

**ZRINYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**

Vonnák Iván Péter

**A repülőtechnika állapot szerinti
üzembentartása, mint a katonai
repülőeszközök fenntartási költségei
csökkentésének leghatékonyabb eszköze**

Doktori (PhD) Értekezés

Témavezető: Professor Dr. Óvári Gyula CSc egyetemi tanár

2010. BUDAPEST

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	4
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK	7
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK	8
KUTATÁSI MÓDSZEREK	9
VÁRHATÓ EREDMÉNYEK	10
I. FEJEZET	
LÉPÉSEK A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEK ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSA FELÉ	11
I.1. A TERVSZERŰ MEGELŐZŐ KARBANTARTÁS SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSI STRATÉGIA FELVÁLTÁSÁNAK INDOKAI.....	11
I.2. A VIZSGÁLT REPÜLŐGÉPEK ALAPVETŐ ÜZEMELTETÉSI ADATAI ÉS MŰSZAKI-TECHNIKAI ÁLLAPOTUK FELMÉRÉSE.....	19
I.3. A REPÜLŐGÉPEK TÉNYLEGES IGÉNYBEVÉTELI SZINTJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA	27
I.4. A VIZSGÁLT REPÜLŐGÉP TÍPUS (MIG-29) ELLENŐRZÉSRE, DIAGNOSZTIZÁLÁSRA VALÓ ALKALMASSÁGA ÉS AZ ALKALMAZOTT DIAGNOSZTIKAI. ESZKÖZÖK, MÓDSZEREK	31
I.4.1. FEDÉLZETI ÉS FÖLDI ELLENŐRZŐ ESZKÖZÖK	32
I.4.2. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK	35
KÖVETKEZTETÉSEK	39
II. FEJEZET	
A TELJES REPÜLŐGÉP ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSRE TÖRTÉNŐ ÁTÁLLÁSA ÁLTALÁNOS PROBLÉMÁINAK MEGOLDÁSA ÉS MÓDSZERTANA	39
II.1. A LÉTEZŐ TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI ÉS NAGYJAVÍTÁSI STRATÉGIÁK, VALAMINT A REPÜLŐTECHNIKA ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSÁNAK ELVEI.....	40
II.2. A REPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETI RENDSZEREI TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI ÉS JAVÍTÁSI STRATÉGIÁI MEGVÁLASZTÁSÁNAK MÓDSZERTANA	48
II.3. A REPÜLŐGÉP SÁRKÁNSZERKEZET TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIÁJA KIVÁLASZTÁSÁNAK KRITÉRIUMAI ÉS MÓDSZERE	61
KÖVETKEZTETÉSEK	74
III. FEJEZET	
A REPÜLŐESZKÖZÖK GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEI ÉS A KÖZLŐMŰVEK DIAGNOSZTIKÁJA VALAMINT ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSUK LEHETŐSÉGEI	75
III.1. A HAJTÓMŰVEK MEGBÍZHATÓSÁGA	75
III.2. GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSÉRE TÖRTÉNŐ ÁTTÉRÉSE	79
III.3. A HAJTÓMŰVEKRE JELENLEG ELFOGADOTT ÜZEMBENTARTÁSI STRATÉGIÁK RÖVID ÁTTEKINTÉSE	80

III.4. A GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ÁLLAPOTÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA ALKALMAS PARAMÉTEREK MÉRÉSE, ELEMZÉSE ÉS AZ EZEKHEZ SZÜKSÉGES TECHNIKAI ESZKÖZÖK	82
III.4.1. VIBRÁCIÓS MÉRÉSEK.....	85
III.4.2. TRIBOLÓGIAI VIZSGÁLATOK.....	91
III.4.3. ENDOSZKÓPOS ELLENŐRZÉSEK	93
KÖVETKEZTETÉSEK	97
ÖSSZEGEZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	103
A KUTATÁSI TEVÉKENYSÉG ÖSSZEGRZÉSE	103
ÖSSZEFOGLALÓ VÉGKÖVETKEZTETÉS.....	104
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	106
AJÁNLÁSOK	107
TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....	107
FELHASZNÁLT IRODALOM	109
MELLÉKLETEK.....	112
1. számú A REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI RENDSZEREI MEGHIBÁSODÁSAINAK HATÁSA A REPÜLÉS BIZTONSÁGÁRA (KOCKÁZATELEMZÉS EREDMÉNYE)	112
2. számú A FEDÉLZETI BERENDEZÉSEK MEGHIBÁSODÁSÁNAK HATÁSA A REPÜLÉS BIZTONSÁGÁRA (KOCKÁZATELEMZÉS EREDMÉNYE).....	115
3. számú A FEDÉLZETI RENDSZEREK, BERENDEZÉSEI, REPÜLŐGÉP SZERKEZETI ELEMEIRE KIVÁLASZTOTT TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIÁK	120
4. számú A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEN ALKALMAZOTT RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK ISMERTETÉSE	141
4.1. SZEMREVÉTELEZÉSEL TÖRTÉNŐ VIZSGÁLATOK (VIZUÁLIS).....	141
4.2. FESTÉKPENETRÁCIÓS VIZSGÁLAT.....	142
4.3. MÁGNESES REPEDÉSVIZSGÁLAT.....	143
4.4. RÖNTGEN VIZSGÁLAT	145
4.5. ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT	147
4.6. ÖRVÉNYÁRAMOS REPEDÉSVIZSGÁLAT	149
4.7. A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA.....	151
FOGALMAK MAGYARÁZATA	153

BEVEZETÉS

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Korunkban a különböző, de különösen a katonai rendeltetésű repülőeszközök üzemeltetési költségei intenzíven növekednek, ezért az élettartam menedzsment kérdése az utóbbi évtizedekben egyre inkább az érdeklődés középpontjába került. A haditechnika élettartama (amely az elérendő célok és a hozzávaló eszközök kigondolásától a rendszerből való kivonásáig terjed) jól elkülöníthető szakaszokra osztható, amelyek magukba foglalnak mindent, amely egy termék gyártásával, értékesítésével, szállításával és a használatából történő kivonásával jár, azaz a kezdeti tervezéstől az ellátási lánc teljes hálózatán keresztül húzódó összes tevékenységet. A fegyverzeti eszközök tervezői, üzemeltetői és fenntartói követelmények és feltételek rendszerének részletes elemzése Dr. Turcsányi Károly [38]¹, az ellátási-lánc menedzsment problémaköre Dr. Keszthelyi Gyula doktori értekezésében található meg [31]².

Az **élettartam-költség menedzsment** az ellátási-lánc menedzsmenttel a gazdaságossági és a terméktulajdonlási viszonyokat jellemzi [31], mely a felhasználó részére aktív tevékenységre, hatékony beavatkozásra biztosít lehetőséget.

A költségeket a felhasználó vagy vásárló szempontjából három nagy csoportra oszthatjuk:

- beszerzési költségek;
- tulajdonlási költségek;
- modernizálás, nagyjavítás, megsemmisítés vagy ártalmatlanítás költségei.

Az értekezésem témája szempontjából a **tulajdonlási** költségek a meghatározók, mivel ezek a haditechnikai eszközök teljes élettartamát átfogják és működtetési, valamint fenntartási összetevőkből állnak össze. (A repülési szakirodalomban inkább az **üzemeltetési** és **üzembentartási** kifejezéseket használják ezért értekezésemben, a továbbiakban én is ezeket fogom alkalmazni. A két fogalom meghatározása a fogalmakat magyarázó fejezetben található.) A repülőtechnikai eszközök **üzemeltetési** ráfordításai jól tervezhetők, mivel azok *a szükséges szerszámok, infrastruktúra, felhasznált fogyóanyagok, a közvetlen élőmunka, a repülőeszközön végrehajtott szerkezeti módosítások, valamint a működtetés során keletkezett hulladék kezelésének költségeiből keletkeznek* [31]². Jellegükből adódóan ezekre a

¹ 21-39. oldalak.

² III. fejezet. [31]

tulajdonosnak, fenntartónak kis befolyása van. A repülőtechnikai eszközöknél a működtetéshez szükséges fogyóanyagok és üzemanyagok, felhasználása képezi a legnagyobb tételt, amely nagysága az éves használat intenzitásától, vagyis az üzemeltetési (kiképzési) tervekben meghatározott céloktól függ. Az adott peremfeltételek teljesülése esetén ez a költség viszonylag állandó. Azonos típusú repülőgépek egy repült órára jutó közvetlen ráfordításai döntő részben a hajtóanyag fogyasztásból adódnak és jól tervezhetők.

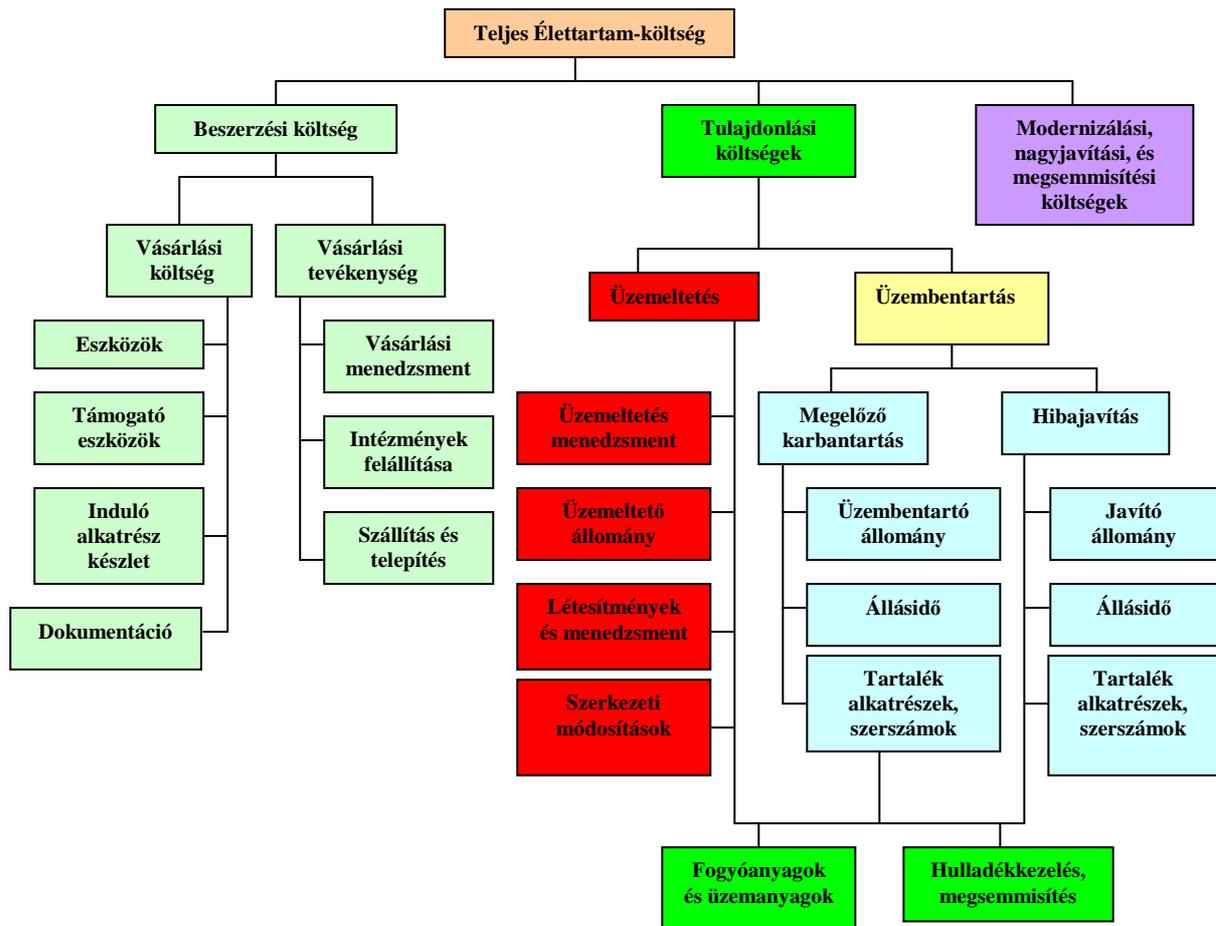
Az **üzembentartási** költségek alapvetően a megelőző karbantartás, a meghibásodások kijavítása és az alkalmazott műszerek, szerszámok és a működtetés során keletkezett hulladék kezelésének ráfordításaiból tevődnek össze [31]³. A megelőző karbantartás és a meghibásodások kijavítása további költségelemekre bonthatók: A munkaerőre, az állásidőre és a tartalék alkatrészek beszerzésére. A megelőző karbantartás technológiáját általában a repülőeszköz gyártója határozza meg, így ennek összege megfelelő pontossággal tervezhető. A meghibásodások kijavításának kiadásai több tényezőtől is függhet. Ezek jellemzésére használható mutatók a két meghibásodás közötti átlagos működési idő (MTBF [35])⁴, a javításokra fordított idő stb., azonban ezek nagymértékben függenek az üzemeltetés feltételeitől, ezért a repülőeszközök beszerzésekor csak iránymutató, összehasonlító adatként vehetők figyelembe [31].

