere a Windows 95. Lehetőség nyílik a terep 3D-s megjelenítésére, repülési tervet ad, és fax/modem egységgel kiegészítve időjárás grafikát készít. A Dörner cég DKG-3 típusú berendezése teljesen színes kijelzővel készült, a DKG-4 pedig keretre szerelhető egység. Mindkettő csatlakoztatható a helikopterek fedélzeti GPS „interface”-hez. Repülési tervet készít, navigál és felhasználja a GeoGrid digitális térképeit. Legnagyobb felhasználója a Német Hadsereg és a rendőrség. A Digifly DU7 és DU8 típusú berendezése monochrom LCD kijelzővel készült és egybefoglalja az adatrögzítő, a GPS, valamint a mozgótérkép rendszereket. A képernyőn megjeleníthetők a hajtómű adatai, a repülési adatok, és persze a térkép. Ezek a berendezések komplett házba építhető egységek.

TÉRKÉP SZOFTVEREK

Ezt a speciális programcsomagot számítógépes szakemberek és pilóták hozták létre. Ma már ezt használja a legtöbb nagy cég, mint például a VISTA, Navtech, Jeppesen MentorPlus és a Free Flight is. Persze különböző sajátosságokkal kiegészítik, például a Flight Map-ben egy csomagban találhatóak a repülési tervek és a mozgatható térképek. Az adatokat a fedélzeti GPS „interface”-hez csatlakoztatható CD-n keresztül olvassák be. A VISTA rendszere a GPS vagy Lorannal együttműködve jól felhasznál bármilyen tengerészeti, katonai, repülési, utca vagy akár besz kennelt térképet. Viszont közös jellemzőjük, hogy a térkép bármely pontjának földrajzi hosszúság/szélesség és tengerszintfeletti magasság adatát azonnal megjeleníti. Ezen kívül még az adott tereprészletben megjeleníthető a távolság és az útirány.

EGYBEÉPÍTETT GPS/TÉRKÉP

Nagyon sok GPS vevőt eleve mozgótérképpel szerelnek egy házba. Ezeknél elsősorban a GPS vevő a fő készülék és csak másodsorban térkép. Ezek a berendezések már a magasabb repülési szabványokat is kielégítik, mint például a TSO C129a ClassA1-et. A legtöbb ilyen térkép kijelzője kicsi, de a funkcióját tökéletesen ellátja. A GARMIN-

nak öt ilyen készüléke van. A GPS 150XL, GPS 155XL, GNC 250XL, GNC 300XL TSO és egy új berendezés a GNS 430. Ez utóbbiban már színes kijelző van és valamivel szélesebb is, mint a többi.

FEDÉLZETI BERENDEZÉSEK

Ezek az egységek is a GPS vevővel egybeépített térképrendszerek, de itt már a térkép az elsődleges. Ezek általában szélesebb kijelzővel rendelkeznek, amely részletesebb térképgrafikát eredményez. A képernyőjük lehet osztott vagy kép a képben megjelenítésű. Ilyen készüléket az Eventide, Skyforce, Becker, Flight Components AG, Skyquest Aviation, és az EuroAvionics készít. A legelső ilyen készüléket az Eventitude gyártott, amelyet a polgári repülésben használtak. Ez volt az Argus 5000. Ezt a típust az elnökük, Richard Factor egy rossz landolásának köszönhetjük, aki normális időjárási körülmények között rossz helyen szállt le. Ekkor elhatározta, hogy kell egy mozgatható térkép a repülőgép fedélzetére, de sehol nem talált ilyet, így megalkotta az Argus 5000-et. Ez a Loran C-vel működött együtt és monochrom monitorral rendelkezett. Mára már kifejlesztette az Argus 3000-et és az Argus 7000-et is, melyek szintén monochrom monitorral működnek. A legújabb 5000CE és 7000CE típusok színes kijelzőjű berendezések. A 3000-es és 5000-es készülék méretei egyformák, a 7000-es valamivel kisebb. Az 5000-es és a 7000-es kifejezetten helikopterek számára készült, mivel az „interface”-ük a fedélzeti HSI (Horizontal Situation Indicator) irány szerinti giroszkóp, és az irányszögjelző berendezésekhez közvetlenül csatlakoztatható, így azonnal kijelzi a fordulásoknál a földi irányt. Az Argus modellek szigorúan csak kijelző készülékek, nem rendelkeznek navigációs vevővel, jóllehet nagyon ügyes berendezések. Az RS-232 vagy RS-422 kimeneti illesztő egységével bármilyen navigációs rendszerhez illeszthető. Egy úgynevezett ARINC adapter segítségével pedig több navigációs berendezés is csatlakoztatható hozzá. Ezen kívül kapcsolatot tud tartani az automatikus rádióirány mérőrendszerrel is (ADF, Automatic Direction Finder). Tesztelés után azt nyilatkozták róla, hogy ez a berendezés olyan a helikopterek számára, mint a „képcső a rádióknak”. Ezek a berendezések az Eventide navigációs adatbázisát használják. A repülőgép-vezetők PC segítségével menürendszerből tudják vezérelni a programot. A következő főbb menükből lehet választani: MAP (indulás, irány, érkezés); AMEND (repülési terv adatai); SEL és INFO (repülési vagy navigációs információk kiválasztása); ADF; EMER; (a legközelebbi segélyhely); FLIGHT PLANS és WAYPOINTS (navigációs és repülési tervek). A színes készülékeken található egy forgatható gomb, melynek segítségével kiválasztható dolgok a következők: repülés rögzítés, légtér kijelölés, útvonalak és kereszteződések, repülési terv mint egy általános jellemző és egy alapfénységlet

állító helyzet. És ez még nem minden, mert az Argus megismétli a mágneses irányjelző műszer (RMI) értékét, ha csatlakoztatjuk a megfelelő adaptert.

EGYÉB MOZGÓTÉRKÉPEK

Érdemes itt kiemelni a SkyForce AMLCD térképét, mely az AlliedSignal érdeklődését is felkeltette. Ennek a berendezésének köszönhetően vette meg a céget, amely egy szélesebb skálájú családot eredményezett. Itt található a Skymap II vagy a Colour Skymap II. Ezek 9 GPS csatornával rendelkeznek. Az adatvétele időosztásos rendszerben történik, mégpedig 9 másodperc figyelés és 1,5 másodperc újrafraissítási ciklusokban. A rendszer a „keppesen” adatbázisra épül, amit kiegészítettek a SkyForce földrajzi és operációs programjával. A legnagyobb ebben a programban, hogy a teljes földrajzi adatokat lefed. A kijelző beépíthető és különálló változatban is létezik. A rendszer repülési terveket, vertikális navigációt, zoomolási lehetőséget, szél adatokat és segélyhely keresést biztosít. Összeköthető a robotpilóta rendszerrel és képes az időjárásjelző adatait fogadni. A SkyForce által mostanában kifejlesztett rendszerei további lehetőségeket nyújtanak a pilóták számára, és még továbbiak megvalósításra várnak, melyben komoly versenytársak vannak. Például a Skyquest Aviation vagy az EuroAvionics. Itt található többek között az Euronav III, melyhez video rendszerek integrálhatóak. A SkyForce hamarosan bemutatja hangfelismerő rendszerét, amelynél egy utcanév bemonddása után automatikusan feltérképezi az útirányt a megadott ponthoz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [JULY 1998 ROTOR & WING]
- [2] AlliedSignal General Aviation Avionics, 913-782-0400, 913-791-1302, Web alliedsignal.com, KLN 90B, EHI 40 & 50.
- [3] Digifly srl, (39) 5178 0658, (39) 5178 1328, Web web.tin.it/digifly, DU7 DU8 cockpit systems, VL100 handheld.
- [4] Dornier GmbH, (49) 7545 8 1923, (49) 7545 8 8711, Web dasa.com, DKG 3, DKG4
- [5] Eventide Avionics, 201-641-1200, 201-641-1640, Web eventide.com, Argus series.
- [6] Free Flight, 626-791-0400, 626-351-7428, Web free-flt.com, Free Flight.
- [7] Garmin International, 913-357-8200, 913-357-8282, Web garmin.com, GPSMap 195, GNS 430.
- [8] Jeppesen Mentor, 503-678-1431, 503-678-1480, Web mentorplus.com, FliteMap.
- [9] Magellan Systems Corp., 909-394-5000, 909-394-7050, Web magellangps.com, Skystar, EX-10C.
- [10] NorthStar Technologies, 978-897-6600, 978-897-7241, Web northstarcmc.com, M3 GPS, GPS-60, SmartComm.

- [11] Skyforce Avionics Ltd., (44) 1243 783 763, (44) 1243 783 992, Web skyforce-.co.uk, Skymap, Tracker, Observer.

There was a time, not so long ago, when the helicopter pilot's best navaid was not in the cockpit, but on the ground-300 feet below him. Roads, railroads, rivers kept him true to his course. Today, helicopter pilots have less cause to navigate courtesy of Rand McNally. While pilots are using GPS to find their geographic positions, avionics manufacturers are doing some positioning of their own-in the market. The trend now for helicopters is to offer a myriad of features and interfaces in the smallest possible package.

A REPÜLŐSZERKEZETEK MŰSZAKI KARBANTARTÁSA

**Békési Bertold mérnök százados
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék**

Kulcsszavak: Karbantartási stratégiák, Korszerű üzemben tartási stratégiák, Az MSG-3 bevezetésének lehetősége.

BEVEZETÉS

A repülőeszközöket a világon mindenhol speciálisan erre a célra létrehozott szervezet, illetve személyi állomány üzemelteti a földön, esetenként részfeladatokat ellátva a levegőben is. A Magyar Honvédségen belül ez a szervezet a Repülő Mérnök–Műszaki Szolgálat (továbbiakban MMSZ), mely elnevezésében, felépítésében sok közös vonást hordoz más országok hasonló szervezeteivel (Aircraft Engineering, Inwenernaq Aviacionnaq Xluwba).

Az MMSZ rendeltetése mindazon szervezeti, technikai feltételek megteremtése, amelyekkel a repülőeszközök műszaki kiszolgálása és javítása — az előírt sorrendben és mélységben végrehajtott munkavégzéssel — biztosítja azok üzemképességét és hatékony felhasználhatóságát.

Az üzemben tartó tevékenység ellenőrző javítások, karbantartások rendszere, melynek formái:

- A repülőtechnika kiszolgálása a műszaki állapot magas szinten tartása érdekében;
- A repülések műszaki kiszolgálása;
- A repülőtechnika valamilyen profilaktikus rendszerben történő javítása.

A fenti tevékenységek a feladatok jellegének megfelelő szervezeteket és munkamódszereket igényelnek. Az üzemben tartás különböző szervezeteknél, járműveknél, gépeknél egységesen folyik, a struktúrák és a módszerek azonban a helyi

sajátosságoknak és részfeladatoknak megfelelően különbözőek, melyek fejlődés eredményeként alakultak ki és jelenleg is folyamatos változásban vannak.

A KORSZERŰ ÜZEMELTETÉSBEN HASZNÁLTOS KARBANTARTÁSI STRATÉGIÁK

A repülőeszközök több évtizedes fejlődése szükségszerűen együtt járt a tervezési, gyártási és üzemeltetési folyamat korszerűsödésével. Ezt mind a repülés biztonsága, mind a gazdaságossági szempontok egyaránt megkövetelték. Napjaink harci helikopterének, vadászrepülőgépének vételára meghaladja a 10, illetve 20 millió USD-t, aminek 30–40%-át az avionika költségei teszik ki.

Ugyanakkor az üzemeltetési költségek 20 évre akár ennek a 200–300%-át is elérhetik. Az utóbbit csökkentendő, olyan tudományosan alátámasztott karbantartási stratégiák, valamint erre épülő eljárások kimunkálása vált szükségessé, amelyek segítségével az élettartam közvetlen üzemköltségei 150% alatt maradnak.

A minimális összköltségek fenntartása mellett a műszaki karbantartás célja:

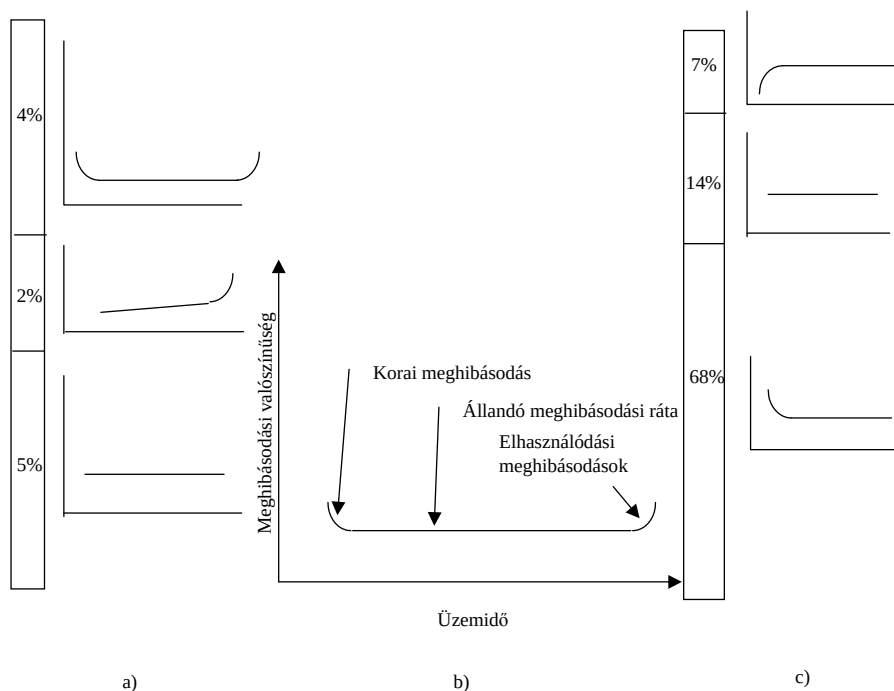
- az adott elemben, rendszerben konstrukciósan meglévő biztonsági szint fenntartása, vagy romlás esetén annak visszaállítása;
- nem kielégítő működés esetén a szükséges információ összegyűjtése és továbbítása a gyártónak áttervezés céljából.

Tulajdonképpen valamennyi karbantartási stratégia célja az, hogy a lehető legnagyobb számú meghibásodás megelőzésével (időbeni elhárításával) minél kedvezőbbek legyenek a megbízhatósági²⁶ mutatók

A karbantartási célok megvalósítására jelenleg négy karbantartási stratégia ismeretes, melyek kronológiailag is egymásra épülve, folyamatos fejlődés eredményeként alakultak ki. Ezek a

- üzemeltetés a meghibásodás bekövetkezéséig;
- kötött üzemidő (hard time) szerinti;
- megbízhatóság központú (condition monitoring);
- műszaki állapot (on condition) szerinti, melynek az ellenőrzéséhez szükséges műszaki jellemzők folyamatosan vagy szakaszosan (időszakosan) mérhetők;

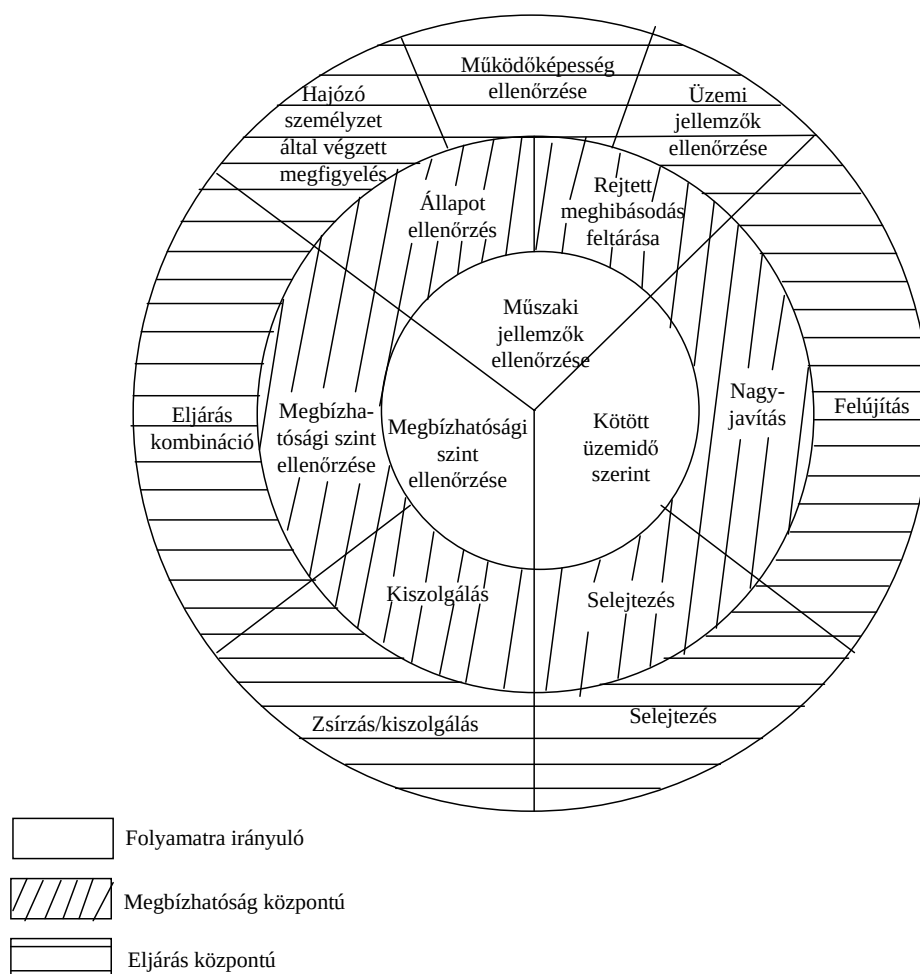
²⁶ Megbízhatóság az a tulajdonság, hogy a repülőszerkezet (rendszer, berendezés, elem) képes végrehajtani meghatározott feladatait, megőrizni technikai jellemzőit mind a földön, mind a levegőben előre meghatározott naptári és repült időhatárok között. Ezt az üzemeltetés teljes tartamára az üzemben tartási és javítási rendszer biztosítja.