A **modernizálási, nagyjavítási, illetőleg a megsemmisítési költségek**, amelyek közül az első kettő akkor, ha az adott termék használata, üzemeltetése hosszútávon is folytatódik, *jelentősek lehetnek*⁵, a megsemmisítésé pedig a folyamatosan szigorodó környezetvédelmi előírások miatt egyre jobban növekedik. A fentiekben részletezett költségösszetevőket az 1. számú ábrán mutatom be [31].

³ III. fejezet

⁴ 322. oldal: MTBF - Mean Time Between Failures

⁵ Ez a repülőgépiparban az új eszközök beszerzési költségének 30 - 60%-át, mint a rentabilitás határértékét is elérhetik.



1. számú ábra. Az élettartam költségek alapvető összetevői

Az előzőekből látható, hogy az *élettartam-költség menedzselésében* a tulajdonosnak **csak az üzembentartás területén van lehetősége lényeges költségmegtakarítást elérni**, ezért az értekezésemben ennek a lehetőségeit vizsgálom. Ezt a MiG-29(B-UB)⁶ típusú repülőgépet üzemeltetők közül elsőnek, úttörőként elvégzett, a hajtóművein és közlőművein pedig még folyamatban és előrehaladott állapotban lévő üzembentartási stratégiaváltáson, költséghatékonyságot növelő módszerek kidolgozásán és annak bevezetésén keresztül mutatom be. Munkám főbb területei voltak:

1. Roncsolásmentes anyagvizsgálati és diagnosztikai módszerek, eszközök repülőgépen és hajtóművein történő alkalmazási lehetőségeinek kutatása. A kutatás-fejlesztési programba bevont kutatók⁷ és a MH Légijármű Javítóüzemnél kialakított

⁶ № 9-12 B (A); (G/P348)

⁷ Központi Fizikai Kutató Intézet; AID Kft; CEAT Kft; AVIATRONIC Kft

laboratóriumok munkájának koordinálása, irányítása, az eredmények kiértékelése és gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata.

2. A lehetséges üzemtartási stratégiák és adaptálásuk lehetőségeinek vizsgálata.
3. Az alkalmazható anyagvizsgálati és diagnosztikai eszközök és kidolgozott módszerek komplex alkalmazásával az üzemidőhosszabbítás lehetőségének alátámasztása, majd végrehajtása.
4. Az anyagfáradás következtében létrejövő szilárdsági változásokat egyszerűen, de megbízhatóan leíró és sikeres gyári laboratóriumi kísérletekkel is igazolt⁸ számítási modell felállítása, ami a kialakított diagnosztikai képességeket már a műszaki-technikai állapotváltozások prognózisainak elkészítésére is alkalmassá tette.
5. A repülőgép szerkezete teherviselő elemeinek, alkatrészeinek, fedélzeti rendszerek berendezéseinek repülésbiztonsági besorolását egyszerűen biztosító, minél kevesebb szubjektív elemet tartalmazó kockázatelemzési módszer kiválasztása, ami sikeresen megteremti a tényleges állapot szerinti üzemtartás bevezetésének legalapvetőbb feltételeit.
6. Az állapot szerinti üzemtartásra történő átállás módját meghatározó és a magyar fél eredményeit is felhasználó dokumentáció kidolgozásában való részvétel.
7. Az „állapot szerinti üzemtartás” („**on condition maintenance**”) bevezetése, ami többek között a modern diagnosztikai eljárások alkalmazását, a megbízható műszaki-technikai állapotváltozási prognózisok elkészítését, a szükséges ellenőrzések gyakoriságának lecsökkenését, az ipari javítás elhagyását, következésképpen a repülőgépek fajlagos munkaráfordításainak és állásidejének minimalizálását jelenti.[35]⁹

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

Értekezésemben célul tűztem ki:

1. Az repülőgépek műszaki-technikai állapotának felmérésére, állapotprognózisuk elkészítésére felhasználható anyagvizsgálati és diagnosztikai módszerekben rejlő lehetőségek vizsgálatát és annak bemutatását, hogy milyen megoldásokkal,

⁸ ФГУП РСК МиГ; ИЦ ОКБ им.А.И.Микойана.

⁹ 25. és 66. oldalak. Fajlagos állásidő – karbantartás és javítás miatti, egy repült órára vonatkoztatott állásidő; Fajlagos munkaráfordítás – karbantartás és javítás miatti, egy repült órára vonatkoztatott munkaóra szükséglet.

eredményességgel, korlátozásokkal lehet - a repülőgép típusától függetlenül - alkalmazni ezeket az állapot szerinti üzembentartás keretei között.

2. Az állapot szerinti üzemeltetési stratégia elemzését, adaptálásának a repülőgép típusától független alkalmazási lehetőségeit.
3. A repülőeszközök fedélzeti rendszerei, berendezései, teherviselő elemei repülésbiztonsági besorolására a minőségirányítás területén már bevált, kevés szubjektív elemet tartalmazó, de egyszerűen kezelhető kockázatelemzési módszer vizsgálatát, alkalmazásának lehetőségeit.
4. A repülőtechnika lehetséges maximális üzemidejének meghatározását, azaz a tényleges állapot szerinti üzembentartásra történő áttérés biztosítására a gyártó által elfogadható, későbbiekben kísérleti igénybevételi próbákkal is visszaigazolt szilárdsági-számítási modell felhasználhatóságát.
5. A repülőgép hajtóművei és közlőművei megbízható állapotprognózist elősegítő különböző diagnosztikai módszerek komplex, együttes alkalmazási lehetőségei vizsgálatát, adaptálásának lehetőségeit, amelyek a típusoktól független, állapot szerinti üzembentartás alapját képezik.
6. Annak bemutatását, hogy az állapot szerinti üzembentartás tényleges költségei összemérhetően kisebbek, mint a hagyományos, tervszerű megelőző karbantartás ráfordításai.

KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

1. A megfelelő diagnosztikai képességek megteremtésével és a helyesen megválasztott anyagvizsgálati módszerek, eszközök alkalmazásával a repülőtechnikáról – a típusától függetlenül - megbízható állapotprognózist lehet készíteni, ami megalapozza a repülőtechnika tényleges állapotán alapuló üzembentartási stratégia kidolgozását, illetőleg a tényleges állapot szerinti üzembentartás gyakorlati megvalósítását.
2. A repülőiparban a fedélzeti rendszerek és berendezéseik repülésbiztonsági kockázatának meghatározására még eddig nem alkalmazott, de a minőségirányítás területén¹⁰ már jól bevált kockázatelemző módszert az üzembentartási stratégia meghatározására is fel lehet használni. Ez elősegíti a tényleges állapot szerinti üzembentartás eredményes megvalósítását, ami - elsősorban azon üzemeltető országok esetében, amelyek nem rendelkeznek saját repülőgép iparral és az importból beszerzett

¹⁰ Minőség, megfelelés szabályozás [30]

repülőgépeiket csak importált alkatrészekkel, a gyártó által meghatározott módon üzemeltethetik – üzemeltetési költségeiket jelentősen csökkenthetik.

3. A szilárdságtanban a repülőeszközök teherviselő elemei maximális ideig való üzemeltetési lehetőségeinek meghatározására található, az eddig általánosságban megismerteknél egyszerűbb, de megfelelő megbízhatóságú számítási modell, amely a gyakorlatban jól alkalmazható és a fárasztási (törési) kísérletekkel is visszaigazolható.
4. A hajtóművek és közlőművek tényleges állapota az eddigi gyakorlatban elfogadott és felhasznált jellemzőinek elemzésével és a modern diagnosztikai eszközök céljainknak megfelelő átalakításával, majd a kapott adatok integrált, számítógépes feldolgozásával jól meghatározható. Ezekre alapozva megbízható állapotprognózisok készíthetők el, tehát a tényleges állapot szerinti üzemeltetés típusoktól függetlenül is megvalósítható.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

1. Tanulmányoztam az értekezésem témájához kapcsolódó magyar és idegen nyelvű szakirodalmat, az interneten megtalálható tudományos cikkeket, jegyzeteket.
2. Rendszereztem a témában megszerzett ismereteimet.
3. Vizsgáltam a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek repülőeszközökön való alkalmazásának és a gyakorlati bevezetésének lehetőségeit.
4. Részt vettem a repülőgépet gyártó és a tervezőiroda értekezésem témáját érintő dokumentációjának kidolgozó munkájában, valamint irányítottam az állapot szerinti üzemeltetési stratégia gyakorlatban - a Magyar Honvédségnél - történő bevezetését.
5. Részt vettem korábban a „SINUS” fedőnévvel a MiG-21 és a MiG-23, később a „RÉVHÁZ” elnevezésű, a MiG-29 hajtóműveivel foglalkozó kutatás keretében - a CEAT Kft-vel (**K**özponti **F**izikai **K**utató **I**ntézet) együttműködve – “A Rezgésdiagnosztikai Mérő és Elemző Rendszer a MIG-29 Típusú Repülőgépek RD-33 típusú Hajtóművei Műszaki Állapotának Meghatározására” elnevezésű kutatási programban.
6. A Magyar Honvédség és az „AID”Kft „VÉGVÁR” fedőnevű közös kutatás-fejlesztési programja keretében vizsgáltam a hajtóművek és segédberendezés-házak (közlőművek) „Tribológiai” mérési eredményeit, az állapotprognózis felállításában betölthető szerepét és az üzemeltetésre való hatásait.