1. ábra

A kötött üzemidő szerinti stratégiát akkor alkalmazzák, ha a vizsgált állapot egzakt meghatározásához hiányoznak a szükséges adatok. Elméleti alapját az a feltételezés adta, hogy a folyamatos igénybevételnek kitett szerkezeti elemek, berendezések meghibásodásai egy korai, egy állandó meghibásodási rátájú és egy emelkedő tendenciájú elhasználódási–meghibásodási szakaszból tevődnek össze (1.b ábra), így „csak” a két utóbbi szakasz határát kellene meghatározni üzemidő-korlátként. Ez nem lehetséges, mivel egyrészt a mérhető műszaki jellemzők hiányoznak, másrészt a különböző alkatrészek, berendezések részletesebb meghibásodási vizsgálata szerint azok hat különböző jelleggörbéjével jellemezhetők (1.a,c. ábrák). Ezek közül csak 4% mutat teljes és további 2+5=7% részleges hasonlóságot (1.a ábra), míg összesen 89%-nál (1.c ábra) nem megfelelő az üzemidő-korlát. Gyakorlatilag valamennyi jelenlegi katonai repülőeszközünk kötött üzemidő szerint üzemel!

A karbantartási folyamatra irányuló stratégia három karbantartási eljárásra épül (2. ábra középső kör), kötött üzemidő szerintire, műszaki jellemzők és megbízhatósági szint ellenőrzésére.



2. ábra

A műszaki jellemzők ellenőrzéséhez szükséges kiinduló információk a funkcionális és diagnosztikai jellemzők segítségével kaphatók meg, melyeket meghatározott gyakorisággal repülés közben és karbantartások alkalmával mérnek. Az eljárás alapja a berendezés műszaki állapotáról megbízható információt nyújtó műszaki diagnosztizálás, mely megfelelő eszközök és módszerek alkalmazása esetén hosszabb időszakra tesz lehetővé előrejelzést.

A megbízhatósági szint ellenőrzésével végzett műszaki karbantartás lényege, hogy a berendezések javításközi üzemidő nélküli üzemeltetése és a meghibásodások felismerésével, valamint elhárításával kapcsolatban szükséges munkák végre-

hajtása mindaddig folytatódik, amíg a megbízhatósági szint tényleges értéke az elfogadott tűréstartományon belül van. Alkalmazása akkor célszerű, ha

- olyan berendezésről van szó, amelynek meghibásodása nem befolyásolja a repülés biztonságát;
- a berendezés magas szinten technologizált;
- a megbízhatósági szint ellenőrzésének költségei nem haladják meg a tervszerű megelőző műszaki karbantartását;
- a fedélzeti ellenőrző vagy külső eszközök jelzik az üzemképtelenségét.

A megbízhatósági szint szerinti karbantartás végrehajtására csak akkor van lehetőség, ha az üzemben tartónak megfelelő számítógépe és olyan személyi feltételei biztosítottak, melyekkel a megbízhatóság operatíván elemezhető, illetve a szükséges döntések (ciklusidő–meghatározás, átminősítés más eljárásra stb.) meghozható.

A megbízhatósági központú stratégia valójában nem tekinthető karbantartási eljárásnak, mivel az ellenőrzésre kijelölt egységeken nem végeznek tervszerű megelőző karbantartást, hanem utólag, a meghibásodás bekövetkezése után vizsgálják meg azokat. E stratégia figyelme négy eljárásra irányul (2. ábra középső körgyűrű): állapot ellenőrzésre, a rejtett meghibásodás feltárására, nagyjavítására és selejtezésre.

Az állapotellenőrzés optimális eljárás, mert a valós karbantartási igényt jelzi. A rejtett meghibásodások feltárásához speciális módszerekre van szükség, melyek azokat észlelhetővé teszik. Nagyjavításnak és selejtezésnek a kötött üzemidős berendezéseket kell alávetni.

Az eljárás-központú stratégia az előzőekben felsorolt stratégiák tapasztalatai alapján lett létrehozva, kiküszöbölve azokból a döntési logika merevségét, a gazdaságossági és a biztonsági szempontok világos el nem határolását, a rejtett funkcionális meghibásodások nem megfelelő kezelését. Ebből adódóan, a többi stratégiához képest nem is jelent alapvető eltérést, hanem ráépülve azokra (2. ábra, külső gyűrű), a döntési logika gondolatmenetét, az eljárás kiválasztását racionalizálja.

Az eljárás kiválasztó jellegétől függően vagy biztonsági, vagy gazdasági kategóriára irányul, úgy, hogy azon belül a legkönnyebben végrehajtható eljárást vizsgálják először. Amennyiben ez nem alkalmazható, vagy hatékonysága nem kielégítő, akkor a sorrendben utána következő eljárások vizsgálata következik, szükség szerint a szerkezet módosításáig.

A logikai rendszer figyelembe veszi és értékeli az elhasználódást, a kifáradást, a korróziót, a véletlen sérülést, az életkort.

A döntési folyamat a következőket tartalmazza: többszörös meghibásodások, a meghibásodásnak a környező szerkezetre kifejtett hatása, a repedésnek az észlelhe-

tő mérettől a kritikus méretig való növekedése, a potenciális meghibásodás kűszöbértékének felderítése stb.

Az eljárásközpontú karbantartási stratégia-tevékenység elemeit (2. ábra külső körgyűrű) meghatározott időközönként kell végrehajtani, azok inkább műveletre irányulnak, eljárásai megfelelnek a megbízhatóság-központú stratégia négy alapvető eljárásának. A különbség köztük abban van, hogy az előbbi felosztja az állapotellenőrzést további részekre, valamint hogy kombinált eljárás is alkalmazható.

NYUGATI REPÜLŐESZKÖZÖKNÉL ALKALMAZOTT KORSZERŰ MŰSZAKI KARBANTARTÁSI ELJÁRÁSOK (MSG-3, MSG-4)

A nyugati és orosz eredetű légi járműveken az 50-es évek kezdetétől jól megfigyelhető a helyenként eltérő tervezői koncepció, illetve a technikai fejlettségben mutatkozó különbség. A különbözőség azonban még markánsabban jelentkezik az alkalmazott üzemeltetési stratégiák, illetve eljárások területén a nyugat javára. Ennek minden bizonnyal egyik meghatározó oka, hogy náluk — mindenekelőtt a polgári légi forgalomban — létkérdésként jelentkezett a gazdaságosság/hatékonyság optimális viszonyának kialakítása.

Az üzemeltetés elméleti és gyakorlati kutatásainak központjává nyugaton az USA vált. Az elért eredményeket szabványosították és fokozatosan adaptálták, először a polgári, majd a katonai repülésben, amit ezzel párhuzamosan átvett a nyugati világ valamennyi ismert repülőgépgyártó és üzemeltető vállalata is.

Ennek a négy évtized alatt lejátszódó minőségi fejlődésnek a következő főbb állomásai voltak:

- a 40-es évek végén, az 50-es évek elején a DC-8-as, illetve a V-377-es repülőgépek egyes berendezéseit és rendszereit fokozatosan, üzemidő korlát nélkül csak műszaki állapot szerint kezdték üzemeltetni.;
- 1958-ban jóváhagyták a műszaki biztosítás és javítás egységes programját, mely lehetővé tette a légi társaságok számára a gázturbinás hajtóművek javításközi üzemidejének növelését, meghatározott műszaki és biztonsági követelményeknek való megfelelés alapján;
- az 1962–64 között kiadott rendeletekkel szabályozták az állapot szerinti, illetve a fenti programnak megfelelő üzemeltetés bevezetését a légi társaságoknál;
- 1968-ban a Boeing és a FAA közösen kidolgozták az MSG-1 műszaki biztosítási és javítási rendszert a B-747 óriás gép számára. Ebben lettek

először elméletileg is megalapozottan meghatározva és párhuzamba állítva az üzemidő, műszaki jellemzők és megbízhatósági szint szerinti üzemeltetési stratégiák;

- 1970-ben az MSG–1 általánosítása, illetve továbbfejlesztése eredményeként kiadták az MSG–2-t, mely már valamennyi korszerű repülőgéptípus üzemeltetéséhez és javításához alkalmas eljárasközpontú alapidokumentum volt;
- 1980-ban az MSG–2-t továbbfejlesztve megjelent az MSG–3 megbízhatóság-központú eljárás, amelyben a karbantartási előírások kidolgozása ennek megfelelő logikai folyamat alapján megy végbe;
- a 80-as évek közepétől a Boeing megkezdte a korábbi tapasztalatok felhasználásával az MSG–4 eljárás kimunkálását, melynek fő szempontjai a logikai rendszer további racionalizálása, a hajószemélyzet ellenőrző szerepének kiiktatása és a karbantartási munkavégzési előírások rugalmasabbá tétele.

Az MSG–2 eljárást az 1.generációs, az MSG–3-at a 2–3.generációs repülőgép karbantartásánál alkalmazzák. A repülőeszköz karbantartási előírásaihoz az MSG–3 nem tartalmaz számszerű előírásokat, azokat mindig a konkrét, üzemeltetőre kidolgozó munkacsoport határozza meg, melynek tagjai a gyártó vállalat(ok), az üzemeltető és légügyi hatóság képviselőiből kerülnek ki.

A kidolgozást az üzemeltető, a repülőgép és a hajtóműgyártó által létrehozott Irányító Bizottság (Steering Commitee) koordinálja, melynek fő feladatai:

- a karbantartási elvek meghatározása;
- a kidolgozói munkacsoportok tevékenységének és a felmerülő egyéb munkatevékenységek irányítása;
- kapcsolattartás a gyártóval és üzemeltetőkkel;
- végleges karbantartási előírás, javaslat elkészítése.

A bizottságnak jogában áll szervezési lépéseket tenni a karbantartási előírás-javaslat egyes területeihez szükséges, részletes műszaki információk megszerzése érdekében. A bizottság által jóváhagyott elemzéseket, javaslatokat egy végső jelentésben foglalják össze és felterjesztik a légügyi hatósághoz.

A karbantartási előírásokban foglaltak két csoportba sorolhatók:

- előre meghatározott időközönként végrehajtandó tervszerű eljárások a megbízhatósági szint csökkentésének megakadályozására;
- nem tervszerű eljárások a berendezések előírásos állapotba hozására.

A karbantartási előírások kidolgozása olyan meghatározott logikai folyamat alapján megy végbe, mely elsősorban a meghibásodások hatását vizsgálja. A vizsgálatba be nem vont berendezéseket az üzemeltető a saját megbízhatósági rendszerének megfelelően vizsgálja.

Az MSG–3 szerint a konkrét típusra történő karbantartási eljárás kidolgozásánál elsőként — a repülésbiztonsági szempontoknak megfelelően — valamenyny szerkezeti elemet és berendezést lényeges, illetve nem lényeges kategóriába sorolnak. Anyagi okokból és az időmegtakarítás érdekében az elemzést csak a szerkezeti, valamint karbantartás szempontjából jelentős egységre végzik el. Az első csoportba a sárkányszerkezet kifáradásnak, korrózióknak és véletlenszerű sérülésnek kitett, többnyire egytagú egységei, a másodikba azok a rendszerint összetett rendszerek tartoznak, amelyek a gépről leszerelhetők és meghibásodásuk hatása:

- meghatározó a repülés biztonságára (földön és levegőben);
- nem érzékelhető üzemelés közben;
- jelentősen befolyásolja az üzemeltetési költségeket;
- az üzemeltetést nem befolyásolja, de kedvezőtlenek a gazdasági vagy honvédelmi következményei.

A karbantartási eljárás meghatározásához használatos, fokozatosan terebélyesedő logikai diagram úgy van elkészítve, hogy felülről lefelé haladva „igen” vagy „nem” válaszok határozzák meg az elemzés útját.

Az elemzés a célszerűen megválasztott és megbízhatóan mérhető műszaki adatok szerinti tényleges meghibásodások és hiba okok szerinti elemzési technikán alapul, amelyben:

- kijelölik a karbantartás szempontjából jelentős egységeket;
- meghatározzák minden egység:
 - rendeltetését (normál és jellemző működését);
 - tényleges meghibásodását (működésképtelenné válásának feltételeit);
 - meghibásodásának okait.
- Megállapítják a karbantartási előírás szükséges eljárásait és azok végrehajtási gyakoriságát, úgy meghatározva a gazdaságossági, illetve biztonsági hatású előírásokat, hogy teljes karbantartási előírás legyen összeállítható.

Az MSG–3 rendszer nagyszámú tapasztalatainak felhasználásával a Boeing-cég megkezdte egy még korszerűbb karbantartási rendszer, az MSG–4 kidolgozását, amelyet az ezredforduló után rendszerbe állítandó polgári és katonai repülőeszközökön kívánnak alkalmazni.

Ebben a rendszerben az ismétlődő analóg kérdések helyett minden kérdést csak egyszer tesznek fel. Az első szint kérdése azon szerkezeti elemek vagy rendszerek kiválasztására irányul, amelyekre karbantartást, javítást kell tervezni. Amennyiben az adott szerkezeti elem vagy berendezés meghibásodása nem csökkenti a repülés biztonságát, hatékonyságát, illetve nem késlelteti a feladat megoldását, akkor a karbantartás, javítás szempontjából nem lényeges kategóriába kell sorolni és ilyen tevékenységet nem is kell tervezni rajta.

Az egyetlen különbség a tényleges, nyilvánvaló és rejtett meghibásodások alkalmával végzett munkák között az, hogy csak az utóbbiak feltárása van tervezve.

KÜLÖNBÖZŐ ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIÁK EGYIDEJŰ ALKALMAZÁSÁNAK ÉS AZ MSG-3 BEVEZETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI AZ MH REPÜLŐCSAPATAINÁL

Az elkövetkező években, évtizedekben a nyugati és az orosz beszerzésű repülőeszközök közös légi üzemeltetése során felvetődő problémák megoldásán kívül a földi üzemben tartással kapcsolatos néhány fontos kérdés is megválaszolást igényel. Ilyenek:

- Lehetséges-e egyáltalán különböző beszerzési forrásból származó, más-más műszaki, karbantartási eljárást feltételező repülőeszközök együttes üzemben tartása?
- Szükség van-e az eltérő karbantartási eljárások teljes vagy részleges konvergenciájára, amennyiben igen, melyik (elemei) élvezzen(ek) prioritást?

Az első kérdésre mindenképpen igenlő válasz adható, hiszen a különböző generációkhoz tartozó nyugati és keleti beszerzésű repülőeszközök együttes légi-földi üzemeltetése jelenleg is mindennapos gyakorlat (pl. hazánkban a MALÉV-nál, a BM Légi Rendészeténél és a mezőgazdasági repülésben). Ezenkívül több ország légi erejénél évtizedeken keresztül zavartalanul tartottak és tartanak egyidejűleg rendszerben orosz, francia, amerikai repülőgépeket (Egyiptom, Finnország, India, Kuba, Románia, Salvador, Vietnám stb.), de napjainkban is tapasztalható ilyen törekvés.

A második kérdésre adandó válasz részletesebb elemzést igényel, amihez mindenekelőtt figyelembe kell venni a közös üzemeltetés várható időtartamát.

A vadászrepülő erőkhöz hasonlóan más repülő fegyvernemünkénél is közös üzemeltetési időszak valószínűsíthető a meglévő és a későbbiekben beszerzésre kerülő repülőeszközökkel. Ezeknél — amennyiben egyáltalán szükségessé válik — a karbantartási stratégiák eltérése diktálta minimálisan szükséges mértékben izolálni kell az infrastrukturális, valamint a logisztikai hátteret, és a polgári légi forgalom tapasztalatainak megfelelően az üzemben tartás külön műszaki századokkal, de akár egyazon javítóbázissal is megvalósítható az átmeneti időszakban. Amennyiben további orosz repülőeszközök vásárlására kerülne sor, úgy biztos, hogy azok is karbantartási folyamatra irányuló stratégiával üzemeltethetők (más

kérdés az, hogy a konkrét nyugati és keleti repülőgép típusoknál e stratégia megvalósítása eltérő objektív és szubjektív feltételrendszert igényel).

Első közelítésből a nyugati rendszer általánossá tétele kínálkozik kedvezőbbnek, mivel:

- A NATO-hoz történt integrációnknak ez elengedhetetlen feltétele;
- Jóval korszerűbb, dinamikusabban fejlesztett, mint az orosz repülőgépekénél alkalmazott;
- Kiépítése után gazdaságosabb üzemeltetést tesz lehetővé;
- A légi forgalmi irányítás után az üzemben tartásban is egységes normák vonatkoznának a polgári és katonai repülésre.

E megoldás egyik legnagyobb nehézsége az eszközigény különlegesen magas anyagi fedezetének biztosítása, ami az orosz rendszereknél lényegesen olcsóbban megoldható.

KÖVETKEZTETÉSEK

A 90-es évek végére elodázhatatlanná vált katonai repülőgépparkunk döntő hányadának a cseréje.

A származástól függetlenül bármilyen új repülőeszköz hatékony alkalmazása csak a katonai repülés üzemeltetési rendszerének teljes átalakításával, módosításával biztosítható. Ennek nyugati repülőeszközök esetében jóval magasabb a költség-vonzata, mint az orosz gépeknél. A rendszer és a repülőeszköz bonyolultsága miatt a kiválasztásra vonatkozó felelős döntés csak a számításba jöhető típusok szakmai munkacsoportok által, egységes szempontok szerint végrehajtott elemzéseinek összevetését követően hozható meg.

Általánosan megállapítható, hogy a nyugati típusok rendszerbe állítási, az orosz típusok rendszerben tartási (üzemeltetési) költségei a magasabbak.

Végezetül megállapítható, hogy önmagában jó repülőeszközt nem lehet kiválasztani, csak megbízható, korszerű üzemeltetési rendszert, melynek a repülőeszköz is része.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ÓVÁRI GYULA: Nyugati és szovjet gyártmányú légi járművek együttes üzemeltetésének, valamint repülő mérnök-műszaki biztosításának lehetőségei az MH repülőalakulatainál. Egyetemi doktori értekezés, 1994.
- [2] DR. ÓVÁRI GYULA: A Magyar Honvédség repülőeszközei típusváltásának és üzemeltetésének lehetőségei gazdaságossági-hatékonysági kritériumok, valamint NATO csatlakozásunk

- figyelembevételével. A légierő fejlesztése tanulmánygyűjtemény, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1997. pp. (9-117)
- [3] DR. ÓVÁRI GYULA: Korszerű harcászati repülőgépek műszaki üzemeltetésének sajátosságai és gazdasági-hatékonysági kérdései. A harcászati repülők fejlesztésének szükségessége és lehetősége. Konferencia előadás gyűjtemény, Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1998. pp. (33–70)
- [4] DR. PETÁK GYÖRGY: A repülőtechnika üzemben tartása és javítása. Főiskolai jegyzet. KGYRMF, Szolnok, 1981.
- [5] ROHÁCS JÓZSEF, DR. — SIMON ISTVÁN: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.

ÖRVÉNYÁRAMOS ANYAGVIZSGÁLAT A REPÜLŐGÉPEK ÜZEMELTETÉSÉBEN

**Kavas László mérnök őrnagy
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Repülő sárkány-hajtómű tanszék**

A cikk az örvényáramos anyagvizsgálat alapjain túl a repülőgépek üzemeltetése során figyelembe veendő specifikumokat mutatja be. Taglalja a szondaválasztás, frekvenciaválasztás problematikáját, valamint a mérést befolyásoló körülményeket.

BEVEZETÉS

Napjainkban a repülőgépek gyártására, üzemeltetésére különleges követelményeknek megfelelő, igen drága eljárásokkal előállított anyagokat alkalmaznak. A repülőgépekkel szemben támasztott műszaki követelmények között fontos helyet foglal el a biztonság és megbízhatóság, ezért szükséges az alkalmazott anyagok, alkatrészek minőségének és állapotának ismerete. Hosszú évek tapasztalatai azt mutatták, hogy a gyártmány minőségét jelentősen befolyásolja a felhasznált alapanyag minősége, szükségszerűvé vált bizonyos anyagvizsgálati módszerek kidolgozása.

Az anyagvizsgálat mindazon eljárások összefoglaló elnevezése, melyek segítségével a felhasznált anyagok előírt, vagy nemkívánatos tulajdonságai megállapíthatóak. A vizsgálati eredmények alapján az alkatrészek beépítés utáni viselkedésére lehet következtetni.

Az anyagvizsgáló eljárások két nagy csoportra oszthatóak:

- Roncsolásos eljárások;
- Roncsolásmentes eljárások.

Mivel a roncsolásos vizsgálatok a mintadarab tönkremenetelét okozzák, a repülőgépek üzemeltetése során előtérbe kerültek a roncsolásmentes eljárások. Ezen módszerekkel idő- és anyagköltség takarítható meg. Napjainkban az örvényáramos anyagvizsgálatok egyre inkább előtérbe kerülnek az egyéb

roncsolásmentes vizsgálatok között, mivel sokoldalúan, megbízhatóan alkalmazhatóak. A kisméretű akkumulátorokkal üzemelő műszerek fejlődésével az örvényáramos eljárások ideálissá váltak a repülőgép üzemben tartásában.

AZ ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLÓRENDSZEREK RÉSZEI, A VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK FELÉPÍTÉSE

AZ ÖRVÉNYÁRAMOK KELETKEZÉSE ÉS ÉRZÉKELÉSE

Ha egy transzformátor szekunder tekercsének helyére egy fémmintát helyezünk, akkor olyan transzformátort kapunk, melynek szekunder tekercse egyetlen menetű. A primer tekercsen átvezetett áram hatására a mintában áram indukálódik, melyet örvényáramnak nevezünk. Ez a szekunder áram tulajdonképpen rövidzárási áram, így az örvényáramok intenzitása fordítottan arányos az anyag vezetőképességével. A mintában folyó örvényáramok hatására egy másodlagos mágneses mező indukálódik, amely hatással van a primer tekercs körül létrejött mezőre. Az eredő mágneses mező lesz azon információk forrása, melyek feldolgozása adja a kívánt adatokat.

Az örvényáramos berendezések alapvető elemei:

- vizsgáló tekercsek;
- mérésvezérlő, feldolgozó elektronika.

Az alkalmazástól függő kiegészítő elemek lehetnek:

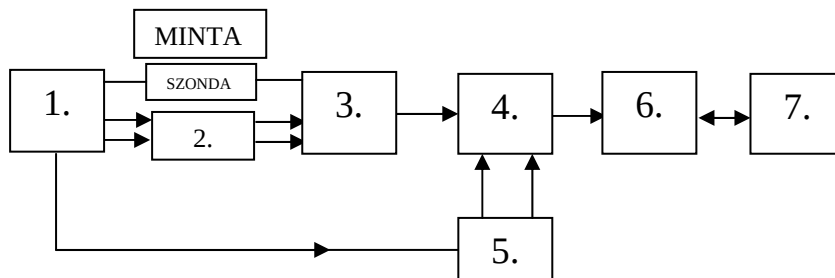
- a munkadarab mozgását végző mechanizmusok;
- elő és lemágnesező egység;
- visszaszabályozó, osztályozó egység.

Az örvényáramos vizsgálórendszerek ténylegesen alrendszerek összességéből épülnek fel, melyek együtt dolgoznak a kívánt információk megszerzése érdekében.

AZ ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK FELÉPÍTÉSE

Egy örvényáramos vizsgálókészülék tervezésénél fő szempont az érzékenység és a rugalmas alkalmazhatóság. A készülék legyen sokoldalúan alkalmaz-

ható, valamint csatlakoztatni lehessen többféle vizsgáló tekercset, szondát. A készülék alkalmazhatósága álljon arányban a készülék árával, adatfeldolgozó képességével, összetettségével.



1. ábra

Örvényáramos mérőelektronika blokkvázlata abszolút szondával

A berendezések elektronikájának feladata:

- örvényáramok gerjesztése;
- a vizsgált munkadarabra vonatkozó információk megszerzése;
- a mért jel feldolgozása és kijelzése.

Az örvényáramos vizsgálatok általában összehasonlító jellegűek, hiszen az adott munkadarab anyagminőségének megváltozását akarjuk kimutatni (helyi hibák, referencia anyagtól való eltérés). Amikor pedig egy adott paraméter nagyságára vagyunk kíváncsiak, etalonokat alkalmazunk a műszer kalibrálásához, tehát az etalonhoz viszonyítunk.

Az 1. ábra elemei:

1. Generátor:

- állandó árammal táplálja a szondát;
- fázisreferenciát szolgáltat a különbségképzéshez és a detektált feszültség fázisának meghatározásához.

2. Kompenzáló egység:

- a különbségképzéshez szolgáltat jelet.

3. Különbségképző és erősítő:

- a referenciajel és mért jel közötti különbséget hozza létre, valamint erősíti azt.

4. Fázis-érzékeny egyenirányító:

- a különbségi jel amplitúdójának és fázisának, vagy a referencia jellel fázisban lévő és ahhoz képest 90° -os fázisú komponens meghatározását végzi.

5. Fázistoló:

- a referenciajelnek a gerjesztő áramhoz képesti fázisa állítható be vele.

6. Szűrőkörök:

- zaj, illetve zavarelnyomást végeznek.

7. Kijelző készülék:

- a kijelzés történhet katódsugárcsővel, analóg, digitális úton, fény- és hangjelzéssel.

Többfunkciós eszközöket oszcilloszkóppal is ellátnak. A készülékek nagy részéhez csatlakoztatható az eredmények rögzítését, dokumentálását célzó berendezés. Az ábrán látható vizsgáló berendezés abszolút szondával készült. A differenciál szondás rendszer blokkvázlata csak a szonda elektromos kapcsolásában különbözik. Az örvényáramos berendezésekhez tartozhatnak még minta- vagy szondamozgató szerkezetek, osztályozó-jelző automatikák. Ezek a repülőgépek üzemeltetése során nem túl elterjedtek, mivel főleg kézi készülékeket alkalmaznak, és azokat is konkrét alkatrészek ellenőrzésére. Viszont nem hagyható el az elő- és lemágnesező egység említése, melyet ferromágneses anyagok vizsgálatánál alkalmaznak. A mágneses permeabilitás hosszmenti ingadozását úgy küszöbölik ki, hogy a mintát elektromágnes segítségével közel telített állapotba előmágnesezik. Természetesen a vizsgálat utáni felhasználáshoz lemágnesezés szükséges, amit csökkenő amplitúdójú átmágnesezéssel végeznek. A lemágnesezés másik lehetséges módja, hogy a munkadarabot csökkenő térerősségű mezőben mozgatják.

A MÉRŐSZONDÁK FELÉPÍTÉSE, A TEKERCSEK ELEKTROMOS KAPCSOLÁSA

A vizsgáló tekercs általában az úgynevezett szonda része vagy tartozéka. A tekercsek kialakítása különböző, a mérési eljárástól függő. A tekercsek feladata a váltakozó mágneses tér gerjesztése, az eredő mágneses tér érzékelése, valamint a térerő változások mérése. A mérőtekercsek jelfeszültséget vagy áramot szolgáltatnak az eredő mágneses tér változásainak függvényében. A gerjesztő tekercsek táplálása történhet:

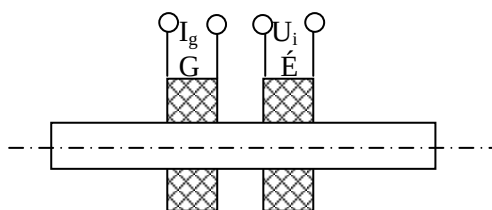
- szinuszos lefutású árammal;
- periodikus impulzussorozattal;
- egyes áramimpulzusokkal.

A vizsgálótekercsek fajtái:

- átmenő tekercsek;
- tapintó tekercsek;
- villás tekercsek.

ÁTMENŐ TEKERCSEK

A vizsgált munkadarabot körülölelik, és általában tengelyük egybeesik a vizsgált tárgy tengelyével.

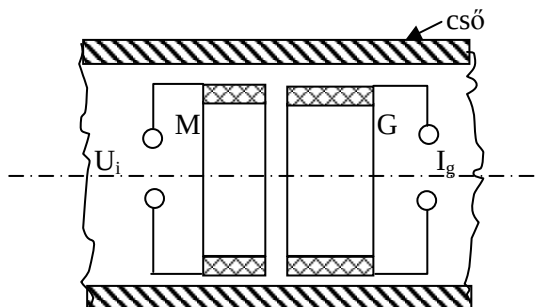


2. ábra

Átmenő tekercs elhelyezés

- U_i – indukált feszültség;
 I_g – gerjesztő áram;
 G – gerjesztő tekercs;
 $É$ – érzékelő tekercs.

Belső átmenőtekercset alkalmaznak bordás és nagy falvastagságú csöveknel, valamint külső felületén hozzáférhetetlen alkatrészek esetén.

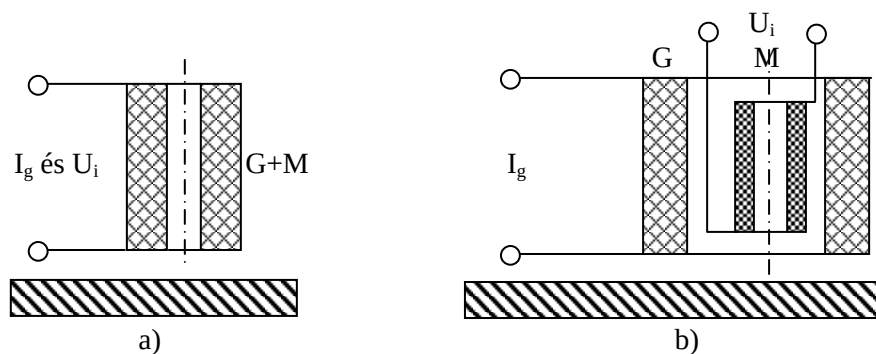


3. ábra

Belső átmenőtekercs elrendezése

TAPINTÓTEKERECSEK

Ha a vizsgálandó munkadarab mérete nem teszi lehetővé átmenőtekercs alkalmazását, úgy tapintótekercseket alkalmazunk. A tapintótekercsnek nem szükséges a munkadarabbal érintkeznie.



4. ábra

Tapintótekercsek lehelyezése

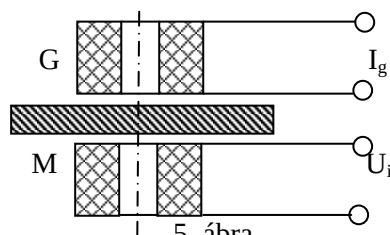
a) egytekercses eljárás, b) gerjesztő és mérőtekercs szétválasztása

Tapintótekercs alkalmazásával nagy felbontóképesség érhető el és bármilyen alakú munkadarab letapogatható vele, viszont az ellenőrzés munka- és időigénye megnövekszik. A tapintótekercsek különleges válfaja az úgynevezett szegmens- vagy nyeregtekercs, melyet nagy átmérőjű csövek hegesztési varratainak ellenőrzésére használnak.

VILLÁSTEKERECSEK

Fémfóliák, lemezek érintésmentes vizsgálatára vagy falvastagság mérésére alkalmazzák. A vizsgált tárgy a gerjesztő és mérőtekercs között halad el. Adott erősségű és frekvenciájú gerjesztés mellett a mérőtekercsben indukálódó feszültség nagysága és fázisa a közrefogott munkadarab vastagságától függ elsősorban. Ez a tekercselrendezés kevésbé érzékeny a minta rezgésére, pontatlan bevezetésére, mint a tapintótekercses eljárás.

A tekercsek kapcsolása és a munkadarabhoz viszonyított helyzetük alapján az örvényáramos anyagvizsgálatok lehetnek abszolút és differenciál mérések, és ennek megfelelően a szondák is abszolút vagy differenciál kivitelben készülnek.



5. ábra
Villástekercses elrendezés

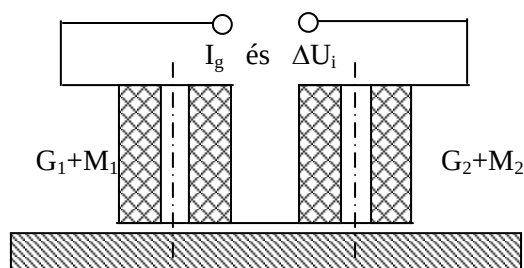
Az abszolút elnevezést használjuk, ha a szonda egyetlen tekercsből, vagy egy gerjesztő és mérő tekercsből áll. Ennél a mérésnél a szonda jelét a vizsgálat kezdetén kiegyenlítjük (nullázzuk), így a továbbiakban a mért jelnek a kiegyenlítő jeltől való eltérését regisztráljuk. A kiegyenlítő jel származhat egy referenciaszondától, vagy előállítható tisztán elektronikus úton is. Az előző eljárást külső kiegyenlítéses eljárásnak nevezzük, amikor is a vizsgálati tárgy és egy azzal azonos minőségű, hibátlan (etalon) alkatrész kerül összehasonlításra.