7. Feldolgoztam a Magyar Honvédség és a Központi Fizikai Kutató Intézet, valamint az „AVIATRONIC” Kft.-vel közösen, a roncsolásmentes anyagvizsgálati területeken folytatott kutatás-fejlesztési programok anyagait. („TOLMÁCS” fedőnevű kutatási program)

VÁRHATÓ EREDMÉNYEK

1. Az állapot szerinti üzemeltetés a repülőgép sárkányszerkezete és fedélzeti rendszerei üzemeltetési költségeit jelentős mértékben csökkentik. Ezt alátámasztja az a tény is, hogy a Magyar Honvédség erre történő áttérését követően nem sokkal – a diagnosztikai vizsgálataink magas színvonala és megbízhatóságának köszönhetően – a jelentős erőforrásokat igénylő időszakos ellenőrző-helyreállító munkálatokat az eredetileg előirányzott [18] 1000 repült óra helyett - a gyártó egyetértésével - 1400 óránál végezhetjük el. Ez jelentős üzemidő nyereséget és költségcsökkenést jelent.
2. A repülőgép sárkányszerkezetére és fedélzeti rendszereire kidolgozott átállási modell „típus-független” és a jövőben bármelyik repülőeszközön bevezethető.
3. A hajtóművek és közlőművek esetében a kutatás a „meghibásodási profiladatok” gyűjtésének időszakában van. A kellő nagyságú adatbázis rögzítése és feldolgozása után már nem csak az eddigi üzemidő hosszabbításokra lesz lehetőség, hanem az állapot szerinti üzemeltetésükre is. A hajtóművek és közlőművek esetében is igaz, hogy az állapot szerinti üzemeltetési stratégia, amennyiben a diagnosztikai eszközöket és módszereket az adott sajátosságok figyelembevételével alakítjuk ki, akkor más típusok esetében is eredményesen bevezethető.
4. Az értekezésben tárgyalt módszer a költségek jelentős csökkentésén kívül hozzájárul a még nemzetközileg is elismerten fejlett repülőműszaki kultúránk és a ma még meglévő munkahelyek megőrzéséhez, szélesebb körű alkalmazása esetében, pedig új munkahelyeket teremt.

I. FEJEZET

LÉPÉSEK A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEK ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSA FELÉ

I.1. A TERVSZERŰ MEGELŐZŐ KARBANTARTÁS SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSI STRATÉGIA FELVÁLTÁSÁNAK INDOKAI

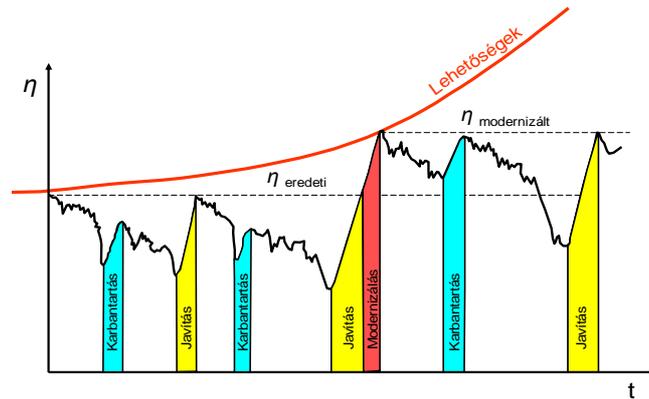
A tervszerű megelőző karbantartás¹¹ szerinti üzembentartási stratégia elemei általánosságban:

- karbantartás (a megbízhatósági szint tartása);
- javítás, felújítás (a megbízhatósági szint helyreállítása);
- modernizáció (a tudományos-technikai haladás eredményeinek megfelelően a műszaki jellemzők kedvezőbb szintre való emelése).[35]¹²

Az 1.1 ábrából látható, hogy a fentiek hogyan befolyásolják a repülőgép műszaki állapotát, de kiolvasható az is, hogy az üzemeltető költségei akkor csökkennek, ha a repülőgép üzembentartása során a karbantartások és a javítások száma kevesebb, a közöttük eltelt idő, pedig nagyobb. Tekintettel arra, hogy a tervszerű megelőző karbantartás technológiáját a gyártók határozzák meg, az üzembentartók ettől eltérni nem tudnak, következésképp az üzembentartási költségeiket alapvetően a repülőgép gyártója és javítóvállalata határozza meg.

¹¹ Meghatározását lásd a „fogalmak meghatározása” című fejezetben!

¹² 22. oldal



1.1 ábra A karbantartás, felújítás, javítás és modernizáció hatása a repülőtechnika műszaki állapotára [35]¹³

Ahol: a η - műszaki állapot jellemzői,

η_{eredeti} - vagy tervezett rendszer műszaki megbízhatóság szintje,

$\eta_{\text{modernizált}}$ - a modernizált rendszer megbízhatósági szintje,

η_{min} - a típus műszaki megbízhatósági minimuma,

η_{tq} - a típus teljes megbízhatósági szintje,

t - a típus erkölcsi elévülési ideje

Azonban a tudomány és a technika rohamos fejlődése az anyagvizsgálati és a diagnosztikai eszközök, módszerek fejlődését is eredményezte. Ez a repülőgép üzemeltetők számára már megteremtette az érvényben lévő üzemeltetési stratégia megváltoztatásának, ezzel a költségeik csökkentésének lehetőségét. Ezt a folyamatot mutatom be a Magyar Honvédség repülőeszközeinek üzemeltetése területén végzett kutatásokon keresztül.

A MiG-29 típusú repülőgépeket a Magyar Honvédség részére 1993 őszén szállították le. A gyártóval megkötött szerződés értelmében a repülőgéppark, mint komplett logisztikai rendszeregység került átadásra, amelynek kiemelten fontos részét képezte a repülőgépeinkre előírt „**Tervszerű Megelőző Karbantartás**” üzemeltetési stratégia.

A szerződésnek megfelelően három szinten valósult meg a típus rendszerbeállítása és üzemeltetése:

1. „**O**” – „**operational level**” szint: az üzemeltető századnál. A repülés kiszolgálásával összefüggő előkészítő kisebb mélységű, de nagyobb gyakoriságú karbantartási, ellenőrzési munkák.

¹³ 23. oldal

2. **„I” – „intermedial level”** szint: a repülőeszköz javító századnál. Nagyobb mélységű ellenőrzések, karbantartási munkák és csapat szintű javítások.
3. **„D” – „depot level”** szint: ipari javítás. A repülőgépek, valamint az üzemidős és a meghibásodott berendezések ipari javítása.

A csapat szinten végrehajtandó munkapontok felsorolását és azok gyakoriságát az „Egységes Műszaki Kiszolgálási Szakutasítás” határozza meg. A végrehajtás módját a „Technológiai lapok” részleteiben tartalmazzák, amelyekben a munkák során alkalmazandó eszközök felsorolását is feltüntették. A „Technológiai lap”-okban rögzítették a mérendő műszaki jellemzők névleges értékeit, a tűrésmezőket, aminek alapján történhet meg az ellenőrzött rendszer, berendezés, szerkezeti elem műszaki-technikai állapotának minősítése.

A bonyolultabb rendszerek ellenőrző berendezéseit - a kezelési utasításaikban és a technológiai lapokban előírtak szerint - minden ellenőrzéskor kötelezően használni kell.

Az üzemben tartó század jogosultsági körébe tartozó ellenőrzések, karbantartási és kiszolgálási munkák a következő előkészítési formák keretén belül valósultak meg:

- **heti előkészítés** (típusüzemeltetési tapasztalatok alapján, a MH Repülőműszaki Szolgálatfőnök saját hatáskörében vezette be). Célja meggyőződni a repülőgép és rendszereinek üzemképességéről, azok előírásos állapotáról és a karbantartási, ápolási műszaki munkák elvégzésén túl előkészíteni a repülőgépet az adott hét kiképzési repülési feladataira;

- **repülés előtti** (napi) munkák. A repülőgép előkészítése az adott nap repülési feladataira. Célja meggyőződni a repülőgép rendszereinek működőképességéről. A repülőgépek rendszerbeállítását követően a fedélzeti rendszerek földi, „meleg” működtetési idejének csökkentésére, a többi szakág-mérnökkel egyeztetett javaslatomra, a gyártó által előírtak felülvizsgálatával, az MH Repülőműszaki Szolgálatfőnök a végrehajtandó munkák mennyiségét jelentősen lecsökkentette. Ez azért vált lehetővé, mert a fedélzeti rendszerek - repülési feladatok előtt történő álló hajtóműveknél végrehajtott - ellenőrzése a hajtóművek indítását követően közvetlenül, újra és automatikusan ismételt megtörténik. Következésképp az álló hajtóműveknél végrehajtott „meleg ellenőrzések” járó hajtóműnél való ismételt elvégzése csak a hajtómű üzemidő és tüzelőanyag teljesen felesleges pazarlását jelenti;

- **ismételt feladatra történő előkészítés**, célja a repülőgép felkészítése a következő repülési feladatra. Műszaki munkavégzés jellege szerint ez alapvetően kiszolgálási tevékenységet takar;

- **repülés utáni előkészítés**, célja a repülés közben bekövetkezett meghibásodások okainak feltárása, azok kijavítása és a repülőgép előkészítése egy következő repülési feladatra, melynek időpontja és sajátosságai az adott időpontban még nem ismertek. A műszaki munka jellege szerint ez meghatározóan kiszolgálási tevékenység;

- **tárolási munkák**, célja a valamilyen ok miatt (anyaghiány, időszakos munkára, javításra várakozás, hadrenden felüli, stb.) repülésre tartósan nem tervezett repülőgép állagmegóvása;

- **karbantartási munkák** a repülőgép extrém igénybevételnek kitett rendszereinek és elemeinek, csomópontjainak meghatározott időközönként végrehajtott ellenőrzése, karbantartása. Az előírt műszaki tevékenységek közül, mint a legjellemzőbb feladatot a javító század szintjén hajtják végre a 200 órás időszakos ellenőrzéseket. A vizsgálat alá vont típus rendszereinek egy részénél a karbantartási munkákat csak 400, illetve 600 óránként szükséges elvégezni, azonban néhány ellenőrzési feladat végrehajtása már 100 óránként válik esedékessé.