Az abszolút szondák nagyobb inhomogenitások kimutatására alkalmasak, valamint a jellemzők számszerű mérése, ezen kívül anyaghibák pontos szerkezetének vizsgálata végezhető velük.

Differenciál rendszer (6. ábra) esetén nincs jel, ha a vizsgált tárgy érzékelő tekercsek által befogott tartományai azonosak. Ez az azonosság vonatkozik a munkadarab méreteire, alakjára, anyagminőségére és tekercshez viszonyított helyzetére. Ezt a módszert szokás önkiegyenlítő eljárásnak is nevezni, mivel két szorosan egymás mellé helyezett tekercs vizsgálati tartományát hasonlítjuk össze.

Ha a vizsgálati tartományok azonosak, úgy a tekercsek között nem keletkezik feszültségkülönbség. Ha a vizsgált tartományok valamelyikében anyaghiba található, úgy az örvényáramok eloszlása megváltozik, így a két tekercs között feszültségkülönbség lép fel.

Ez az eljárás főleg kisméretű repedések, gyűrődések, porozitás vizsgálatára alkalmas. Olyan repedések kimutatására, melyek fokozatosan mélyülnek, nem alkalmazható, mivel a két tekercs által vizsgált területeken csak nagyon kis mértékben változik az anyagminőség, így a szondajel közel zérus, ami nehezen érzékelhető.



6. ábra
Differenciál kapcsolású szonda

SZONDAVÁLASZTÁS A REPÜLŐGÉPEK ÜZEMELTETÉSE SORÁN

A repülőgépiparban alkalmazott szondák egy vagy több tekercses kivitelben készülnek, az alkalmazástól függően. A tekercselés ferrit-magra vagy csészére történik, mely növeli az érzékenységet és a felbontóképességet.

NAGYFREKVENCIÁJÚ SZONDÁK

Árnyékoló bevonattal készült szondák ajánlottak csapok környezetének repedés-vizsgálatára, valamint ha a mérést a közeli acél-, vagy alumíniumszerkezetek és egyes alkatrészek szélei befolyásolhatják. Az árnyékolás szűkíti a szonda mágneses mezejét, így elkerülhető a szomszédos szerkezetek okozta mérési zavar. Árnyékolás nélküli ceruzaszondákat alkalmaznak a szárny felületének vagy mérsékeltlen görbült felületek vizsgálatára, ahol a szomszédos szerkezetek, görbületek, szegélyek várhatóan nem okoznak mérési hibákat. Nagy kiterjedésű, kissé görbült felületek esetén jól használhatók még az úgynevezett rugóterhelésű felületszondák is. Csapszeg, szegecs furatok felületszélein lévő kisméretű repedések felderítésére speciális szondákat alkalmaznak, melyek:

- állítható átmérője biztosítja a szonda megfelelő elhelyezkedését a furatban, (kitöltés);
- állítható gyűrűvel rendelkeznek, mellyel szabályozható a furatba való behatolás mélysége. A gyűrű, a szonda furatban való körülfordulása során vezető, stabilizáló elemként működik.

Mindegyik szondának megfelelő érzékenységgel kell rendelkeznie, hogy a vizsgálatban meghatározott adatokat mérni lehessen.

ALACSONY FREKVENCIÁS SZONDÁK

Csapok vizsgálatakor gyűrűszondákat alkalmaznak, melyek körülfogják az adott munkadarabot.

A szonda külső átmérője nem lehet olyan nagy, hogy a szomszédos szerkezetek, alkatrészek akadályozzák a vizsgálatot, de a belső átmérőnek elegendően nagyra kell lennie, hogy átfogja a csap kerületét. Az érzékenység általában javul, ha a szonda belső átmérője megközelíti a csap külső átmérőjét. A szonda frekvenciája az érzékenység és a jel-zaj viszony függvénye.

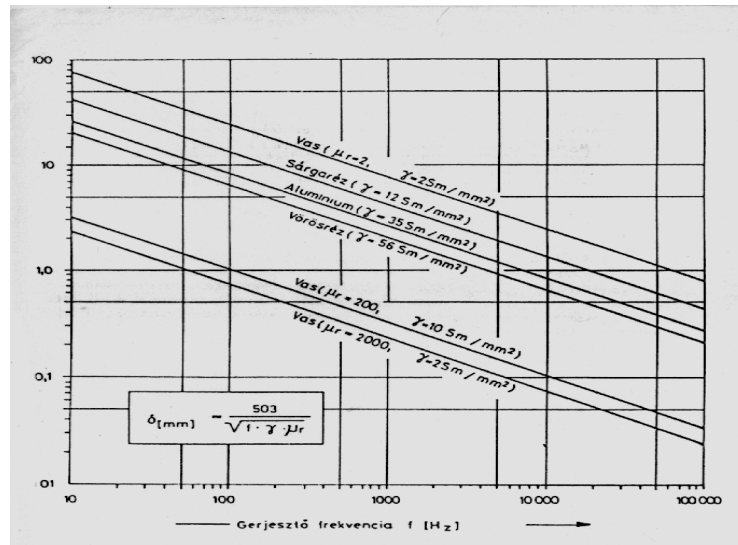
Szűrőszondákat alkalmaznak csapok közvetlen környezetében vagy pontosan meghatározott helyek vizsgálatára, esetenként süllyesztett titánium- vagy alumínium-csapoknál. Ezenél a szondáknál nagy érzékenység érhető el, de a vizsgált felület kicsi, ezért a vizsgálat időigényes. A szonda méretét és a vizsgáló frekvenciát az adott szerkezet határozza meg. Minden esetben érvényes, hogy a szonda típusának, méretének, vizsgálati frekvenciájának megválasztásakor a következőket kell figyelembe venni:

- az anyagminőséget (ötvözők, hőkezelési állapot);
- a bevonat alatti repedések helyének megállapításakor az anyag és a bevonat vastagságát;
- a bevonat repedéseinek felderítésekor a bevonat anyagát, vastagságát;
- a bevonatokat vizsgálva, azok alatt csökken-e az érzékenység vagy megváltozik-e az örvényáram tulajdonsága;
- a várható repedés irányát;
- a munkadarab anyagát, méretét, a rendelkezésre álló helyet,
- a felületi és felület alatti éleket;
- a hozzáférhetőség vagy zavaró jelek szempontjából a szomszédos szerkezeti elemeket;
- a jel-zaj viszonyt, melynek kívánatos értéke legalább 3:1.

A FREKVENCIAVÁLASZTÁS A REPÜLŐGÉPEKEN VÉGZETT VIZSGÁLATOK SORÁN

A frekvenciát a szükséges behatolási mélység, az érzékenység, a vizsgálati sebesség és az alkalmazott eljárás figyelembevételével kell megválasztani. A behatolási mélység (δ) és a frekvencia (f) közötti kapcsolatot a 7. ábra mutatja be.

A 7. ábrán a diagram függőleges tengelyén a δ behatolási mélység milliméterben, vízszintes tengelyén a szonda gerjesztő frekvenciája Hz-ben látható.



7. ábra

Szabványos behatolási mélységek különböző anyagoknál a frekvencia függvényében

A repülőgépek üzemeltetése során az örvényáramos vizsgálatokat alkalmazásuk szerint három nagy csoportba soroljuk.

NAGYFREKVENCIÁS, FELÜLETI ELLENŐRZÉSEK

Általában az 50kHz feletti frekvenciákat értjük nagy frekvenciák alatt. Ebben az ellenőrzési körbe tartoznak az olyan repedések, lyukak vizsgálatai, melyek nyitottak, vagy közvetlenül a felület alatt helyezkednek el. Ide tartoznak a furatellenőrzések, valamint a felületi vizsgálatok széles skálája.

KISFREKVENCIÁS, FELÜLET ALATTI ELLENŐRZÉSEK

Az 50kHz alatti frekvenciákat soroljuk ehhez a vizsgálati körhöz. A vizsgálat célja a felület alatti és az alapszerkezetben lévő anyaghibák felderítése, melynek érdekében speciálisan tervezett, alacsony frekvenciás szondákat, berendezéseket

használnak. Jól alkalmazható az eljárás korróziós veszteségek vizsgálatához és bevonat alatti felületek ellenőrzéséhez.

VEZETŐKÉPESSÉG MÉRÉSE

Ehhez a vizsgálathoz etalonok segítségével kalibrált berendezést alkalmazunk. Nagyon jól alkalmazható tűzkár felbecslésére vagy ötvözetek hőkezelési állapotának meghatározására.

Egyes vizsgálatok, eljárások elvégzése különleges felszerelést, módszereket igényel, melyeket a repülőgép üzemeltetési technológiája alapján lehet végrehajtani.

AZ ÖRVÉNYÁRAMOS MÉRÉSEKET BEFOLYÁSOLÓ HATÁSOK

Egy mérés során az alkatrészben az örvényáramok sűrűségének megváltozását okozhatja:

- a vizsgált tárgy alakjának, méretének megváltozása;
- az anyaghibák, hegesztési varratok;
- a kémiai, ötvözetű összetevők változása;
- a hőkezelés, mechanikai megmunkálás;
- a szonda és munkadarab közti távolság megváltozása;
- a mágneses permeabilitás változása;
- a hőmérsékletváltozás.

A legfontosabb, megtévesztő méréshez vezető hatások a következők:

- hőmérséklet-változások;
- belső mechanikai feszültségek;
- a vizsgálati tárgy szélének és görbülségének hatása (széleffektus);
- be- és kilépés hatása;
- a munkadarab mechanikai vezetésének egyenlőtlenségeiből eredő zavaró hatás;
- a tekercs felülettől való távolság változásának a hatása (elemelési effektus);
- elektromos zaj iránti érzékenység.

HŐMÉRSÉKLET-VÁLTOZÁSOK

A hőmérséklet befolyásolja mind a fajlagos vezetést, mind a permeabilitást, mind a vizsgált tárgy méreteit. Ez különösen összehasonlító eljárásoknál okoz problémát, mivel az ily módon keletkező hibajelzést a valódi hibák okozta jeltől nem lehet elválasztani. A vizsgáló tekercs felmelegedése az elektromos ellenállás változását okozza, mely a permeabilitás megváltozásához vezet. A tekercs felmelegedésének elkerülésére az impulzus örvényáramos eljárás a legalkalmasabb.

BELSŐ MECHANIKAI FESZÜLTSÉGEK

A permeabilitás és a fajlagos vezetés megváltozását okozzák. A belső mechanikai feszültség hatása ferromágneses anyagoknál a kezdeti permeabilitás tartományában jelentősebb, míg nagy mágnesező áramerősségeknél, tehát a telítési mágnesezésnél a permeabilitás változásra gyakorolt hatása már nem olyan nagy. Ha kisebb mágnesező áramerősségeknél nagyobb a szórás, mint a nagyobb áramerősségeknél, akkor ez a mechanikai feszültségek egyértelmű bizonyítéka.

A VIZSGÁLATI TÁRGY SZÉLÉNEK ÉS GÖRBÜLTSGÉNEK HATÁSA (SZÉLEFFEKTUS)

A vizsgált munkadarab széle körül és görbült felület hatására az örvényáramok eloszlása megváltozik, egyenlőtlen lesz, ami hibás méréshez vezethet.

BE- ÉS KILÉPÉS HATÁSA

A vizsgált tárgy tekercsbe való be- és kilépésekor a tekercsben feszültség indukálódik, mely minden esetben nagyobb lesz az esetleges hibákból eredő feszültségnél. Ezt a hatást egy speciális elektronikus reteszelővel küszöbölik ki, melynek alkalmazásával a vizsgálat csak akkor indul meg, mikor a munkadarab már teljes egészében a tekercsben van.

FELÜLETI ÉRDESSÉG HATÁSA

A felületi anyaghibák felderíthetősége függ attól, hogy mennyire térnek el (főleg mélységükben) egyéb felületi egyenetlenségektől, mint pl. hullámosság, érdeség. A gyakorlatban a hiba által okozott jelnek legalább háromszor nagyobbnak kell lennie a legnagyobb felületi érdeesség, hullámosság okozta jelnél. Ez a hatás jól kiküszöbölhető a differenciál eljárás segítségével.

A MUNKADARAB MECHANIKAI VEZETÉSÉNEK EGYENLŐTLENSÉGEIBŐL EREDŐ ZAVARÓ HATÁS

A vizsgált tárgy pontatlan mechanikai vezetése, valamint a tekercsek aszimmetriája miatt folyamatos vizsgálatkor olyan jelek léphetnek fel, melyek azonosak az átmérőváltozás okozta zavaró jelekkel. A „bicegő hatás” okozta zavarójeleket nem lehet minden esetben elnyomni (különböző fázishelyzetük miatt), így vagy nagy tekercskitöltési arányt választunk, vagy olyan pontos vezetést biztosítunk, hogy a továbbítás rázkódás-, hullámzás- és lökésmentes legyen.

A TEKERCSEFELÜLETTŐL VALÓ TÁVOLSÁG VÁLTOZÁSÁNAK A HATÁSA (ELEMELÉSI EFFEKTUS)

Ez a hatás rázkódásból vagy a felület egyenetlenségéből fakad, és jelentős zavaró hatást eredményez. Számottevően csökkenthető egymás mellett fekvő, differenciál kapcsolású tekercsek alkalmazásával.

ELEKTROMOS ZAJ IRÁNTI ÉRZÉKENYSÉG

A vizsgáló szonda nemcsak a vizsgálati tárggyal kerül induktív kapcsolatba, hanem a környezet egyéb váltakozó mágneses terei is hatnak rá. Szűrőkörök alkalmazása nem ad tökéletes eredményt, ugyanakkor jelentősen gátolja a dinamikus vizsgálatok végrehajtását. Két szonda alkalmazásával lehetővé válik a második szonda olyan beállítása, hogy a mérőszonda által vett zajt kiküszöböljék.

AZ ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLATOK ALKALMAZÁSA A REPÜLŐGÉPEK ÜZEMELTETÉSE SORÁN

Repülőszerkezeteken az örvényáramos vizsgálatok egy különleges csoportját alkalmazzák. Legáltalánosabban az alábbi ellenőrzéseket végzik:

- repedések felderítése az esetek széles körében;
- korróziós károk és eredő fémveszteség felderítése, becslése bevonattal rendelkező alkatrészekben;
- ötvözők azonosítása és hőkezelési állapot megállapítása;
- magas hőnek kitett alkatrészekben hő- és tűzkár felmérésére.

Alacsonyán ötvözött acélok esetén az örvényáramos eljárás eredményeinek kiértékelése nehézkes, így ezeket az eljárásokat a lehetőségek keretein belül nem ajánlják. A ferromágneses fémek esetében, ha lehetséges, kerülnek az örvényáramos vizsgálatok alkalmazását. Az eljárások általában nem igényelnek komolyabb előkészületeket. Jobbára nem szükséges a vizsgálat elvégzéséhez a repülőgép alkatrészét kiszerezni vagy elmozdítani, de a hozzáférhetőség miatt szükség lehet áramvonalazó lemezek, tartozékok leszerelésére. Csapok furatainak ellenőrzésekor a csapokat általában ki kell venni. A repülőgép tüzelőanyag-tartályait érintő vizsgálatoknál, ha a vizsgálat a tartály belsejére is kiterjed, a tartályt ki kell üríteni és meg kell tisztítani. A tartályok, valamint az égőterek belső tereinek ellenőrzéséhez speciális örvényáramos berendezések használata kötelező. Az alkatrészek ellenőrzésének megkezdése előtt csak minimális tisztítást kell végezni. A vizsgálatok nagy része végrehajtható festéken, olajon és néhány homogén szigetelő anyagon keresztül is.

ÖSSZEFOGLALÁS

A repülőgépek üzemeltetése során az örvényáramos anyagvizsgáló eljárás szerepe jelentősen megnőtt napjainkban. A bemutatott készülék-felépítéshez differenciál vagy abszolút mérést lehetővé tevő szondák csatlakoztathatók. A repülőgép szerkezeteinek vizsgálatához a mérést úgy kell megtervezni, hogy az megfelel-

ÖRVÉNYÁRAMOS ANYAGVIZSGÁLAT A REPÜLŐGÉPEK
ÜZEMELTETÉSÉBEN

jen a szerkezeti anyag és a vizsgálandó tartomány (behatolási mélység) által támasztott követelményeknek. Mindezek mellett sok egyéb, a mérést zavaró külső körülményre is figyelmet kell fordítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 767 NDT Boeing 767: Nondestructive Test Manual, D634T301, 1996. Mar.15.
- [2] KAJDI GYULA: Anyagvizsgálat örvényáramokkal Szakmai Továbbképző és Átképző Vállalat, Budapest, 1990.
- [3] SKOPÁL ISTVÁN, TÓBIÁS FERENC: Örvényáramos anyagvizsgálat vizsgálati technológia I-II. Szakmai Továbbképző és Átképző Vállalat, Budapest, 1990.
- [4] SKOPÁL ISTVÁN, TÓBIÁS FERENC, TÓTH FERENC: Örvényáramos anyagvizsgálat készülékismeret I-II. Szakmai Továbbképző és Átképző Vállalat, Budapest, 1990.
- [5] DR. SZALAY BÉLA: Fizikai összefoglaló. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

The article shows the basis of eddycurrent testing and its specifications during the operation of the aircraft. It discusses the problems of choosing of the probe and frequency, and the influencing circumstances of the test.



MŰSZAKI TUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Gedeon József

Rovatszerkesztők: Dr. Szabó László

Dr. Szabolcsi Róbert

Vörös Miklós

Timár Szilárd

AZ IMPULZUSKOMPRESSZIÓ RADARTECHNIKAI ALKALMAZÁSA

Szabó Gyula mérnök őrnagy*
Teréki Csaba mérnök százados*
***egyetemi tanársegéd**
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék

E cikk az impulzuskompresszió elméleti alapjait, valamint az impulzus kompressziós eljárást alkalmazó lokátor előnyeit és hátrányait mutatja be.

BEVEZETÉS

Az impulzuskompresszió megértésének érdekében vizsgálatunk kiinduló pontja legyen egy kereső lokátor egyenlete, s ezen alapegyenletet felhasználva határozzuk meg, mi módon növelhető a lokátor felderítési távolsága és radiális felbontása!

$$D_0(1) = \frac{\sigma}{k4\pi} \frac{T_r}{\Psi_s R_{\max}^4} \frac{P_a A_{\text{eff}}}{T_\Sigma} \frac{1}{L_\Sigma} \quad (1)$$

Ahol:

$D_0(1)$ — egy impulzus alapján történő döntés (adott minőség és adott döntési eljárás esetén);

σ — hatásos visszaverő felület

k — Boltzmann állandó $\left(k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{W}}{\text{HzK}} \right)$;

Ψ_s — a letapogatott térszögtartomány;

$R_{\max}$ — maximális hatótávolság;

T_r — antenna körülfordulási ideje;

T_{Σ} — a vevő bemenetére redukált rendszer zajhőmérséklete;

P_a — az adó átlagteljesítménye;

A_{eff} — a radar antenna hatásos felülete;

L_{Σ} — a radar összes veszteség;

Kifejezve az alapegyenletből a hatótávolságot, látható, hogy a hatótávolság az adó átlagteljesítményének negyedik gyökével arányos:

$$R_{\text{max}} = \text{konst} \sqrt[4]{P_a} \quad (2)$$

Az alapegyenlet alapján megállapíthatjuk, hogy adott detekciós minőség mellett, adott antenna esetén, melynek a körülfordulási ideje is meghatározott, a hatótávolság növelésére a következő lehetőségek adódnak:

- csökkenteni a vevő bemenetére redukált zaj hőmérsékletét;
- csökkenteni a radar veszteségeit;
- növelni az adó átlagteljesítményét;
- növelni az antenna körülfordulási idejét.

Az első két szempont a tervezésnél maximálisan figyelembe van véve, így itt további nyereség elérésére nincs mód. Az antenna körülfordulási idő növelése csökkenti a plotok adatfrissítési idejét, ami a manőverező célok követésének igénye miatt nem megengedhető. Látszólag egyetlen lehetőségünk marad, az adó átlagteljesítményének növelése.[2]

Mi módon növelhető az adó átlagteljesítménye?

- növelni kell az impulzus csúcsteljesítményét;
- konstans impulzushossz mellett növelni az impulzus ismétlődési frekvenciát;
- az impulzus hosszának a növelése.

Az impulzus csúcsteljesítményét műszaki okok miatt nem lehet növelni. (Magnetron alkalmazásával ugyan növelhető lenne a teljesítmény, de ez az eszköz nagy mértékben megnehezítené az aktív zavarvédelmet.) Ha konstans impulzushossz mellett növeljük az impulzus ismétlődési frekvenciát, akkor az egyértelműségi hatótávolságot csökkentjük le a kívánt távolság alá.

Az egyértelműségi hatótávolság:

$$R \leq \frac{cT_i}{2} \quad (3)$$

Ahol:

c — a fénysebesség;

T_i — szomszédos kisugárzott impulzusok közti idő.

Ebből az következik, hogy az ismétlődési frekvencia értéke felülről korlátos.

$$f_i \leq \frac{1}{T_{\min}} = \frac{c}{2R_{\max}} \quad (4)$$

Ahol: f_i — ismétlődési frekvencia

Tehát ezen a módon nem szabad növelni az átlagteljesítményt. Ha az impulzus hosszát növeljük, akkor romlik az impulzuslokátor radiális felbontása:

$$\delta_r = \frac{c\tau_a}{2} \quad (5)$$

Ahol:

τ_a — a kisugárzott impulzus hossza,

δ_r — radiális felbontás,

Látszólag újra zsákutcába kerültünk, azonban általánosabban vizsgálva a radar radiális felbontását, az nem az alkalmazott impulzus hosszától, hanem az elfoglalt RF sávzélességtől függ. Hiszen egyszerű impulzus modulált esetben az elfoglalt sávzélesség:

$$B = \frac{1}{\tau_a} \quad (6)$$

Így a radiális felbontás a következő formában írható le:

$$\delta_r = \frac{c}{2B} \quad (7)$$

Ahol: B — kisugárzott jel sávzélessége.

A megoldást az impulzuskompressziós eljárást alkalmazó lokátor adja. Az impulzus sávzélességét úgy tudjuk megnövelni, ha a kisugárzásra kerülő impulzuson belül valamilyen szubmodulációt alkalmazunk.

A vevőben használt komprimáló szűrő kimenetén az eredeti impulzusnál jóval rövidebb impulzus fog megjelenni, amiből egyértelműen következik a jobb radiális felbontás. (A szűrőt természetesen úgy kell megválasztani, hogy az egész jelre nézve illesztett legyen.)

Az illesztett szűrő komprimálja az eredetileg hosszú jelet a rajta lévő moduláció alapján. Ez a kompresszió a jel-zaj viszony javulását eredményezi, amit úgy valósít meg az illesztett szűrő, hogy a jelre nézve koherens, míg a zajra nem koherens integrálást valósít meg. Ennek következtében a jel-zaj viszony a kompressziós arány (CR) szeresére növekszik.

A kompressziós arány definíciója:

$$CR = \frac{\tau_a}{\tau_c} \quad (8)$$

Ahol:

τ_c — a komprimált impulzus hossza;

CR — kompressziós arány;

B sávszélesség esetén a komprimált impulzus hossza:

$$\tau_c = \frac{1}{B} \quad (9)$$

Tehát a kompressziós arány:

$$CR = \frac{\tau_a}{\tau_c} = \tau_a B \quad (10)$$

Megállapíthatjuk, hogy hosszú impulzusokkal kis adó-csúcseljesítmény esetén is növelhetjük a hatótávolságot, de a radiális felbontásnak megfelelő sávszélességű szubmodulációt kell alkalmazni.

Az impulzuskompressziós eljárások alkalmazásának következményei:

- összetett modulátor;
- összetett illesztett szűrő;
- koherens jelfeldolgozás,
- fokozott érzékenység a doppler eltolásra;
- a minimális felderítési távolság növekedése.

Az impulzuskompresszió előnyei:

- igen jó távolsági felbontás;
- redukált csúcseljesítmény;
- erős védelem aktív és passzív zavarok ellen;
- flexibilis felbontás.

A főbb impulzuskompressziós eljárások a következők:

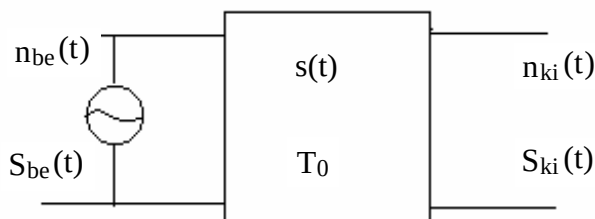
- Analóg modulációk;
 - lineáris frekvencia moduláció(LFM);
 - nemlineáris frekvencia moduláció(NLFM);
- Diszkrét kódolású jelek;
 - Fázis moduláció;
 - BiPhase moduláció;
 - PolyPhase moduláció;

- Modulálatlan vivőjű impulzus sorozatok;
- Frekvencia modulált impulzusok.

AZ IMPULZUSKOMPRESSZIÓ

AZ IMPULZUSKOMPRESSZIÓ ELMÉLETI ALAPJAI

Egy lokátort megvizsgálva, az adó, az antenna és a tápvalrendszer paramétereit állandónak véve azt mondhatjuk, hogy a célparaméterek meghatározásának minősége a vevőben dől el. Egy vevőt igen sok paraméterrel lehet jellemezni, de talán az egyik legfontosabb a vevő kimenetén mérhető jel-zaj viszony (SNR), hiszen a hasznos információt maga a jel hordozza, a mindig jelen lévő zaj pedig megnehezíti az információ kinyerését. A vevőt úgy kell kialakítani, hogy adott pillanatban maximális jel-zaj viszonyt hozzon létre. E maximális jel-zaj viszonynak az elérhető legnagyobbnak kell lennie. A vevőt ezen feltételek mellett optimálisnak tekinthetjük. Ekkor a vevő egy szűrő, mely a visszavert jelhez illesztve van, ezért használjuk az illesztett szűrő elnevezést. Az illesztett szűrő tulajdonságainak meghatározása 1. ábra segítségével történik



1. ábra

Ahol:

$s_{be}(t)$ — a hasznos jel időfüggvénye;

$n_{be}(t)$ — a zaj időfüggvénye;

$s(t)$ — a szűrő átmenetifüggvénye;

T_0 — a szűrő késleltetése.

A kimeneti jelteljesítmény (1Ω -on).

$$P_{\text{jel,ki}} = s_{\text{ki}}^2(T_0) = \left[\int_0^{T_0} s(T_0 - \tau) * h(\tau) d\tau \right]^2 \quad (11)$$

A kimeneti zajteljesítmény pedig feltételezve, hogy $n(t)$, $N_0/2$ konstans teljesítménysűrűségű fehérzaj.

$$P_{\text{zaj,ki}} = \sigma^2 = \frac{N_0}{2} \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau \quad (12)$$

A jel-zaj viszony definíciója alapján.

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{jel,ki}}}{P_{\text{zaj,ki}}} = \frac{s_{\text{ki}}^2(T_0)}{\sigma^2} = \frac{\left[\int_0^{T_0} s(T_0 - \tau) * h(\tau) d\tau \right]^2}{\frac{N_0}{2} \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau} \quad (13)$$

E kifejezés maximumát keresve felhasználjuk a Schwarz-Bunyakovszkij egyenlőtlenséget, melynek általános alakja:

$$\left(\int_{-\infty}^{\infty} f(x)g(x)dx \right)^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} f^2(x)dx \cdot \int_{-\infty}^{\infty} g^2(x)dx \quad (14)$$

Így az összefüggés az alábbi alakú lesz:

$$\text{SNR} \leq \frac{\int_0^{\infty} s^2(T_0 - \tau) d\tau \cdot \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau}{\frac{N_0}{2} \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau} \quad (15)$$

Maximális érték akkor adódik, ha:

$$h(t) = k s(T_0 - t) \quad (16)$$

Ezen összefüggés azt jelenti, hogy a jel csak amplitúdóban változhat és időbeli eltolást szenvedhet. Ha áttérünk frekvencia tartományra, akkor megkapjuk a szűrő átviteli függvényét.

$$H(\omega) = ks^*(\omega)e^{-j\omega T_0} \quad (17)$$

Az átviteli függvény alapján megállapítható, hogy a vevő akkor biztosít optimális jelátvitelt, ha átviteli függvénye komplex konjugáltja a visszavert (kiszugárzott) jel Fourier-transzformáltjának.

Egy szűrőt leginkább a komplex átviteli függvénye jellemez:

$$W(j\omega) = |W(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)} \quad (18)$$

ahol:

$|W(j\omega)|$ — az amplitúdó karakterisztika;

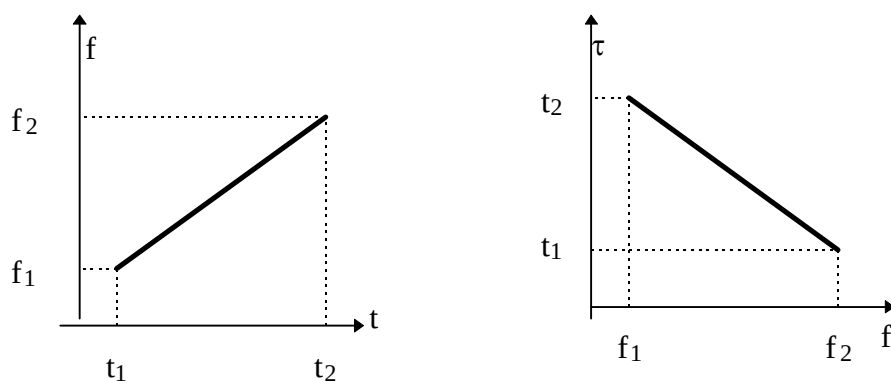
$\varphi(\omega)$ — a fáziskarakterisztika.

Van még egy fontos jellemző: $\tau(\omega)$, a csoportfutási idő, mely a fáziskarakteristikából származtatható:

$$\tau(\omega) = -\frac{d}{d\omega}\varphi(\omega) \quad (19)$$

Belátható, hogy ha a szűrő $\varphi(\omega)$ karakterisztikája frekvenciában nemlineárisan változik, akkor $\tau(\omega)$ karakterisztikája sem lesz a frekvenciában konstans értékű, vagyis különböző frekvenciákon más és más csoportfutási idővel jut át a szűrő bemenetére adott jel.

Tételezzük fel, hogy a visszavert jel egy olyan impulzus, melynek frekvenciája az idővel lineárisan növekszik. Ezt a jelet visszük rá egy olyan szűrőre, melynek futási idő karakterisztikája olyan, hogy a frekvencia növekedésével egyre kisebb késleltetési idővel rendelkezik. Ez látható a 2. ábrán.



2. ábra

Az ilyen szűrő a magasabb frekvenciájú jelkomponenseket kisebb késleltetési idővel, míg az alacsonyabb frekvenciájúakat jobban késleltetve engedi át, így az impulzushossz kisebb lesz, vagyis az impulzus komprimálódik. A kompresszió létrehozásához a kisugárzott jelet modulálni kell. A példa egy lineáris frekvencia-modulációt mutatott be. (Ezen kívül számos más modulációs eljárás létezik.)

AZ IMPULZUSKOMPRESSZIÓS RADAR

Az impulzuskompresszió magában foglalja a hosszú, kódolt impulzus kisugárzását, és a visszavert jelnek relatív keskeny impulzussá való alakítását. Az impulzuskompressziós radar megnövelt detekciós képességét úgy éri el, hogy közben megtartja a keskeny impulzusú radar felbontóképességét.

Előnyei:

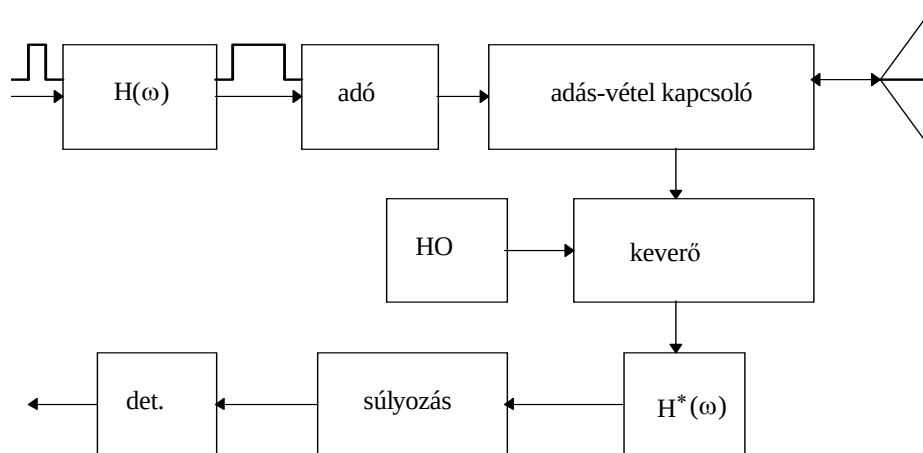
- a hosszú impulzusok kisugárzása lehetővé teszi a radar átlagteljesítményének jobb kihasználását;
- a nagy teljesítményű adó jelek elkerülhetők;
- a kisugárzott átlagteljesítményt a T_i növelése és a radar egyértelmű hatótávolságának csökkentése nélkül érhető el;
- a megnövelt doppler felbontó képesség;
- a radar zavarvédettebb lesz a kóddal nem egyező jelekkel szemben.