A hajtóművek ellenőrzését a rendszerbe állítás kezdeti időszakában 25 óránként, bizonyos közlőmunkák és ellenőrzések elvégzése után már csak 50 óránként kell végrehajtani.

A rendszerbe állított MiG-29 típusú repülőgépek - az akkor érvényben lévő szakutasítás értelmében - az első ipari javításig 800 órát - 9 év alatt - a javítások között szintén 800 órát, de 8 év alatt repülhettek volna. A sárkányszerkezetre vonatkoztatott össztechnikai üzemidő¹⁴2500 óra, és 20 év volt. A fedélzeti rendszerek döntő többsége a repülőgéppel megegyező üzemidő kondíciókkal rendelkezett, azaz a repülőgéppel együtt, azonos ideig üzemelhettek. Néhány kulcsfontosságú berendezés üzemideje azonban az első javításig eltér a repülőgépétől. Így például:

- az **RD-33** típusú hajtóművek üzemideje a hajtómű gyártási sorozatától függően, a törzskönyvében rögzítetten az első javításig **350 óra / 8 év**;
- a **KSzA-2** (közlőmű) berendezés üzemideje a berendezés gyártási sorozatától függően, a törzskönyvében rögzítetten (jellemzően) **500 óra / 9 év**;
- a futószárak esetében jellemzően **800-1200 leszállás / 10 év (B-UB)**;

¹⁴ Üzemidő meghatározását lásd a „fogalmak meghatározása” című fejezetben!

- a hidraulikus **kormányműködtető munkahengerek** (továbbiakban: kormánygépek) ugyancsak a gyártás sorozatszámától függően változó, a magyar repülőgépekre jellemzően **1000 óra / 10 év** javítások közötti üzemidőkkel rendelkeztek.

Az ilyen szórt és üzemidő átfedésekkel rendszerben tartott repülőgép típusok esetében a műszaki megbízhatósági szint fenntartása többletköltségekkel jár. Ezt mutatja az alkalmazott „**Tervszerű Megelőző Karbantartás**” üzembentartási rendszere is, amelyben a repülőgép javításközi üzemidejétől nagyobb üzemidőkkel - *üzemidő tartalékokkal*- rendelkező berendezéseket a repülőgép soron következő ipari javítása során állapotuktól függetlenül is nagyjavítják, vagy cserélik.

Az ipari javítás végrehajtása a tervező intézet, illetve a gyártó által előírt technológia szerint történik. A munkálatok felsorolása tartalmazza mindazon szerkezeti elemek, berendezések, részegységek ellenőrzését, kijavításának módját, kötelező cseréjét, amelyek a tervezett igénybevételek ellenére olyan mértékben elhasználódnak (kopás, szerkezeti elemek fáradása, korrózió, kristályközi korrózió stb.), hogy az adott szerkezeti elem meghibásodása - a soron következő ipari javításig - nagy valószínűséggel bekövetkezik.

A **Tervszerű Megelőző Karbantartás** üzembentartási stratégia a repülőeszközök műszaki kiszolgálásában (karbantartás) elterjedt. A gyakorlati életben jól bevált, az üzembentartó szakállomány világszerte több évtizede ismeri és a repülőeszközök kiszolgálásának többsége ennek alapján folyik. Alkalmazása nagy megbízhatóságot garantál, amely a repülőeszközök hadrafoghatóságának magas szintjén túl a repülés biztonságára is pozitív hatást gyakorol. Meghatározó tény, hogy az előírt gyakorisággal végrehajtott ipari javítások nagymértékben képesek kompenzálni az üzemeltetők szintjén elkövetett üzemeltetési, üzembentartási hiányosságok káros hatásait. Ugyanakkor a repülőgépek valóságos igénybevétele és az üzembentartás körülményei nagyban eltérhetnek a tervezési követelményektől, így az egyes repülőgépek és hajtóműveik tényleges igénybevételei szintjei és a műszaki-technikai állapotuk nagyban különbözőek lehetnek. Ezért van az, hogy a repülőeszköz és rendszereinek tényleges műszaki **állapotától függetlenül**, feleslegesen hajtják végre a gyártó által előírt munkálatokat, ellenőrzéseket, berendezéscseréket, hisz az adott berendezésekben, rendszerekben jelentős „**üzemidő tartalékok**” maradhatnak. Ezen üzemidő tartalékok az üzemeltető számára egyértelműen elvesznek. Azonban az is előfordulhat, hogy valójában a tervezéskor számított

igénybevételi szinthez képest nagyobb túlterhelésekkel (bemutató műrepülések) rpültetjük a repülőgépeket, tehát relatíve „**túlüzemeltetjük**” [58].¹⁵

Amennyiben az előzőekben bemutatott „elveszett” üzemidő tartalékokkal és a feleslegesen elvégzett munkálatok erőforrás igényével is számolunk, akkor látható, hogy ez a kiszolgálási stratégia az üzembentartó által elvárható optimálisnál jelentősen költségesebb [5].

A stratégia további hiányossága, hogy az előírt túlzottan sok ellenőrzés végrehajtása miatt a fedélzeti rendszereket sokszor meg kell bontani, ami önmagában hordozza a hibás munkavégzés lehetőségét és annak negatív következményeit (például: a hermetikusság leromlása). A repülés biztonsága szempontjából még veszélyesebb, ha repülőgépeken az ellenőrzéseket - a tervezettől ténylegesen nagyobb igénybevétel mellett - csak az előírt periódusokban és időben hajtják végre. Ilyen körülmények között a repülőgép, de főleg a sárkányszerkezet műszaki-technikai állapota valószínűsíthetően a tervezettnél már korábban rosszabb állapotba kerül, tehát „relatív” túlüzemeltetett lesz, ami súlyos következményeket is eredményezhet. A MiG repülőcsalád esetében ennek előfordulási valószínűsége igen csekély, mivel a gyártó az ellenőrzési és javítási munkák gyakoriságát nagy műszaki üzemidő és működési tartalékok figyelembevételével határozta meg. Ezen kívül a repülőgépeknek - a harcirepülőgépek kiszolgálásának esetében kiemelten - magasabb a „minőségirányítási” követelménye, tehát a technológiák kidolgozottsága, a munkavégzés szervezettsége jóval meghaladja a gazdasági élet egyéb területeire jellemző színvonalat.

Összességében a tervszerű megelőző karbantartási és üzembentartási stratégia az optimálisnál jelentősen költségesebb, hisz a kötelező berendezéscserék, javítások végrehajtásakor még nagy üzemidő tartalékok maradnak bennük, azaz az indokoltnál jóval korábban végrehajtott nagyjavítások miatt az üzemeltetők üzemidő veszteséget szenvednek, ami relatíve plusz költséget jelent, azonban a hadrafoghatóságra és a repülés biztonságára jelentős pozitív hatást gyakorol [58]¹⁶.

Tekintettel a MiG-29 átvételekor már megmutatkozó gazdasági és finanszírozási nehézségekre a volt MH Repülőműszaki Intézet és az MH Repülőműszaki Szolgálat akkori vezetése¹⁷ úgy döntött, hogy megváltoztatja a már megszokott üzembentartási stratégiát és ezzel felvállalja az új stratégia bevezetésével járó kihívásokat.

¹⁵ 76.oldal

¹⁶ 76.oldal

¹⁷ Hollósi Nándor okl.mérnök tábornok; Jobbik István; Keszthelyi Gyula (későbbiekben: Baksa Kálmán; Veres István) okl.mérnök ezredesek.

Kezdetől fogva világos volt, hogy a MiG-29-es repülőgép nem csak a hagyományos, hanem más, gazdaságosabb stratégia szerint is üzemeltethető, de ennek bevezetését **csak a gyártóval szoros együttműködésben lehet majd megvalósítani** [5]. A MiG-29-es típusú repülőgépek - az ország légvédelmi rendszerében korábban rendszeresített és megismert MiG tervezőiroda vadászgépeitől - sok tekintetben különböznek. Erre a harci eszközre már jellemző a digitális technika széles körű alkalmazása és a korábbiaknál sokkal fejlettebb beépített önellenőrző, állapotfigyelő-felügyeleti rendszerekkel és korszerű - nagy mennyiségű adat tárolására is képes - fedélzeti adatrögzítővel lettek felszerelve. Az ezekből nyert adatok földi kiértékelését a gépek átvétele után már hamarosan - az AVIATRONIC Kft-vel közös fejlesztésű szoftverrel működtetett, modern számítástechnikai eszközökkel - még magasabb szinten voltunk képesek elvégezni¹⁸.

Elviekben az **állapot szerinti üzembentartási stratégia** előnyei, alkalmazásának általános feltételei és lehetséges hátrányai nem voltak teljesen ismeretlenek [26]. Az USA-ban és nyugat Európában a 70–80-as évektől kezdve fokozatosan elkezdődött ilyen filozófiára épített, vagy legalábbis annak nevezett, vagy ezen irányba fejlődő üzemeltetési stratégiák kidolgozása. Ezek elterjedése mindenekelőtt azoknál az új típusoknál volt ez lehetséges, amelyeknél már tervezésekor ezt alapkövetelményként elő is írták. Tehát, ha más feltételek között is és más tartalommal, de már működött a világban ilyen jellegű stratégia, melynek pontos részletei akkor még nem voltak számunkra ismertek.

A költségvetési források alakulása a rendszerváltás utáni években, de különösen 1993-tól - a típus rendszerbeállításakor - előre vetítette, hogy a MiG-29 típus ipari javításának fedezete nem teremthető elő, még akkor sem, ha a gépek ipari javításait sikerülne három – négy éves időtartamra széthúzni. A gyártó **5 millió USD** áron vállalta a repülőgép ipari nagyjavítását, amely nem tartalmazta a hajtóművek javítási költségeit. A teljes javítási költség repülőgépenként (hajtóművek és egyéb üzemidős berendezések javításával együtt) meghaladta volna a **7 millió USD-t**. Ezek az összegek gyakorlatilag tükrözik azt az általános elvet, hogy a katonai repülőgépek, helikopterek ipari javítása a beszerzési ár körülbelül 30%-ba kerülhet, de 60%-t nem haladhatja meg. Az 1993-ban elvégzett számvetés szerint a teljes

¹⁸ A "LUCS-71" rendszert kiváltotta a **TISZA-29**. (A **TESZTERREL rögzített repülési jellemzők Integrált Számítógépes Analízise**) fantázianevű számítógépes rendszer, mely rendelkezik a számítógépes adatfeldolgozás, elemzés és archiválás előnyeivel. Emellett kialakításra került egy hordozható kézi számítógépes adatbeolvasó és gyorskiértékelő berendezés (TAVASZ – később TEKI, majd MAKI nevet kapott), melynek feladata az MN-P beolvasó magnó és BK-2 kazetta kiváltása, egyben a repülőgép melletti, két felszállás közötti gyorskiértékelés végrehajtása. (lásd még a 28. oldalt!)

géppark javítása 3–4 éves időszakra elnyújtva, amikor még 28 db repülőgéppel számolhattunk, legjobb esetben is mintegy **196 millió USD-t**, akkori átváltási értéken **38-39 milliárd Ft-ot** emésztett volna fel. Azonban a nagyjavítások esedékességének idején és az azt követő években az egész légierő összes repülőgép típusára rendelkezésére bocsátott évi 10 milliárd Ft már önmagában jelentős forráshiányt jelentett, ami már az alapvető szükségleteket sem fedezte, tehát a javítások megrendelése lehetetlenné vált. Ez volt a legerősebb tényező, ami kikényszerítette egy költségtakarékosabb üzemeltetési rendszer keresését, majd a bevezetését.