A kisugárzásra kerülő jel előállítható keskeny impulzusból. A keskeny impulzus precíz fáziskapcsolattal rendelkező, nagyszámú frekvencia komponenset tartalmaz. Ha a relatív fázisokat egy fázistorzító szűrő megváltoztatja, a frekvenciakomponensek eredőben nyújtják, vagyis széthúzzák az impulzust. Ez az expandált impulzus kerül kisugárzásra. A visszavert jel a vevőben egy kompressziós szűrő által kerül feldolgozásra. A kompressziós szűrő visszaállítja a frekvencia komponensek közötti relatív fáziskülönbséget, így a keskeny (összenyomott) impulzus ismét előállítható.

Mint a bevezetésben látható, az impulzus kompressziós arány, az expandált és a komprimált jelalak időaránya. Ez az arány mind idő és frekvencia tartományban számítható. Az impulzus kompressziós radar lényegében egy illesztett szűrő. A kódolt jel jellemezhető frekvencia tartományban $H(\omega)$ és időtartományban $h(t)$ is.[1]

Tételezzük fel a 3. ábrán látható egyszerű kódolást. Itt a kódolt jelet egy Dirac-impulzussal gerjesztett kódszűrő ($H(\omega)$) állítja elő. A visszavert jel az illesztett szűrőbe kerül, melynek átviteli függvénye komplex konjugáltja ($H^*(\omega)$) a kódszűrőnek. Az illesztett szűrő kimenete a komprimált impulzus lesz, melynek időfüggvénye:

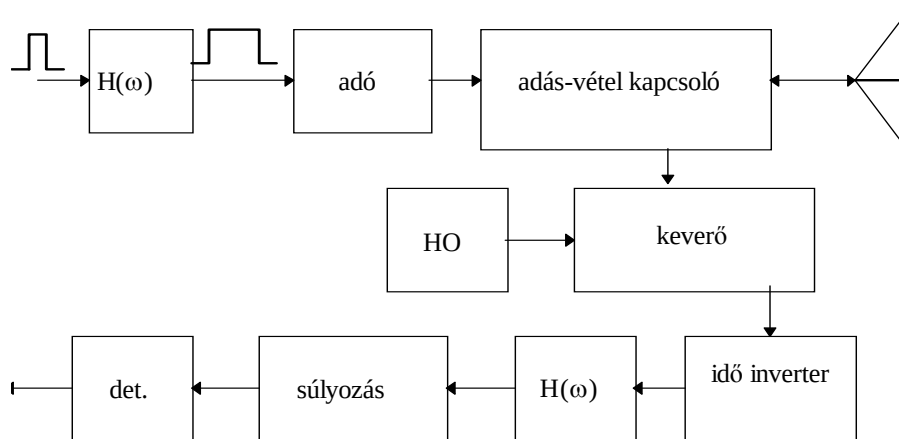
$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H^*(\omega)|^2 e^{j\omega t} d\omega \quad (20)$$



3. ábra

A 3. ábra szerinti megvalósításban tehát az expanziós és a kompressziós szűrők egymás konjugáltjai.

A szűrő a jelhez is illesztve van, amennyiben annak időfüggvénye a szűrő Dirac-impulzusra adott válaszában konjugáltja. Ha a visszavert jelet időben invertáljuk, mint ahogy azt a 4. ábra mutatja, azonos szűrők alkalmazhatók expanzióra és kompresszióra, vagy pedig ugyanaz a szűrő láthatja el a két feladatot az adás és a vétel közti alkalmas kapcsolattal.



4. ábra

4

Az illesztett szűrő kimenete ekkor az alábbi konvolúciós képlettel írható le:

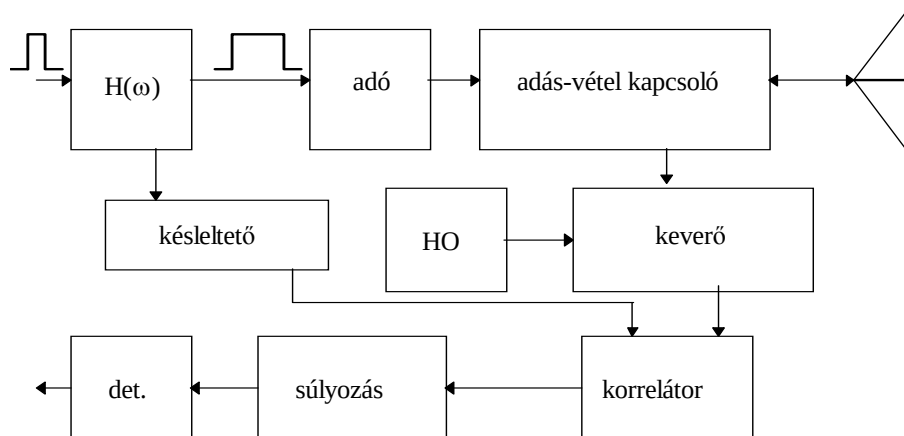
$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \cdot h^*(-t) dt \quad (21)$$

Ahol:

$h(t)$ — a jel időfüggvénye;

$h^*(-t)$ — az illesztett szűrő konjugált impulzus válasz függvénye.

Itt az illesztett szűrő a kisugárzott és a vett jel korrelációját végzi. Ennél fogva a korrelációs eljárás, ahogy az a 5. ábrán látható, megegyezik az illesztett szűréssel. A gyakorlatban a kívánt tartomány lefedésére többszörös késleltetést és korrelálást alkalmaznak.



.ábra

5

Az illesztett szűrő kimeneti jele a komprimált impulzusból és az őt kísérő egyéb termékekből, az úgynevezett oldalszirmokból áll. A nemkívánatos oldalszirmok csökkentésére gyakran frekvenciasúlyozó tagokat alkalmaznak. A mozgó céltárgyról visszavert jelben lévő doppler frekvenciás csúszás miatt szűrőbankot kell alkalmazni. Minden szűrőnek illesztettnek kell lennie egy-egy frekvenciára. A szűrőbank elemeinek száma a kívánt doppler frekvencia mérésének pontosságától és tartományától függ.

A MEGFELELŐ IMPULZUSKOMPRESSZIÓS ELJÁRÁS KIVÁLASZTÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A megfelelő eljárás kiválasztása az adott hullámformától és az alkalmazott jelfeldolgozási metódustól függ. Az alkalmas hullámforma kiválasztását befolyásoló tényezők általában a radar technikai jellemzői, ezek pedig a következők:

- a hatótávolság;
- a doppler tartomány;
- a hullámforma változtathatóság;
- a zaj elnyomás;
- a jel-zaj viszony.

A megvalósítás módszerei két csoportra oszthatók, aktívra és passzívra, attól függően, hogy a jel előállítása és feldolgozása közben aktív vagy passzív technikát alkalmazunk. Az aktív jel előállítása magában foglalja a hullámforma előállítását a vivő, fázis vagy frekvencia modulációja által valós időbeli nyújtás nélkül. Ennek egy példája a vivő fázisának digitális vezérlése. A passzív jel előállítása magában foglalja az adott eszköznek vagy hálózatnak egy rövid impulzussal való gerjesztését, melynek eredményeként egy hosszabb idejű, kódolt hullámforma adódik. Ennek egy jellegzetes megvalósítása a SAW (surface-acoustic-wave) késleltető struktúrára épül. Az aktív feldolgozás a jel előállítása és a kisugárzott, valamint a vett jel korreláltatásán alapul. Passzív jelfeldolgozás során pedig egy kompressziós hálózatot alkalmaznak, mely az expansziós hálózat konjugált párja, s így illesztett szűrőként viselkedik. Habár az aktív és passzív technikák alkalmazhatók ugyanabban a radarban, legtöbbször mégis az előállítás és feldolgozás ugyanolyan osztályú.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] M.SKOLNIK: Radar Handbook, McGraw Hill, 2nd ed, 1990.
- [2] M.N. COHEN: Pulse Compression in Radar System, 1995, International Radar Conference

Nowadays, we often meet the theory of the pulse compression. This article is trying to produce the theoretical base of the pulse compression and to point the advantages and disadvantages of the process.

AUTOMATIZÁLT MÉRÉSVEZÉRLÉS

**Kovács Attila mérnök őrnagy
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék**

A különböző mérési eljárások, megfelelő tulajdonságú eszközök birtokában, végrehajthatók automatizált mérésvezérléssel. A módszer különösen aktuális azokban az esetekben, amikor az ember fizikailag nem lehet jelen a mérés helyszínén, illetve amikor adott mérési tartományban nagyszámú mérési pontról és a mérési eredmények további feldolgozásáról van szó. A szerző célja a téma körüljárása egy cikksorozat keretén belül. Az elméleti alapok áttekintése után a cikkben felvetett probléma egyfajta megválaszolásával szeretném az olvasó érdeklődését felkelteni a téma iránt.

BEVEZETÉS

A környező világ megismerésére való törekvés egyidős az emberiség történelmével. A mérés az emberi érzékszervek által pontatlanul vagy egyáltalán nem érzékelhető jelenségekről, folyamatokról való ismeretszerzés fontos eszköze. Az egzaktásra törekvő tudományterületek a természet jelenségein végzett mérésekre épülnek. Egy mérés megtervezése, elvégzése és kiértékelése elméleti, műszaki és módszertani apriori ismereteket feltételez.

Ezeknek az ismereteknek a fő elemei a következők:

A *méréselmélet*, ami a méréssel összefüggő elméleti, általános, elvi problémákkal, a mérési eljárások információátviteli tulajdonságaival foglalkozik.

A *méréstechnika* egy konkrét mérési probléma megoldását segítő módszerek összességét foglalja magában.

A *műszertechnika* feladata a konkrét mérések elvégzéséhez szükséges eszközök, berendezések létrehozása.

A *metrológia* az alap- és leszármaztatott egységek előállításával, valamint a műszerek és mérési eljárások nagy pontosságú hitelesítésével foglalkozik.

A mérés kialakításakor lényeges szempont a mérés megismételhetősége és

reprodukálhatósága. További szempontot képviselnek a gazdasági, személyi, műszerezettségi stb. adottságok.

A *megismételhetőség* alatt az egyforma feltételek — mérési módszer, eszköz, személy, használati környezet — mellett többször megismételt méréssel kapott mérőszámok egymással való megegyezése értendő.

Reprodukálhatóság alatt azt értjük, hogy az adott fizikai jellemzőt különböző mérési eljárásokkal, eszközökkel, személyekkel, használati körülmények között, nagy időközzel mérve az eredmények megegyeznek.

A keresett fizikai mennyiség megfelelő pontosságú meghatározásához — a mérési tartományon belül nagyszámú mérési pontot tartalmazó — mérési sorozatok végrehajtása szükséges. A mérés megismételhetőségének egyik kritikus pontja az emberi tényező. Minél gyakorlatlanabb a mérő személy annál nagyobb lehet a pontatlanság. A különböző fizikai mennyiségek mérésére készültek célműszerek. Ezek közös jellemzője, az összes jó tulajdonság mellett, hogy felhasználási területük szűk, adott mérési intervallumba az előre beállítható mérési pontok száma korlátozott és drága.

A fent említettek a következő problémákat vetik fel:

- A mérést végző személynek milyen a felkészültsége?
- Amit mérni akarunk, igényel-e célműszert?
- A mérésen belül mennyi a mérési pontok száma?
- Vannak-e olyan eszközök, melyek alkalmasak, vagy alkalmassá tehetők különböző fizikai jellemzők meghatározására?

A felvetett kérdések megválaszolására több lehetőség van. Ezek közül egyet kívánok megemlíteni.

- A mérést végző a mérés elsajátításának stádiumában van, tehát gyakorlatlan.
- A mérés célműszert igényel.
- Olyan jellemzőket mérünk, melyek megfelelő pontosságú meghatározása mérésenként nagy számú mérési pont felvételét igényli.
- Vannak olyan eszközeink, amelyek adott módon alkalmassá tehetők a nagy értékű célműszer kiváltására.

A kérdések és a kapott válasz a mérést végző számára kínálja a lehetőséget, hogy próbáljon alternatív megoldást találni.

A MÉRŐRENDSZER

A korszerű műszerek tulajdonsága a programozhatóság. Ez lehetővé teszi a mérőműszerek, mérőkészülékek, jelátvivő és jelfeldolgozó egységek, adatregisz-

ráló készülékek és vezérlők szabványosított információs kapcsolatokkal való rendszerbe szervezését. Az így kapott eszköz-együttest *mérőrendszernek* nevezzük.

A mérőrendszer alkotó elemei az adott rendszerben betöltött konkrét funkcióknál általában sokkal általánosabb felhasználhatósággal rendelkeznek.

Jellemzője a mérőrendszernek a rugalmasság, a bővíthetőség, a jelfeldolgozási és vezérlési funkciók általánosítása és számítógéppel való megoldása. A mérőrendszer sajátossága — korunk technikai színvonalának köszönhetően — a komfortos kezelői felület. A mérőrendszer kezelőjének nem kell ismerni a bonyolult rendszer struktúráját.

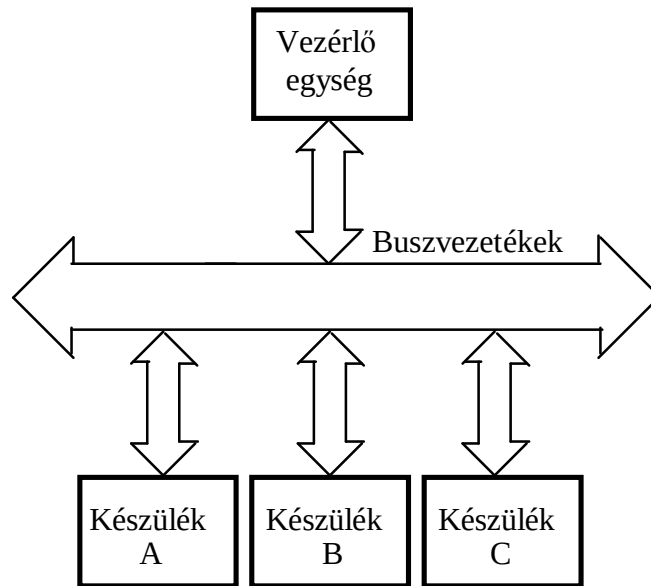
A számítástechnika fejlődése és a műszergyártás egymással szoros összefüggésben vannak. A nagy műszergyártó cégek egymás után jelentetik meg programozható mérőkészülékeiket. Az automatikus mérőrendszerek iránti érdeklődés nagy. Az érdeklődést igazolja az elgondolás, mely szerint sok esetben célszerűbb és gazdaságosabb a meglévő, az elvárásoknak megfelelő műszerpark felhasználásával vagy annak kisebb volumenű bővítésével mérőrendszert kialakítani, mint célműszereket beszerezni.

AZ IEC INTERFÉSZ RENDSZER

Ha automatizált mérőrendszer kialakítása mellett döntünk, az első probléma a mérőrendszert alkotó műszerek illesztése. A probléma megoldására az IEC /International Electrotechnical Commission/ javaslatot tett egy általános célú, mérőműszerek számára használható, szabványosított interfész kidolgozására. Az interfész rendszer kidolgozásában úttörő munkát végzett a Hewlett Packard cég. Az első próbálkozások 1965-ben kezdődtek. 1974-ben a HP javaslatokon alapuló dokumentumtervezetet az IEC elfogadta. 1975-ben a Villamos és Elektronikai Mérnökök Intézete /Institute of Electrical and Electronics Engineers/ kiadta az IEEE–488/1975 nevű dokumentumot „Digitális interfész programozható műszerek számára” címmel, mely tartalmazza az amerikai szabványú interfész rendszer elektromos, mechanikus és funkcionális specifikációit. Az IEEE–488 felülvizsgálata 1978-ban történt meg. 1980-ban az IEC publikálta az IEC 625-1 dokumentumot „Interfész rendszer programozható mérőkészülékek számára” címmel. A dokumentum a készülékek összekapcsolásához szükséges mechanikai, elektromos és funkcionális követelményeket definiálja. Az IEC 625-2. közleményben szabványosított kód- és formátum megállapodásokat fektettek le.

Az IEC interfész szerkezete a buszvezeték rendszeren alapszik. A „csillag”-rendszerrel ellentétben, ahol minden egyes műszer külön-külön van a központi

egységhez kapcsolva a saját vezérlő vezetékkötegen keresztül, a buszvezeték-rendszerben minden műszer össze van kapcsolva egymással egy közös vezetékkötegen, a „buszon” keresztül. Az adatátvitel az IEC buszon bájt-soros, bit párhuzamos. Az IEC interfész rendszer előnye, hogy nem jelentkeznek kábelezési problémák, és a rendszer bővítése nagyon egyszerű. Minden olyan műszer, amelynek van IEC interfésze, egy rendszerben együtt használható, attól függetlenül, hogy ki és hol gyártotta.



1. ábra

Az IEC interfész rendszer elve

Az IEC interfész rendszerek jellemzői:

A különböző adatsebességű készülékek probléma nélkül összekapcsolhatók. Az adatok közvetlenül, vezérlő készülék közreműködése nélkül, átvihetők két készülék között. Az aszinkron átviteli sebesség maximum 1Mbajt/sec.

Az IEC 625 busz, melyet IEEE-488, HP-IB, ANSI MC 1.1 és GPIB néven is ismernek, egy nemzetközileg elfogadott szabvány, és egyre több és több készüléket terveznek, melyek képesek ebben a rendszerben működni. Az interfész-rendszer teljesen jellemezhető a funkcionális, elektromos, mechanikus és működési specifikációja alapján.

- FUNKCIONÁLIS: A megengedett interfész-funkciók összessége és azok leírása (alkalmazás független).
- ELEKTROMOS: Logikai szintek, protokoll, lezárás, időzítés stb. (alkalma-

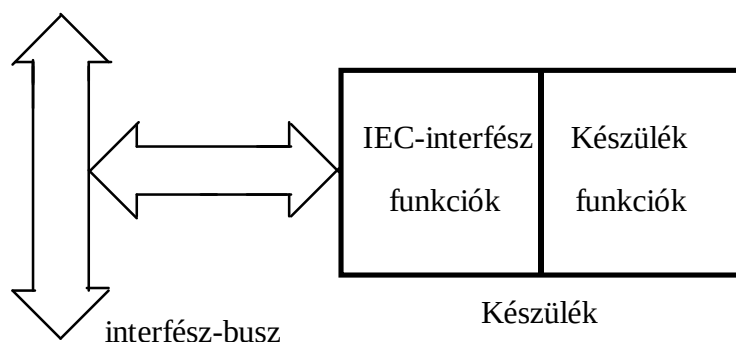
zás független).

- MECHANIKUS: Csatlakozó, szerelvény, kábel-összeállítás (alkalmazás független).
- MŰKÖDÉSI: A megengedett készülékfunkciók összessége és azok logikai leírása (alkalmazás függő).

Az IEC rendszerben a különböző készülékek között az összeköttetés 16 párhuzamos vezeték tartalmazó buszkábelben valósul meg. Egy IEC buszra maximum 15 készülék kapcsolható. A nagysebességű adatátvitel biztosításához az összekötő kábel hossza két készülék között nem haladhatja meg a két métert. A teljes kábelhosszúság egy IEC rendszerben maximum 20 méter lehet.

Minden IEC busz-kompatibilis műszer a szabvány követelményeinek megfelelően van kialakítva. Egy ilyen műszer felépítése látható a 2. ábrán.

Az IEC funkciókon kívül természetesen minden műszernek megvannak a saját speciális műszerfunkciói. Az IEC interfész szerkezete az adott műszer tulajdonságaitól függ.



2. ábra

Egy IEC buszhoz kapcsolt készülék funkcióinak megoszlása

Az IEC-busz kompatibilis műszereket a következő osztályokba sorolhatjuk:

- HALLGATÓ: Olyan készülék, amely képes címzett állapotban adatok vételére. Egyidejűleg maximum 14 aktív hallgató lehet a rendszerben.
- BESZÉLŐ: Olyan készülék, amely képes címzett állapotban adatok továbbítására. Egyidőben csupán egy aktív beszélő lehet a rendszerben.
- VEZÉRLŐ: Olyan készülék, amely képes kiosztani az információátvitelben a beszélő és hallgató szerepeket (önmagát is bele értve). Egyszerre csak egy aktív vezérlő lehet a rendszerben. Többvezérlős rendszerben csak egy vezérlő lehet rendszervezérlő (master).

Minden készüléknek van címe. Mielőtt egy adott készülékpár között bármilyen adatátvitel megindulna, a vezérlőnek meg kell címeznie a készülékeket. A

vezérlő általában valamilyen számítógép, azonban bármilyen készüléknek adható vezérlőfunkció az IEC interfészben. Az IEC busz rendszer műszerei között a kommunikáció jól definiált szabályok szerint zajlik. Egyszerre csak egy készülék beszélhet, adhat adatot a buszra, míg több készülék is hallgathat, üzenetet vehet. Az információátvitel sebessége automatikusan alkalmazkodik az információ-feldolgozásban részt vevő készülékek közül a leglassúbb sebességéhez. Az előzőekben említett interfész-funkciókon — beszélő, hallgató, vezérlő, rendszervezérlő — túl az IEC interfész más funkciókat is tartalmazhat.

Ezek a következők:

- RENDSZERVEZÉRLŐ: A készüléket képessé teszi interfész-törlés (IFC) és távvezérlés-engedélyezés (REN) üzenetek küldésére.
- VEZÉRLŐ: A készüléket képessé teszi többvezeték interfész üzenetek (címek, univerzális és címzett parancsok) küldésére. Ez a funkció teszi lehetővé, hogy a készülék tudjon válaszolni egy kiszolgáláskérésre, továbbá, hogy végrehajtson egy párhuzamos lekérdezést. Ez a funkció engedélyezi a szóban forgó készüléknek, hogy átvegye, illetve átadja a vezérlést a buszon egy másik készüléktől, illetve egy másik készüléknek.
- BESZÉLŐ: A készüléket képessé teszi arra, hogy adatokat küldjön a buszon keresztül más készülékeknek. Státusz bájtok küldése is ezen a funkción keresztül valósul meg.
- HALLGATÓ: A készüléket képessé teszi arra, hogy adatokat vegyen egy másik készüléktől.
- FORRÁSOLDALI HANDSHAKE: Az adatátvitel szinkronizálására szolgál, amikor a beszélő-funkció adatbájtokat (mérési adat), vagy a vezérlő-funkció interfész-üzeneteket küld a buszra.
- VEVŐOLDALI HANDSHAKE: Az információ (pl. kijelzendő adatok a hallgató funkció számára, vagy interfész-üzenetek) vételének szinkronizálására szolgál.
- KÉSZÜLÉKTÖRLÉS: Lehetővé teszi, hogy a műszer készülékfunkcióját a vezérlő egy előre meghatározott alapállapotba helyezze.
- KÉSZÜLÉKINDÍTÁS: Egy vagy több készülék indítására, vagy egyidejű mérések elkezdésére szolgál.
- TÁVVEZÉRLÉS/HELYIVEZÉRLÉS: Lehetővé teszi, hogy a műszer különböző készülékfunkcióit táv- vagy helyi vezérléssel működtessük.
- KISZOLGÁLÁSKÉRÉS: Lehetővé teszi, hogy egy műszer közölje a rendszervezérlővel, ha valami történt, és kérje a rendszervezélőt a megfelelő speciális művelet végrehajtására.
- PÁRHUZAMOS LEKÉRDEZÉS: Lehetővé teszi, hogy a műszer a nyolc adatvonalon keresztül státuszadatokat továbbítson, miután a vezérlő erre felkérte.

Az IEC busz 16 vezetéke három csoportra osztható.

- ADATSÍN: A nyolc bemenő/kimenő adatvezeték (DIO 1-8) adatbájtok, címek, programutasítások, státuszbaítok és speciális buszparancsok átvitelére szolgál. Egy adatbájt nyolc párhuzamos adatbitből áll. Az IEC buszon történő adatátvitel bájt-soros, bit-párhuzamos. Az adatátvitel kétirányú, aszinkron rendszerű. A maximális átviteli sebesség 1Mbájt/sec.
- ADATBÁJT TOVÁBBÍTÓ VEZÉRLŐSÍN: Az üzenetek átvitele az adatbájt-átvitelt vezérlő (handshake) vezetékek segítségével történik adatmódban és parancsmódban egyaránt. Egy adatbájt átvitele során a forrásoldali handshake funkció az adó készülék IEC interfészében, a handshake funkció a vevő készülékben aktív. Fontos, hogy, a beszélőnek nem szabad addig üzenetet küldenie, amíg a megcímezett hallgató nem képes azt venni, valamint a beszélő nem működhet gyorsabban, mint a leglassúbb megcímezett hallgató. Ez valósul meg a három handshake vezeték segítségével.

Az adatátvitelt vezérlő handshake vezetékek:

- DAV: Adat érvényes (data valid). Az adó készülék a DAV vezeték igaz szintre állításával jelzi, hogy az adatbuszon az üzenet érvényes, vételre alkalmas.
- NRFD: Vételre nincs kész (not ready for data). A vevő készülékek az NRFD vezeték hamis szintre állításával jelzik, hogy az összes műszer kész egy új bájt vételére.
- NDAC: Adatot nem fogad el (not data accepted). A vevő készülékek az NDAC vezeték hamis szintre állításával jelzik, hogy minden hallgató-készülék vette az üzenetet.

Az NRFD és NDAC vonalra csatlakozó vezetékek huzalozott VAGY kapcsolatban vannak egymással. Az üzenet a buszon ezért csak akkor lehet hamis (magas), ha az ehhez a vezetékhez kapcsolódó minden műszerkimenet magas szinten van. Ha csak egy műszer is nincs kész az adat vételére, akkor az NRFD=igaz (alacsony). Hasonlóan, az NDAC = igaz (alacsony), ha a műszerek közül csak egy is még nem vett adatot.

— Általános interfész-adminisztrációs vezetékek:

- ATN: Figyelem (Attention). A vezérlő az ATN vezetéken jelzi, hogy az IEC busz milyen módban van. Adatmódban (ATN = hamis), vagy parancs módban (ATN = igaz). Adatmódban a DIO vezetékeken készülékfüggő adatok, parancsmódban pedig interfész-üzenetek (címek, speciális buszparancsok) küldése történik.
- IFC: Interfész-törlés (Interface Clear). Csak rendszervezérlő funkcióval ellátott készülék küldhet IFC üzenetet. Ez a vezeték (IFC =

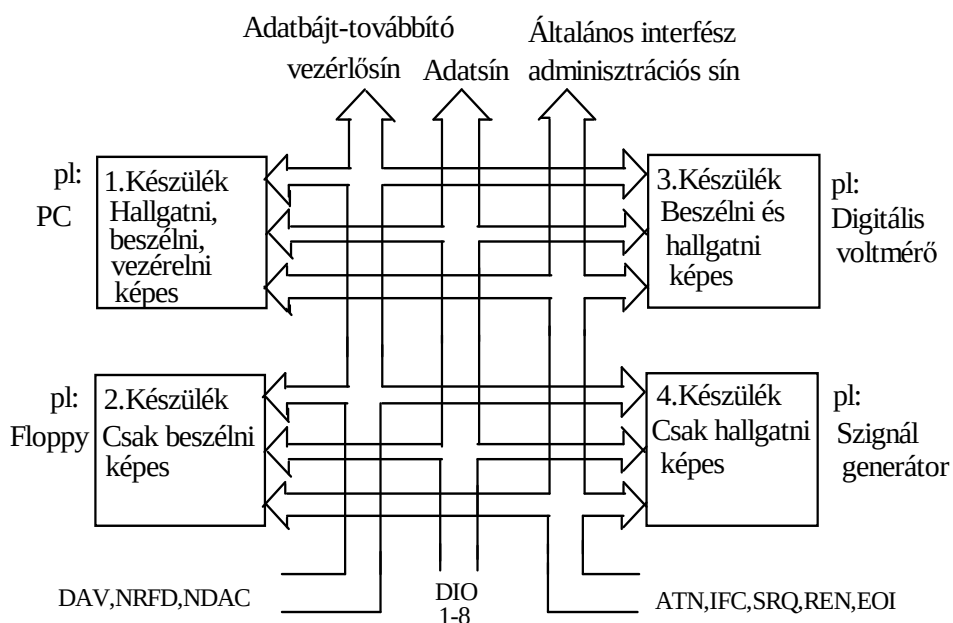
igaz) a rendszer összes készülékének IEC interfészét egy előre meghatározott alapállapotba juttatja. Megszünteti az összes beszélői és hallgatói címzett állapotot. Ha a rendszerben egynél több vezérlő van, akkor az IEC busz vezérlését az IFC üzenetet kibocsátó készülék (rendszervezérlő) kapja vissza.

- REN: Távvezérlés-engedélyezés (Remote Enable). A távvezérlés-engedélyezés vezetéket csak a rendszervezérlő-funkcióval ellátott készülék aktivizálhatja (REN = igaz). A vezeték engedélyezi, hogy a rendszer készülékei helyi vagy távvezérlésű állapotba kerülhessenek. Azok a készülékek, amelyek képesek távvezérelt üzemmódban is működni, akkor jutnak távvezérelt állapotba, amikor REN = igaz szintje mellett megcímződnék hallgatónak. A REN vezeték hamisba állításakor a buszon lévő összes készülék visszatér helyi vezérlésű állapotba. Az olyan készülékeknek, amelyek képesek mind helyi, mind távvezérelt állapotban működni, állandóan figyelni kell a REN vezetéket.
- SRQ: Kiszolgálás-kérés (Service Request). Az olyan készülék, amelynek IEC interfészében van kiszolgáláskérés-funkció, az SRQ vezeték igaz szintre állításával kérhet kiszolgálást a vezérlőtől. A vezérlő ekkor megszakítja az éppen folyó eseménysort és az SRQ-t küldött készülékre figyel. Minden készülék ezen az egy vezetéken jelzi kiszolgálás-kérési szándékát, ezért a vezérlőnek egy soros lekérdezési szekvencia során meg kell határoznia, hogy melyik készülék aktivizálta az SRQ vezetéket.
- EOI: Vége vagy azonosítás (End or Identify). Az EOI vezetékek az ATN-el közösen két funkciója van. Adatmódban (ATN = hamis) a beszélő az EOI vezeték igaz szintre állításával jelezheti, hogy egy több bájtos üzenet utolsó bájtyát küldi a buszra. Parancs módban (ATN = igaz) a vezérlő az EOI vezeték igaz szintre állításával egy párhuzamos lekérdezést hajt végre.

Az IEC buszrendszerre mutat egy példát a 3.ábra.

ÖSSZEFOGLALÁS

Következtetésként elmondható, hogy ha mérési feladataink elvégzése érdekében mérőrendszer kialakítása mellett döntünk, egy olyan eszköz birtokába jutunk, mely rugalmas, könnyen bővíthető, a kezelő számára kényelmessé és könnyűvé teszi a mérés végrehajtását.



3. ábra
IEC buszrendszer

A mérőrendszer fontos eleme a számítógép, mely a rendszerben jelenlévő műszerek vezérlését, az adatok gyűjtését, tárolását és esetleg további feldolgozást végzi. Természetesen mindezt csak az előre elkészített vezérlő programok segítségével képes. Ezek a programok a standard programnyelveken (C, C++, BASIC, FORTRAN, Pascal stb.) készülhetnek. A programozásban kevésbé jártos felhasználók számára jelent könnyebbséget, hogy a nagy műszergyártó cégek a mérésvezérlő programok elkészítését segéd programnyelvvvel támogatják. Ezek tartalmazzák azt a lehetőséget, hogy a standard programnyelveken megírt szubrutinok illeszthetők az adott cég által készített segéd programnyelvhez. Ilyen programnyelvet fejlesztett ki a Hewlett Packard cég is HP-VEE (Hewlett Packard Visual Engineering Environment) néven, melyet a későbbiekben egy konkrét mérésvezérlési feladat tárgyalása során ismertettek.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] BARTHA TAMÁS: Az IEC- BUSZ és alkalmazása. LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest, 1985.
- [2] DR.SCHNELL LÁSZLÓ: Jelek és rendszerek mérés technikája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.

Many kind of measurements can be fulfilled by automatized measuring control if equipment of required quality are available. This method is especially timely in cases when physical presence of the operator is not possible or there is a need of numerous measures within a certain range and further data processing. The author's goal is to highlight the theme in course of a series of papers. The current article is the first of them.

The author would like to arouse the readers' interest in theme by answering the raised question in a certain way after a short summary of theoretic basis.

AZ ELEKTROMÁGNESES KOMPATIBILITÁS

**Teréki Csaba mérnök százados
Szabó Gyula mérnök őrnagy
egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés- és Szervezéstudományi Kar
Fedélzeti rendszerek tanszék**

Az elektromágneses összeférhetőség igen lényeges szempont és egyben feladat is. A kis energiával működő analóg és digitális áramkörök, mikroprocesszorok nagyon érzékenyek az elektromágneses zavarokra, ezért fontos, hogy ismerjük e zavarfajtákat és képesek legyünk hatásuk csökkentésére, illetve kiküszöbölésére. A cikk az elektromágneses kompatibilitás témakörét dolgozza fel az alapvető fogalmakon és felosztásokon keresztül.

BEVEZETÉS

Mindennapi életünk ma már elképzelhetetlen korszerű elektronikus berendezések és rendszerek nélkül. A munkahelyeken személyi számítógépek, elektronikus szövegszerkesztő írógépek, üzenetrögzítők, faxberendezések, fénymásolók, elektronikus személyhívó és jelzőrendszerek stb. segítik a napi munkavégzést. A korszerű, nagy teljesítményű berendezések vezérlését és szabályozását gyors analóg és digitális elektronikai rendszerek végzik, főleg elektronikus folyamatirányító számítógépekkel. Ez az együttműködés felvetette az érzékeny elektronikai berendezések és az erős elektromos és mágneses zavaró terekkel jellemzett környezet egymásra hatásának, összeférhetőségének problémáját. Ezt a problémakört tárgyalja az EMC (electromagnetic compatibility).