A környező MiG-29-est üzemeltető országok közül egyedül a német „Luftwaffe” indult el hozzánk hasonló úton [9]. Amikor az újra egyesült Németországban megszületett a döntés a volt NDK MiG-29-eseinek rendszerbeállításáról, kormányzati szinten megjelent az a követelmény is, hogy a gépek fenntartási költségeit annyira kell leszorítani, hogy az ne haladja meg a Tornádó típusú repülőgépek fenntartásának erőforrás igényét.

A németek - a repülőgép gyártójával, tervezőintézetével szoros együttműködésben, - saját ipari bázisukon tervezték kialakítani az új üzemeltetési stratégiát, amely megőrizte az eredeti műszaki üzemeltetés¹⁹elemeit, de jelentősen redukálta az ipari javítás során elvégzendő munkák mennyiségét, valamint a csapatnál végrehajtandó munkák gyakoriságát. Az újonnan kialakított rendszer működtetésének későbbiekben is alapfeltétele lett volna a repülőgép gyártójával, tervezőintézetével való állandó és folyamatos kapcsolattartás, információcseré. Egyéb módon az elvárt repülésbiztonsági szintet szerintük sem lehetett volna biztosítani.

Részben a pozitív németországi tapasztalatok, azaz, hogy lehet másképpen, de olcsóbban, biztonságosan, valamint az új megrendelő országok - a gépek beszerzésekor támasztott új követelményei - a gyártót is egészen más helyzet elé állították. A tervezőintézet üzemeltetés kidolgozásáért felelős részlegénél is más gondolkodású szakemberek bevonása vált lehetségessé, akik már korábban - a saját tapasztalataik alapján - megtudták, mit jelent korlátozott erőforrások mellett és a régi üzemeltetési stratégia korlátjai között fenntartani egy gépparkot. Ez és a Magyar Honvédség saját kutatási, valamint a diagnosztikai eredményei miatt 2001 táján a gyártó már hajlandóságot mutatott arra, hogy az elvárásainknak megfelelő üzemeltetési stratégia kidolgozásában velünk együttműködjön. Így első lépésként elkezdhetjük a hazai MiG-29-s repülőgéppark műszaki-technikai állapotának felmérését.

¹⁹ A műszaki üzemeltetés meghatározását lásd a „fogalmak meghatározása” című fejezetben!

I.2. A VIZSGÁLT REPÜLŐGÉPEK ALAPVETŐ ÜZEMELTETÉSI ADATAI ÉS MŰSZAKI-TECHNIKAI ÁLLAPOTUK FELMÉRÉSE

Először a gyártó rendelkezésére álló nagy mennyiségű adathalmaz alapján elkészített követelményrendszert kellett összehangolni a saját technikai lehetőségeinkkel. Azaz a hosszú évek alatt korábban kidolgozott roncsolásmentes anyagvizsgálati, laboratóriumi lehetőségeinket a konkrét szerkezeti elemek vizsgálataihoz kellett adaptálni, gyakorlati alkalmazhatóságukat leellenőrizni, majd a kísérleti mérések alapján a gyártóval elfogadtatni.

Az ellenőrzések tömeges és folyamatos elvégzéséhez még szükség volt a fedélzetről nyerhető információk megbízható feldolgozására is. A gyártó jelenlévő mérnökei a legelső mérések során összevetették saját – nehezebben kinyerhető - adataikat az általunk elkészített kiértékelésekkel, amely azt eredményezte, hogy a továbbiakban e területen is az általam javasolt technikánkat és módszereinket alkalmazhattuk. (lásd: 17. oldal! „TISZA-29”)

A felmérések kezdetekor a Magyar Honvédség 27 db, 1993-ban kibocsátott²⁰ MiG-29 típusú repülőgéppel rendelkezett, amelyből 21 db harci (együléses) és 6 db oktató-harci (kétüléses) repülőgép volt. Egyeztetések, tárgyalások eredményeképp 2001. év végén megtörtént 17 db repülőgép (ebből 4 db oktató-harci kétüléses) állapotának felmérése. Elsődleges cél az üzemidő meghosszabbítás lehetőségeinek meghatározása volt.

A kitűzött célt elértem, hisz a vizsgálatok eredménye alapján a gyártó az üzemidős intézkedését módosította. Első nagy-javításig az üzemidőket 800 repült órától 1100 órára, a naptári üzemidőt pedig 9 évről 12 évre növelte meg.

A gyártóval közösen kialakított és a javaslataimat is magába foglaló ellenőrzési technológia szerint végrehajtott állapotfelméréseink eredményeit az 1.1. és 1.2. számú táblázat tartalmazza. Az adatok szerint az üzembe helyezés kezdetétől teljesített repült idők a kiképző-harci repülőgépek (UB) esetében 457-614 óra, míg a harci repülőgépek (B) esetében 259-580 óra, a leszállások száma pedig 773-1128, illetőleg 445-874 között változott.

Az 1.1. számú táblázat tartalmazza az egyes repülőgépeken végrehajtott időszakos vizsgákat, a meghatározó üzemeltetési adatokat, (repült idő, leszállások száma, stb.) gépenként összesített feltárt hibákat, meghibásodások és üzemképtelenségek számát (27-42), valamint az anyagfáradás és korrózió okozta meghibásodásokat elkülönítve.

²⁰ A repülőeszköz dokumentációjában deklarált gyártási időpont.

A fedélzeti adatrögzítők által szolgáltatott adatok alapján - a műszaki-technikai állapotfelmérés keretén belül – vizsgáltam a repülőgépek túlterheléseit is.

A 17 repülőgép, megközelítően 14000 felszállásának adatai lettek feldolgozva. Az 1.1. számú táblázat szemlélteti a túlterhelési vizsgálatok intervallumát, amely az üzembe helyezés kezdetétől az értekezésemben tárgyalt technikai állapot felmérés befejezéséig tartott.

Az 1.2. számú táblázat az üzemképtelenségek és meghibásodások elemzését mutatja be. Ebben szemléltetem a feltárt leglényegesebb meghibásodásokat, kiemelten az anyagfáradásból adódó repedéseket, elváltozásokat, azok méreteit és kijavításuk lehetséges módjait.

A táblázatból jól látható, hogy a legtöbb anyagfáradásból adódó repedés a függőleges vezérsík bekötéseinél a 9. számú törzskeretek jobb és bal oldali csomópontjain alakult ki. Az átvizsgált 17 db repülőgépből 11-en (64%) 19 db repedés volt, melyek hossza 17-160 mm között változott. 9 db repülőgépen (53%) a szárnyakon - a szárnytartók síkjában - 18 helyen tüzelőanyag-csepegést, vagy gyöngyözést tapasztaltunk. 5 db repülőgépen (38%), a jobb és bal szárnyakat tartó konzolok felületén az 5. számú törzskeret hátsó részénél lévő magnézium ötvözetű tartókon összesen 10 db repedés keletkezett. A repedések hossza 10-60 mm között változott. 7 db repülőgépen (39%) a jobb és bal függőleges vezérsík 9. számú bordájánál lévő antenna beerősítő tartókon 8 db 20-45 mm hosszúságú repedést állapíthattunk meg, Az összesen 37db repedésből 18 db a szárnyakba épített tüzelőanyag tartályoknál hermetikussági problémákat is idézett elő. (1.1. és 1.2. számú táblázatok)

Azonban a feltárt meghibásodások a teherviselő elemek szilárdságát csak helyileg befolyásolták és a szerkezet teljes teherbíró képességére nem volt jelentős hatásuk [15]²¹. Ezért a helyreállításuk - a korábbról már más repülőgép típusoknál megismert és alkalmazott - „sérüléss-javítási” technológiai eljárások alapján történt meg. Ilyenek a feszültséggyűjtő helyek felszámolása, a szerkezet megerősítése rálapolással, csavarok meghúzása stb. (1.2. számú. táblázat)

3 db repülőgépen a N° 3A jelzésű tartály alsó panelje N° 7. törzskeret síkjában található felerősítő csavarjainál a záródugó alatt (5.12.6100.3052.98) tüzelőanyag-folyást, illetőleg könnyezést (gyöngyözést) tapasztaltunk, amit a már ismert technológiák és módszerek alapján szintén sikerült könnyen kijavítani.

²¹ 19. oldal

3 db repülőgépen a függőleges vezérsíkok 9. számú törzskeret síkjában található beerősítési belső szelvényein súlyosabb hibákat találtunk. Ebből két esetben alakult ki gyűrűs alakú repedés, ami már a tartóelemek cseréjét is szükségessé tette. A harmadik esetben a jobb oldali beerősítésen lévő 17 mm hosszú repedés miatt a 20°-nál nagyobb állásszögön és 0,85 M számnál²² kisebb vagy egyenlő sebességviszony, illetőleg 15°-nál nagyobb állásszögön és 0,85 M számnál nagyobb sebességviszony esetén végrehajtott repülési feladatok után - a repedés pillanatnyi, aktuális hosszának megállapítására - kötelezően végrehajtandó ellenőrzéseket kellett elrendelni.

Két repülőgépen a közlőművet (továbbiakban KSZA²³) beerősítő tartó kis és nagy fülecsei hátsó felületeinek felső hányadában 2 db 5-7 mm hosszúságú repedés volt. A repedések következtében a tartókat ki kellett cserélni. Egy repülőgépen a KSZA jobb oldalán lévő kereszttartó alsó főtartó eleme függőleges részének fülecsei beerősítése két helyen 40 mm hosszúságban repedt meg.

Olyan meghibásodásokat is tapasztaltunk, amelyek a megszokott üzemeltetési körülmények között is egyszerűen sikerült megszüntetni. Ilyen volt a N° 6V számú törzskeret síkjában a 3. számú tüzelőanyag-tartály hegesztési varratánál lévő folyás, (repedés hossza 18mm) amelyet tömítőanyag alkalmazásával sikerült kijavítani.