Az elektromágneses kompatibilitás az elektromágneses környezetben üzemelő technikai eszközök és berendezések kölcsönhatása, illetve összeférhetősége.

Az elektromágneses környezet eleme akkor mondható kompatibilisnek, ha annak hatását a környezet minden más eleme elviseli. Az elektromágneses kompatibilitás tehát a berendezések, készülékek azon képessége, hogy az adott elektromágneses környezetben rendeltetésszerűen képesek üzemelni.

AZ EMC FELOSZTÁSA

Az EMC tárgyköre két nagyobb részre bontható. Az egyik az elektromágneses zavarvédelemmel (EMI: electromagnetic interference), a másik rész az elektromágneses zavarokkal szembeni érzékenységgel (EMS: electromagnetic susceptibility) foglalkozik [1].

AZ ELEKTROMÁGNESES ZAVARÁS (EMI)

A villamosenergia-elosztó hálózatra csatlakozó berendezések nagy része működése során elektromágneses zavart termel, hiszen szándékosan vagy anélkül az 50Hz-es üzemi frekvenciától eltérő frekvenciájú áram- és feszültségösszetevőket állít elő.

A zavarforrásokat két csoportra oszthatjuk: Az első csoportba azok a berendezések tartoznak, amelyek működéséhez — funkciójuknál fogva — szükséges a nagyfrekvenciás jelek előállítása. Példaként említhetők a nagyfrekvenciás orvosi készülékek. Az általuk keltett zavarjelek frekvencia-spektruma általában keskeny sávra korlátozódik.

A második csoport tagjai nem állítanak elő szándékosan nagyfrekvenciás jeleket, azok nem szükségesek funkciójuk betöltéséhez. A zavaró jeleket itt azok a hatások válthatják ki, melyek a szinuszosztól eltérő áram vagy feszültségváltozást okoznak. Ezen készülékek által keltett zavarjelek frekvencia-spektruma általában széles és folytonos.

Kapcsolók, nem lineáris elemek, vasmagos tekercsek, kommutátoros gépek, tirisztoros berendezések a legjellegzetesebb ilyen típusú zavarforrások.

Mivel az elektromágneses zavarok keletkezése többféle okra vezethető vissza, ezért azok meghatározása összetett feladat. A műszaki gyakorlat úgy próbálja áthidalni ezt a problémát, hogy a termelt zavarokat többféle szempont szerint csoportosítja.

ELEKTRONIKUS BERENDEZÉSEK ZAVARÉRZÉKENYSÉGE (EMS)

A villamos berendezések elektromágneses kompatibilitása szempontjából nem-

csak azok a készülékek nem felelnek meg, melyek túl nagy zavarokat bocsátanak ki, hanem azok sem, melyek túlságosan érzékenyek. A külső eredetű és a készüléken belül keletkező zavarokkal szemben tanúsított érzékenység vizsgálata az EMS témakörébe tartozik. A gyakorlatban azokat a villamos készülékeket minősítik a zavarérzékenység szempontjából elfogadhatónak, melyek meghatározott paraméterű zavarást meghibásodás, illetve hibás működés nélkül elviselnek.

AZ ELEKTROMÁGNESES ZAVAROK FELOSZTÁSA

A ZAVAROK FELOSZTÁSA JELLEGÜK SZERINT

- ZAJ: elsősorban a feszültség-görbe alakját változtatja meg. Periodikus jellegű és frekvenciája nagyobb a hálózattól. Villamos motorok és hegesztőgépek produkálnak ilyen természetű zavarást.
- IMPULZUSOK: a hálózati feszültségre szuperponálódott pozitív és negatív csúcsok. Időtartamukhoz képest nagy amplitúdó jellemzi őket. Jellegzetesen a tirisztoros és relés vezérlések nemkívánatos mellékterméke.
- TRANZIENSEK: időtartama a hálózati frekvencia néhány periódusától néhány másodpercig terjedhet. Nagyteljesítményű fogyasztók ki- és bekapcsolásakor keletkeznek.

A ZAVAROK FELOSZTÁSA FREKVENCIATARTALMUK SZERINT

- Akusztikai zavarás: 0-20KHz-ig, ahol különös jelentőséggel bír az 50Hz-es ipari frekvencia;
- Akusztikai és rádiózavarás közötti sáv: 20KHz–150KHz;
- Vezetett rádiófrekvenciás zavarás: 150KHz–30MHz;
- Sugárzott zavarás: 30MHz felett.

A ZAVAROK FELOSZTÁSA TERJEDÉSI MÓDJUK SZERINT

A zavarokat kétféleképpen csoportosíthatjuk, ha figyelembe vesszük terjedési

módjukat:

- Sugárzott zavar: a készülék mint antenna szerepel, így a zavarjel ezen keresztül kerül kisugárzásra.
- Vezetett zavar: a zavarjel vezetéken keresztül, pl. hálózati kábelben jut be a berendezésbe.

A következőkben a sugárzott zavarokkal kívánunk foglalkozni.

SUGÁRZOTT ZAVAROK

A sugárzott zavarjelek forrását két könnyen kezelhető elméleti modellel, az elektromos és mágneses dipólussal írják le. Ezek egymás komplementereiként viselkednek. Az elektromos dipólus által előállított elektromágneses térben az „E” elektromos térerősség $1/r$, $1/r^2$ és $1/r^3$ szerint, a „H” mágneses térerősség $1/r$, és $1/r^2$ szerint változó komponensekből tevődik össze. Az „r” a forrástól távolodva növekvő radiális távolságot jelenti.[3]

A „ λ ” hullámhossz felhasználásával, bevezetve a $\phi = 2\pi r/\lambda$ elektromos távolságot, megfigyelhetjük a következő ábrán az elektromos térerősség három komponensének relatív változását.

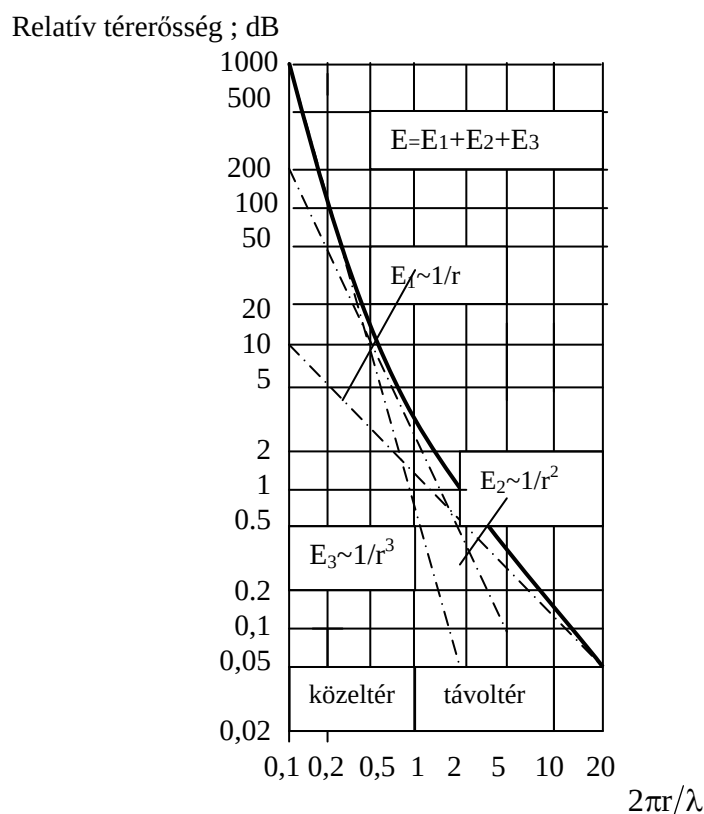
Hasonlóan változnak a mágneses térerősség megfelelő összetevői is. Látható, hogy a $\phi > 5$ tartományban már az $1/r$ szerint változó — ún. távolféri komponens — alapvetően meghatározza az eredő térerősséget. Ezen határon $r = 0,8\lambda$. Az ezen belül eső térrészt köztérnek, az e kívülit távolférinek nevezzük.

Mágneses dipólust használva jelforrásként, az elektromos és mágneses térerősség szerepe felcserélődik.

A hullámhosszhoz képest rövid — szakadással vagy nagy impedanciával lezárt — vezetékek elektromos dipólusként, kis felületet határoló vezető hurkok pedig mágneses dipólusként viselkednek, ami a 2.ábrán látható:

A zajforrás által gerjesztett hullám az elektromos és mágneses térerősségből számított hullámimpedanciával jellemezhető:

$$Z_h[\text{ohm}] = \frac{E}{H} \quad (1)$$



1. ábra

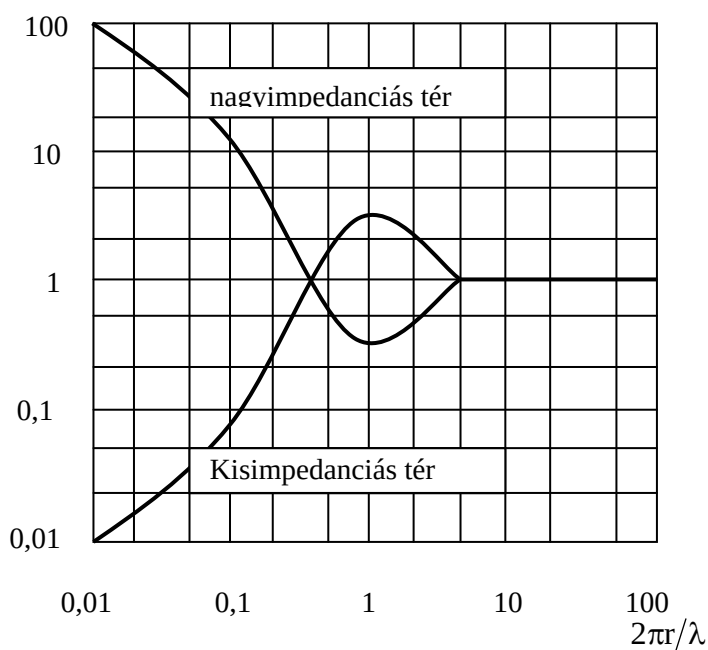
A térerősség komponenseinek változása

Az „ r ” távolsággal és a zajforrás típusától függően változik a hullám impedancia. Ezt illusztrálja a 2. ábra.

A $\phi = 5$ alatti közeltérben az elektromos dipólus nagyimpedanciás, a mágneses dipólus pedig kisimpedanciás hullámot állít elő. A távoltérben a kétfajta forrás hullámimpedanciája megegyező és változatlan, értéke 120π Ohm. A távoltérben kialakuló terjedési formát síkhullámnak nevezzük.

A terjedési közeg jellemzői alapvetően befolyásolják egy elektromágneses hullám terjedését. A hullámteret kitöltő anyag dielektromos tulajdonságait a komplex permittivitással (ϵ), mágneses tulajdonságait a komplex permeabilitással (μ) adjuk meg.

A mennyiségek komplex volta azt jelenti, hogy a terjedő hullámfrontnak mind az amplitúdója, mind a fázisa változhat egy más közegben megtett ugyanakkora fizikai hosszúságú út hatásához képest.



2. ábra

A permittivitás és a permeabilitás segítségével definiálható a közeg specifikus impedanciája:

$$Z_s[\text{ohm}] = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}} \quad (2)$$

Terjedési tényezője:

$$\gamma = j \cdot \omega \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot \mu} \quad (\omega = 2 \cdot \pi \cdot f) \quad (3)$$

ahol: μ_0 és ε_0 — fizikai állandók,

μ_r és ε_r — közeg relatív jellemzői a vákuumhoz képest.

Mindkét közegjellemző lehet komplex mennyiség is.

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 \cdot (\mu_r - j \cdot \mu_k) \quad ; \quad \mu_r - j \cdot \mu_k = \mu_r^* \\ \varepsilon &= \varepsilon_0 \cdot (\varepsilon_r - j \cdot \varepsilon_k) \quad ; \quad \varepsilon_r - j \cdot \varepsilon_k = \varepsilon_r^* \end{aligned} \quad (4)$$

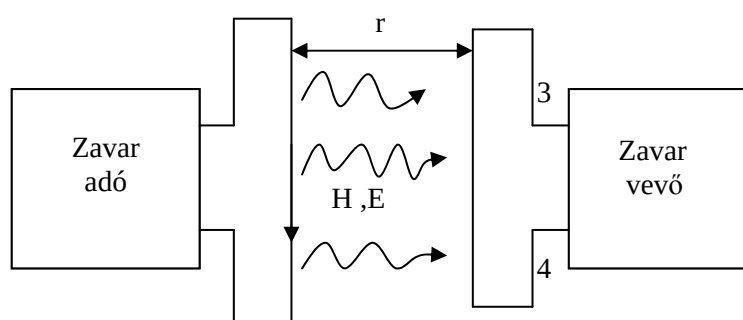
ϵ_r^* és μ_r^* a közeg relatív komplex állandói.

Levegőben:

$$Z_s = Z_0 = 120 \cdot \pi \text{ ohm}, \quad \gamma = \gamma_0 = j \cdot \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}. \quad (5)$$

SUGÁRZÁSI ZAVARÁS

A SUGÁRZÁSI ZAVARÁS ELVE



3. ábra

Zavarforrásként egy, a zavarforrásból kiinduló, szabad térben terjed E elektromos és H mágneses térerősségű hullám.[2]

A hullámhossz, $\lambda = c/f$, ahol „f” a hullám frekvenciája, és $c = 300\,000\text{km/s}$, a terjedési sebesség.

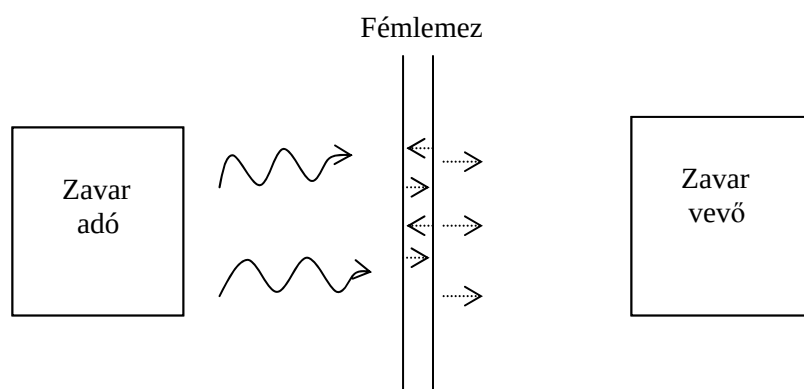
H és E merőlegesek egymásra. A távoli térben ($r \gg \lambda/2\pi$)

$E_0 = 120\pi H_0$, ahol $120\pi \text{ ohm}$ a szabad tér hullám ellenállása. A zavarforrás közelében ($r < \lambda/2\pi$) annak fajtája szerint vagy a H mágneses tér (nagy áramok, kis feszültségek a zavarforrásban), vagy az E elektromos tér (nagy feszültségek, kis áramok a zavarforrásban) van túlsúlyban.

Zavarvevőként két vezeték (3 és 4), amelyekre mint antennára hat a H és E. A két vezeték képezhet hurkot is. Az egyik vezeték lehet földelt, vagy lehet maga a föld. Az antenna viselkedése egy helyettesítő, Z_b belső ellenállású U_0 feszültségforrással írható le.

ÁRNYÉKOLÁS

A sugárzási zavarás árnyékolással csökkenthető [4]. A gyakorlatban kétféle árnyékolási eljárás elfogadott. Az egyik lényege, hogy a zavaradó és a zavarvevő közé beiktatunk egy kellően vastag, nagy felületű lemezt, melyről a zavaró hullámok visszaverődnek, ezáltal megakadályozza, hogy a zavarvevőbe kerüljenek.



4. ábra

A fémlemez egy $Z_0 \approx 0$ impedanciát képvisel, a szabad tér pedig 120π ohm hullámimpedanciát, így a felületen csaknem teljes reflexió jön létre. A fémlemez a hullámok nagy részét visszaveri, kisebbik hányadát a vastagságától függően átengedi. A fémlemez belsejében is reflektálódnak hullámok, melyek fokozatosan csillapítást szenvednek.

A másik árnyékolási eljárás, hogy a zavaradó és a zavarvevő közé olyan anyagot tesznek, amely csaknem teljes mértékben elnyeli az elektromágneses hullámokat. Mivel az elnyelés hőtermeléddel jár, ezért az elnyelő anyagnak akkora felületűnek kell lennie, hogy a megfelelő hőleadás biztosítva legyen.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DIETER STOLL: EMC Elektromágneses zavarvédelem. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [2] TIHANYI LÁSZLÓ: Rádiófrekvenciás zavarok az erősáramú elektronikában. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [3] REINALDO PEREZ: Handbook of Electromagnetic Compatibility
- [4] STEN BENDA: Interference-free electronics

The electromagnetic compatibility (EMC) is one of the most important features of electronic equipment nowadays. The low-energy analogue and digital circuits and processor units are very sensible to electromagnetic noises, therefore it is important to know different kinds of disturbances and be able to weaken or eliminate their effect. This article highlights the field of EMC through basic concepts and classifications.