A saját javítási képességek, lehetőségek, a meglévő eszközök és az alkalmazható hagyományos és a rendelkezésre bocsájtott, a gyártó-javító által jóváhagyott javítástechnológiai eljárások, technológiák kiváló ismerete, a meghibásodások elemzésének magas színvonala lehetővé tették, hogy a repülőgépeket - a gyártó-javító kapacitásának bevonása nélkül - a helyszínen, alapvetően saját kapacitással²⁴ az állapotfelmérés után ki is javítsuk. A fentiek alapján a meghibásodások kijavítását követő kötelező ellenőrzések elvégzése után a gyártó a vizsgált 17 db repülőgép üzemidejét - az ipari nagyjavításuk helyett - korlátozások nélkül **3 évvel és 300 repült órával** meghosszabbította. A korlátozás alól kivételek voltak a függőleges vezérsíkok 9. számú törzskeretei síkjában lévő beerősítési csomópontok repedései, melyek hosszát a kritikus értékek eléréséig minden repülési feladat után le kellett ellenőrizni.

²² Az „M-szám” meghatározását lásd a „fogalmak meghatározása” című fejezetben!

²³ Каробка Самолетных Агрегатов

²⁴ MH Légitársaság Javítóüzem (MH Lé.Jü.)

A repülőgéppark, technikai állapot felmérés utáni üzemeltetési adatai:

1.1 táblázat

№	Gyári szám	Kibocsátás ideje [év;hó;nap]	Össz. Repülési idő [óra]	Leszállások száma [darab]	Az utolsó id.munka végreh. ideje, fajtája [év;hó;nap]	n _y szerinti túlterhelési szint vizsgálatának időintervalluma	Feltárt össz.meghib. száma [darab]		Üzemidő: [óra]	Naptári üz.idő [év]	
							Fáradásos repedések	Korrózió okozta			Tech.áll.felm. után:
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	
1.	27135	93.10.14.	616	1102	200/400órás 98. 12. 17. 399 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	12	37	3	1100	12
2.	27146	93.10.14.	668	1128	200/400órás 2000. 03. 28. 452 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	6	33	2	1100	12
3.	27257	93.11.05.	457	773	200órás 98. 09. 28. 229 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	5	31	2	1100	12
4.	27268	93.11.05.	598	1051	200/400órás 99. 05. 31. 407 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	4	32	3	1100	12
5.	35117	93.09.08.	537	898	200/400órás 2000. 02. 23. 457 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	2	30	3	1100	12
6.	35124	93.09.03.	567	987	200/400órás 2000. 05. 31. 457 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	5	35	2	1100	12
7.	35127	93.09.13.	458	739	200 órás 97. 12. 14. 240 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	4	36	2	1100	12

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	
8.	35149	93.09.10.	477	770	200 órás 98. 05. 28. 240 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	8	30	4	1100	12
9.	35150	93.09.10.	537	857	200/400 órás 2000. 12. 21. 449 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	6	30	2	1100	12
10.	35151	93.08.26.	396	639	200/400 órás Foly. KSZA hiány miatt	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	3	27	3	1100	12
11.	35157	93.09.10.	580	874	200 órás 98. 02. 11. 2236 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	4	29	4	1100	12
12.	35158	93.08.24.	492	793	200/400 órás 2001. 09. 07. 464 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	3	31	3	1100	12
13.	35161	93.10.05.	533	870	200/400 órás 2001. 04. 12. 464 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	3	33	5	1100	12
14.	35182	93.10.05.	424	715	200/400 órás Foly. 424 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	3	28	1	1100	12
15.	35184	93.10.05.	492	791	200/400 órás 2001. 10. 25. 470 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	4	39	5	1100	12
16.	35189	93.10.05.	474	739	200 órás 98. 02. 11. 236 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	3	42	7	1100	12
17.	35192	93.10.21.	259	445	200 órás 97. 11. 04. 235 óránál	1993-tól állapotfelmérés befejezéséig	5	30	9	1100	12

A technikai állapotfelmérés összesített eredménye:

1.2 táblázat

s.sz	Meghibásodások, hiányosságok megnevezése:	Meghibásodott repülőgépek száma:	Meghibásodások, hiányosságok összesített mennyisége:	Méreték (mm)	Meghibásodások, hiányosságok kijavításának módja:
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1.	Repedések a függőleges vezérsík baloldali, № 9 számú törzskerethez csatlakozó beerősítő elem profilján.	11	9	17-160	Feszültséggyűjtő helyek megszüntetése a repedések előfúrásával.
2.	Repedés (17mm hosszban) a függőleges vezérsík jobboldali, № 9 számú törzskerethez csatlakozó beerősítő elem-tartó belső terében.	1	1	17	Feszültséggyűjtő helyek megszüntetése, a tartó megerősítése rálapolással. (ismert tech.)
3.	Az antennák № 9 számú törzskerethez csatlakozó tartóin, a jobb és a bal függőleges vezérsíkon, repedések.	7	8	20-45	A tartó megerősítése rálapolással. (ismert tech.)
4.	Tüzelőanyag csepegés, szivárgás, könnyezés mind két szárny beerősítési konzoljain: <ul style="list-style-type: none"> - № 2 és 3 (valamint az 1és2) számú szárnytartók közti tartály,a szárnytőben lévő alsóbeerősítő csavarjánál; - A № 3 számú szárnybordánál elhelyezkedő függesztési csomópont alsó részének csavarja; - A № 2 számú szárnyfőtartó profil alsó talprészén; stb.	9	18		A hermetikusság helyreállítása a már ismert technológiák segítségével.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
5.	<p>Repedések a № 5 számú borda magnézium ötvözetű hátsó tartórészen a szárnykonzolok síkjában:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a tartó talpa és a falrésze közti átmenetnél; - a tartó fala alsó hányadán; - a tartó falán; - a tartó tartályrögzítő részén. 	5	10	10-60	A tartó megerősítése rálapolással. (ismert technológia)
6.	Gyűrűs alakú repedés a függőleges vezérsík, № 9 számú törzskerethez csatlakozó beerősítő elemtartó belső terében.	2	2	-	A tartó cseréje (207 számú technológia)
7.	A № 7 számú törzskeret síkjában, zárólemez alatt lévő № 3A számú tüzelőanyag tartály alsó panel beerősítő csavarjainál üzemanyag könnyezés.	3	3	-	A hermetikusság helyreállítása a csavarok meghúzásával, tömítőanyag alkalmazásával, tömítések, gumigyűrűk cseréjével.
8.	Repedés a № 2 számú szárnytartónál a felső áramvonalazó belső borításán a sajtolt elem íves részén. (mind a két szárnyon)	2	2	$L_{bal}=85$ $L_{jobb}=50$	Feszültséggyűjtő helyek megszüntetése a repedések előfűrészával.
9.	Repedés a KSZA-2 beerősítő tartó, hátsó kis és nagy fülecseinél, a tartó felső talpa és a fal közötti átmeneti íven.	2	2	$L_{nagy}=5$ $L_{kis}=7$	A tartó cseréje (207 számú technológia)
10.	Repedés a № 7 és 8 számú törzskeretek között lévő függőleges vezérsík tartója falrészén (az antennavezetékek átvezetésére szolgáló) kiképzett nyílásnál.	1	4	6-12	A hátsó tartó falrészét rálapolással való megerősítése

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
11.	Repedés a KSZA-2 alsó, keresztirányú beerősítő tartó felső bordarészén a fülecseknél a jobboldalon.	1	2	40	A tartó megerősítése új felerősítő fülekkel ellátott rálapolással.
12.	Éles él képződése a № 6V számú törzskeret felső, mellső szárnybeerősítési füleknél.	1	1	-	Feszültséggyűjtő helyek csiszolással való szüntetése.
13.	Tüzelőanyagfolyás a № 6V törzskeretnél található № 3 számú tartály jobboldali hegesztési varratánál.	1	1	8	A hermetikusságot speciális hegesztéssel kell helyreállítani.

I.3. A REPÜLŐGÉPEK TÉNYLEGES IGÉNYBEVÉTELI SZINTJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA

A manőverező harcirepülőgépek terhelési vagy igénybevételi szintjének és az össztechnikai üzemidő meghatározásának alapvető paramétere a szerkezet súlypontján ható összesített függőleges túlterhelés (n_y). A kutatási eredmények alapján megállapítható [4;8;11;20;21.], hogy a függőleges túlterhelés ismétlődése, azaz a szerkezet (túl)terhelési (igénybevételi) szintjei az azonos típusú repülőgépek estében jelentős, a tervezéskor normaként elfogadott túlterhelési értékekhez képest pozitív irányú eltéréseket mutatnak. Ebből adódik, hogy a szerkezetre meghatározott üzemidő nem teljesül minden repülőgépen, mert az anyag fáradásából adódó repedések a tervezett üzemidőnél hamarabb megjelennek, így a teherviselő keresztmetszetek is hamarabb érik el kritikus értéküket, ami aztán a tényleges üzemidő csökkenését eredményezi.

Ezért célszerű - a (túl)terhelési szintekről és azok ismétlődésének számáról rendelkezésre álló kellő mennyiségű adat birtokában - meghatározni a túlterhelések integrált ismétlődésének (ciklusszámának) görbáját $F_{tössz.}(N_{yEKV})$. Ezt aztán össze lehet vetni a tervezés során normaként meghatározott túlterhelések integrált ismétlődésének görbéjével $F_{tnorm}(N_{yEKV})$, ami pedig az üzemidő számítás alapját képezheti. Az összehasonlítás után megállapíthatók a repülőgépek tényleges (túl)terhelési, igénybevételi szintjei. (Repülőgépenként, csoportonként vagy modifikációnként).

Ahhoz, hogy a szárnytó beerősítésére, amely az üzemidőt tekintve a repülőgép törzs legmeghatározóbb zónája [10], megbízható terhelhetőségi számítási eredményeket kapjunk, be kellett vezetni a hajlító nyomatékok ekvivalens ciklusai óránkénti integrált ismétlődésének számítási modelljét $F_t(M_{yEKV})$ [18] és a nyomatékok által kiváltott, repült órára vonatkoztatott sérülékenységgel (meghibásodással) szembeni érzéketlenségi mutatót [35]²⁵ $\xi(M_{hajl.EKV})$. Ezek a fedélzeti adatrögzítőről nyerhető adatok segítségével jól meghatározhatók.

$$M_{hajl.fedélzeti} = f(n_y; H; M; G_{rg})$$

ahol n_y – függőleges irányú túlterhelés;

H – repülési magasság;

M - Mach – szám;²⁶

G_{rg} – a repülőgép súlypontjában mért tömege.

²⁵ 99 oldal A légi jármű azon tulajdonsága, hogy ellenáll a ráható igénybevételeknek és sérülések esetén is képes ellátni feladatait.

²⁶ Az „M-szám” meghatározását lásd a „fogalmak meghatározása” című fejezetben!

A manőverező repülőgépek (túl)terheltségének és igénybevételi szintjének megállapítására különböző módszerek léteznek. Az üzemeltetés során kapott függőleges irányú (túl)terhelések nagysága, spektruma és ismétlődéseinek száma alapján - a fő teherviselő elemek üzemidejének meghatározásához - kiszámolható a repült órára vonatkoztatott sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi mutató $\xi_t(N_{yEKV})$, ebből pedig kiszámítható a viszonylagos sérülékenységgel szembeni index (ξ_t^*). Ez utóbbi az óránkénti mutató és a tervezés során elfogadott mutató hányadosából adódik: [18]²⁷

$$\xi_t^*(N_{yEKV}) = \xi_t(N_{yEKV}) / \xi_{t \text{ számított}}(N_{yEKV}) \quad (1.1.)$$

Mivel minden repülőgép (túl)terheltségét a külön-külön kellett elemezni, ezért az ehhez szükséges rögzíthető repülési adattömeget az ARMOK [13] helyett az „AVIATRONIC” Kft.-vel közösen kifejlesztett értékelő rendszer²⁸ alkalmazásával dolgoztuk fel. Az $F_t(M_{hajl.fedélzeti})$ értékének kiszámítása után a repült órára és a hajlító nyomatékok változása által kiváltott és a vízszintes, valamint a függőleges vezérsíkokra vonatkoztatott ekvivalens ciklusok integrált ismétlődésének szintjeit is meg kell határozni $F_{tY}(M_{hajl.vízsz.vs.})$; $F_{tZ}(M_{hajl.függ.vs.})$.

1. A *magasságikormány (stabilizátor)* kitérésekor keletkező légerő hatására létrejövő hajlító igénybevételi szintek $F_{tY}(M_{hajl.stabilizátor})$ értékeinek nagyságát befolyásolja a repülési feladat végrehajtása során létrejött függőleges túlterhelés (n_y), repülési magasság (H), Mach-szám (M), a stabilizátor kitérési foka ($\Delta\varphi_{stab}$) és a repülőgép súlya (G_{rg}).

$$M_{hajl.stabilizátor} = f(n_y ; H; M; \Delta\varphi_{stab}; G_{rg})$$

2. A *függőleges vezérsíkon az oldalkormány* kitérésekor keletkező légerő hatására létrejövő hajlító igénybevételi szintek $F_{tZ}(M_{hajl.függ.vs.})$ nagysága meghatározható a függőleges túlterhelés (n_y), a magasság (H), a Mach-szám (M), a stabilizátor kitérési szöge ($\Delta\varphi_{stab}$), a repülőgép súlya (G_{rg}), az oldalkormány kitérési szöge (δ_{oldk}), a csúszás-szöge (β), az oldalirányú túlterhelés értéke (n_z) és a repülőgép valós állásszögének (α_{val}) értékeiből.

²⁷ 22-32 oldalak

²⁸ TISZA-29 rendszer - a speciális kiértékelő program (TEMES-29 később UNKA - Windows operációs rendszerre épülő) alkalmazásával a repülési adatok gyors illetve részletes kiértékelése, paraméterenkénti színes grafikus megjelenítése, az adatok felhasználói szempontok szerinti elemzése, értékelése, üzemidők meghatározása, adatok tárolása, archiválása, kinyomtatása, hálózatban történő továbbítása a repülő hajózó állomány részére feladatanalízis céljára stb. (lásd még a 17. oldalt!)

$$M_{\text{hajl.fugg.vs}} = f(n_y; H; M; \Delta\varphi_{\text{stab}}; G_{\text{rg}}; \delta_{\text{old.k.}}; \beta; n_z; \alpha_{\text{val}})$$

Amennyiben a fenti adatok nem állnak rendelkezésünkre, akkor a (túl)terhelési szint - jó közelítéssel - az un. „**expressz**” statisztikai módszer segítségével is megállapítható. [18] Ebben a repült órára vonatkoztatott függőleges túlterhelés spektrumaiból és ismétlődéseinek számából adódó sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi mutató nagyságát a repülések során létrejött túlterhelések átlagával ($n_{y\text{átl}}$) és időtartamának figyelembe vételével határozhatjuk meg. Alapját a regressziós modell adja, amelyet a tervezőiroda a MiG-29 repülőgépek túlterheltségi, igénybevételi szintjének megállapítására *a saját használatára dolgozott ki.* (1.2. képlet [18])

$$\lg \xi^*(N_{y\text{EKV}}) = A^* \cdot \lg n_{y\text{átl}} + B^* \cdot S_{n_{y\text{max}}}^2 - C^* \cdot T_{\text{átl.}} + D^* \quad (1.2.)$$

ahol $n_{y\text{átl}}$ - a repülések tartama alatt ható függőleges túlterhelések átlagértéke;

$S_{n_{y\text{max}}}^2$ - a repülések időtartama alatt ható maximális függőleges túlterhelés értékeinek tapasztalati szórásnégyzete (statisztikai mutató); [58]²⁹

$$S_{n_{y\text{max}}}^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (n_i - \bar{n}_y)^2$$

$T_{\text{átl.}}$ - a fedélzeti adatrögzítő alapján kiszámított egy feladatra jutó átlagos repülési időtartam;

A^* – túlterhelések száma; B^* – maximális túlterhelések száma; C^* – repülési feladatok száma; D^* – maximális túlterhelések hatásának időtartama.

A gyártó saját kiindulási adataival végzett számításai a kiértékelő és elemző programunk (túl)terhelési értékei révén kapott eredményeimmel megegyeztek. Az 1.3. számú táblázatban bemutatom az üzembe helyezés kezdetétől rögzített repülési adatok alapján meghatározható viszonylagos sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi index, valamint az ebből meghatározott ekvivalens vagy egyenértékű (átszámított) repülési idők értékeit.³⁰

²⁹ Tapasztalati szórásnégyzet - nem más, mint a vételezett minta \bar{X} átlaga körüli (esetünkben \bar{n}_y) második centrális momentuma. (Kempelen Farkas Digitális Tankönyvtár, Oxford-Typotex Matematikai Kislexikon)

³⁰ Azaz a fedélzeti adatrögzítő és elemző segítségével, gépenként meghatároztuk a repülőgépre ható terheléseket, és ennek alapján az úgynevezett „**ekvivalens, vagy átszámított repült időt**”, ami azt jelenti, hogy a tervezési követelmények szerinti az adott repülőgépre megkapott összesített terhelési ciklusszám alapján, mekkora repült idő tartozna valójában. Ez jól jellemzi a repülőgépek relatív elhasználódásának mértékét.

Repülőgép túlterheltségének értékeléséhez szükséges kiindulási adatok:

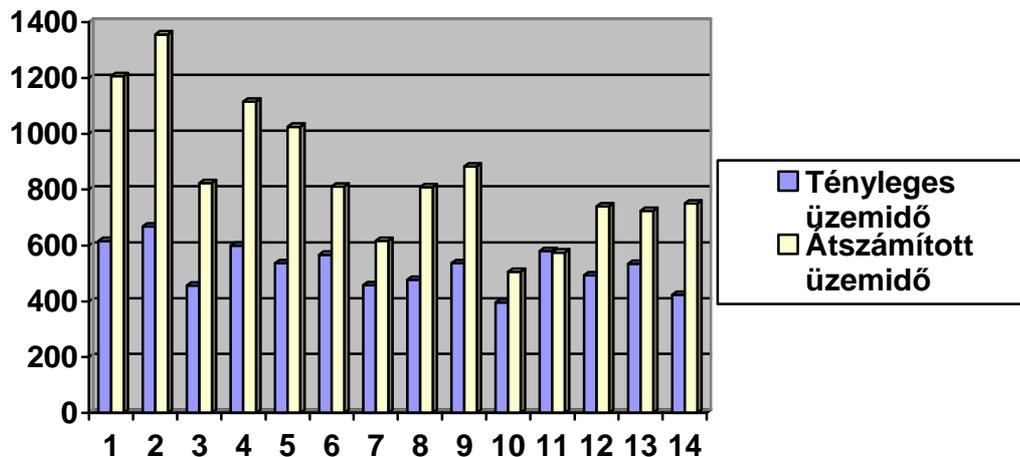
1.3. táblázat

№	MiG29 változat	Repült idő az üzembe helyezés kezdetétől: $T_{\text{ü}}$ [óra]	Leszállások száma az üzembe helyezés kezdetétől: [darab]	Intervallum a túlterheltség értékeléséhez:		Viszony. érz. index: ξ_t^*	Átsz.r ep. Idő: $T_{\text{átsz}}$ [óra]	$n_{\text{yát}}$	$S^2_{n_{\text{y,max}}}$	T [perc]
				Lesz. sz: [darab]	Rep.idő: [óra]					
	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	UB	616	1102	1022	590	1,96	1207	4,71	3,123	34,6
2	UB	668	1128	1083	656	2,03	1356	4,98	2,853	36,4
3	UB	457	773	748	442	1,8	823	4,82	2,73	35,5
4	UB	600	1051	1035	589	1,86	1116	4,75	2,81	34,1
5	B	537	898	866	526	1,91	1026	5,01	2,62	36,5
6	B	567	917	890	555	1,43	811	4,7	2,563	37,4
7	B	458	739	713	436	1,347	617	4,658	2,38	36,8
8	B	477	770	745	463	1,694	808	4,94	2,46	37,3
9	B	537	857	825	403	1,644	883	4,88	2,713	38,3
10	B	396	639	615	372	1,278	506	4,57	2,39	36,3
11	B	580	874	860	568	0,992	575	4,54	2,17	39,7
12	B	493	793	775	485	1,5	740	4,77	2,583	37,6
13	B	534	870	848	540	1,355	724	5,2	1,362	38,2
14	B	424	715	676	403	1,77	750	4,79	2,79	35,8
15	B	492	791	765	478	1,55	763	5,01	2,12	37,6
16	B	474	739	681	432	1,5	711	4,71	2,82	38,1
17	B	259	445	413	243	3,21	831	5,33	3,36	35,4

Ahol: **UB** a kiképző-harci; a **B** a harci változat.

$$\text{Átszámított repülési idő: } T_{\text{átsz}} = T_{\text{ü}} \cdot \xi_t^*$$

Az 1.2. ábrán grafikusan mutatom be a repülőgépeink terheltségi szintjeit. (Igénybevételük nagyságát.)



1.2. ábra A repülőgépek túlterheltség szintjei

Az 1.3. táblázat adatainak elemzése azt mutatja, hogy az $n_{y\max}$ (1.2 képlet) átlagos értéke a harci repülőgépek esetében 4,86, a kiképző-harci gépek esetében pedig 4,81. A viszonylagos sérülékenységgel szembeni érzéketlenségi index (ξ_i^*) az összes vizsgált repülőgépre 1,695 volt. Ezen belül a kiképző-harci repülőgépeké 1,91 és a harci repülőgépeké 1,63 értékre adódott. Ezen adatokból adódódik a következtetés, hogy a **vizsgált repülőgépek túlterhelési értékei a tervezéskor számítottaknál nagyobbak voltak** ($\xi_i^* > 1$). Így az átszámított (ekvivalens) üzemidő egyenérték az egész repülőgépparkra 836 órára adódott, ami a kiképző harci repülőgépek esetében 1118 órát, a harci repülőgépeknél pedig 749 órát jelentett. Mindez pedig bizonyítja azt, hogy a magyar repülőgép-vezetők kiképzési programja - a túlterheléseket tekintve - eltért a tervezetett szintektől. A technikai állapotteljesítés eredményei (1.2 táblázat) ennek ellenére azt mutatta, hogy a repülés biztonságát befolyásoló teherviselő elemek sérülése elhanyagolható, egészében nem csökkentik a szerkezet teherviselő képességét. A feltárt hibák technológia szerinti kijavítása után - különös tekintettel az anyagfáradásból adódó repedésekre - a főkonstruktor a megnövekedett túlterheltség ellenére és tekintettel a repülőgépek műszaki állapotára az üzemidőt az első nagyjavításig 300 órával és 3 évvel minden korlátozás nélkül meghosszabbította.

I.4. A VIZSGÁLT REPÜLŐGÉP TÍPUS (MIG-29) ELLENŐRZÉSRE, DIAGNOSZTIZÁLÁSRA VALÓ ALKALMASSÁGA ÉS AZ ALKALMAZOTT DIAGNOSZTIKAI ESZKÖZÖK, MÓDSZEREK

Ellenőrzésre való alkalmasság alatt a vizsgálandó repülőszerkezet és erőátviteli elemei azon tulajdonságát értjük, hogy szerkezeti kialakításuk, hozzáférhetőségük lehetővé teszik-e a szükséges ellenőrzések különféle eszközökkel történő végrehajtását. Az automatikus ellenőrző berendezések és a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek együttes alkalmazásával olyan adatokhoz juthatunk, amelyek alkalmasak diagnosztizálásra. [2;7;26.]

Automatikus eszközökkel a repülőgép különböző rendszerei (Sárkány, hajtómű, rádió, lokátor, fedélzeti műszerek és navigációs rendszerek, fegyverzet.) alkalmazhatóságát, üzemképességét tudjuk értékelni.

A **roncsolásmentes anyagvizsgálatok** a teherviselő elemek sérüléseinek, alakváltozásainak felfedezésére, megfigyelésére szolgálnak. Az anyagvizsgálati módszerek, eszközök (pl. nyúlásbélyegek, nanotechnológia stb.) alkalmazásával, az ellenőrzésre való alkalmasság úgy

értelmezhető, hogy a teherviselő elemek alkalmasak-e az üzemeltetés szempontjából legfontosabb elváltozásaik hatékony és időbeni behatárolására.

Ilyen elváltozások:

- repedések;
- sérülések, rétegfelválások;
- anyagfolytonosság változása;
- anyagsűrűség változása;
- korrózió;
- maradandó alakváltozások, stb.

Ezek vizsgálata, megfigyelése lehetővé teszi a sárkányszerkezet berendezési teherviselő elemei állapotának felmérését, értékelését, az üzemképtelenséget megelőző állapot időben történő felismerését és kiváltó okainak elemzését.

Az állapot szerinti üzemeltetésre történő átállás során a repülőgépeink szükséges ellenőrzését, műszaki-technikai állapotának felmérését - a rendszeresített eszközökön túl - döntően a **Magyar Honvédség a saját fejlesztésű** eszközeivel, módszereivel hajtotta végre (fedélzeti adatrögzítő és kiértékelő szoftver fejlesztése, endoszkópia, anyagvizsgálati módszerek, berendezések, hajtómű vibráció ellenőrzése, tribológia, stb.).

I.4.1. FEDÉLZETI ÉS FÖLDI ELLENŐRZŐ ESZKÖZÖK

A technika fejlődésével a repülési adatok mérésére a repülőeszközökön egyre több különböző elven működő más és más rendeltetésű eszközt, műszert, berendezést és módszert alkalmaznak. Ezek a teljesség igénye nélkül:

- a rendszerbe beépített ellenőrző eszközök;
- fedélzeti adatrögzítők;
- ellenőrző, vizsgáló berendezések;
- az üzemeltetés során alkalmazott mérőeszközök;
- komplex, automatizált rendszer-ellenőrző berendezések;
- fedélzeti, beépített biztonsági és diagnosztikai eszközök, továbbá a földi támogató rendszerek (GSE, Ground Support Equipment).³¹

³¹ A korszerű diagnosztikai berendezések és földi támogató rendszerek alkalmazása a repülőgépek üzemeltetésében (GRIPEN előadás) (Pogácsás Imre 2008 Szolnok)

Az ilyen berendezésekkel lehetővé válik a repülőgépek alkalmazhatóságának, üzemképességének megbízható kiértékelése, amennyiben az alábbi feltételeknek is megfelelnek [5]:

- jelzi a meghibásodást, az üzemszám állapotot, illetve a kiválasztott paraméterek szélső értékeinek elérését, a hibaelhárító (megelőző) munkálatok elvégzésének szükségességét;
- a hibamegelőző (elhárító) munkálatok elvégzésének szükségessége esetében az adott rendszer működőképességéről rövidtávra prognózist is képes adni (meghatározott időintervallumra);
- képes a szélső paramétereit elért vagy meghibásodott berendezés, elem kiválasztására, meghatározására, valamint az összegyűjtött adatok alapján a vizsgált rendszer vagy berendezés technikai állapotáról értékelést adni.

A fenti feltételeknek is megfelelő ellenőrző berendezések alkalmazhatók a repülőgép feladatra történő felkészítésére, bonyolult meghibásodások behatárolására, a profilaktikus [35]³², utó és időszakos munkákra, periodikus ellenőrzésekre és a technikai állapotuk felmérésekor. A MiG-29 típusú repülőgépek légi és földi üzemeltetése során alkalmazott **gyári ellenőrző eszközök**:

1. TESZTER (fedélzeti adatrögzítő „Fekete Doboz”)

Rendeltetése: A repülés adatainak összegyűjtése, rögzítése és megőrzése. Alkalmas:

- a repülőtechnika üzemképességének földi kiértékelésére (analizálása);
- a repülőgép vezető ténykedésének elemzésére;
- repülőesemények okainak vizsgálatára.

2. EKRÁN (beépített ellenőrző és figyelmeztető rendszer)

Rendeltetése:

- *földön* egy egységes körfolyamat alapján végzett automatikus ellenőrzés és az adatok, mérési eredmények rögzítése (a repülőgép rendszereinek 50-55%-ára);
- *levegőben* a berendezések és a rendszerek automatikus ellenőrzése, a repülőgép-vezető meghibásodásokról történő tájékoztatása, adatok rögzítése és a prioritások felállítása (a repülőgép rendszereinek 75-80%-ára);
- a meghibásodások jellegének, idejének rögzítése és a későbbi dokumentálás elősegítése (a repülőgép rendszereinek 95%-ára).

Az „EKRÁN” adatai – a „TESZTERREL” ellentétben – dekódoló berendezés nélkül, szalagon, szavak és számok formájában jelennek meg.

³² 22. oldal Profilaktikus munkák azok, amelyek a fokozatos meghibásodások feltárására, elhárítására szolgálnak.

A „TESZTER” segítségével számos fedélzeti rendszert a megbízhatósági szint ellenőrzésén alapuló kiszolgálási stratégia³³ alkalmazásával üzemeltetünk, azaz eltekintünk a javításközi üzemidők meghatározásától, tehát a berendezéseket meghibásodásaik gyakoriságának egy adott szintjéig karbantartás és javítás nélkül üzemeltetjük [35]³⁴.

3. MK-9.12: (földi, mozgó ellenőrző komplexum)

Rendeltetése: A repülőgép és a hajtóművek rendszerei üzemképességének ellenőrzése, valamint hibabehatárolás.

A felsorolt üzemeltetés-ellenőrzési eszközök lehetővé teszik a repülőgépek harci bevethetőségének, üzemképességének és technikai állapotának értékelését és az állapot szerinti üzemeltetéshez elengedhetetlen egyéb automatikus ellenőrző, diagnosztikai berendezések alkalmazását is.

A meghibásodások osztályozása [18]³⁵:

1. A szerkezetekben, anyagokban keletkező dinamikusan fejlődő, de nem elektromos, illetőleg a különböző stabil, de nem zajvédett elektromos és elektromágneses jelek csoportja.

Ezek a mechanikai és hidraulika rendszereket és az elektromos erőátviteli eszközöket jellemzik. Az adatokat, jeleket olyan berendezésekkel, műszerekkel, mint az EKRÁN, a TESZTER és a különböző számítógépes támogatással kombinált anyagvizsgálati eszközök, megbízhatóan lehet rögzíteni és feldolgozni.

2. Nagy frekvenciájú műszaki jellemzők vagy elektromos jelek pontos mérése, digitális rögzítése, majd egy megengedett értékkel való összehasonlítása és a változások jellegének meghatározása. E jelcsoport a fedélzeti rendszerek viszonylagosan egyszerűbb berendezéseit jellemzi, elősegítve a megbízhatósági szint ellenőrzésén alapuló kiszolgálási stratégia szerinti üzemeltetést, amennyiben az adatok feldolgozása legalább olyan szintű berendezésekkel történik, mint az MK-9.12; TESZTER; LUCS-71 stb.

3. Nagy mennyiségű dinamikus információ algoritmus szerinti feldolgozása és elemzése.

Azon rendszereknél lehet eredményes, ahol a legmeghatározóbb, de sok más paramétertől függő jellemzőket sikerül kiválasztani, s melyek adatait nagy mennyiségben is képesek vagyunk feldolgozni. Változásaik jellegét véletlenszerű információhalmaz esetében is a feladatnak megfelelően tudjuk meghatározni, majd a tárolt adathalmazt a kiindulási (etalon, vagy minta) értékekkel összehasonlítani.

³³ TKSMSZE lásd 43. oldal!

³⁴ 17. és 329. oldalak

³⁵ 29. oldal

A két első jelcsoport mérésére alkalmazott módszerek, felhasznált eszközök folyamatos fejlesztése napjainkra olyan szintet ért el, hogy a továbbiakban csak a minőségről, a teljesítményről, illetőleg a megoldási lehetőségekről beszélhetünk.

A harmadik problémakör (jelcsoport kezelése) már sok új megoldandó feladat elé állít bennünket. Az automatizált ellenőrző rendszerek és berendezések alkalmazása önmagukban nem teszik lehetővé a közvetlen és egyenes megoldásokat, ezért az információ-feldolgozó rendszereket célszerű két csoportra osztani:

- 1. Speciális** - a vizsgált objektumról kapott elsődleges analóg és digitális információs jelek összegyűjtése, összegzése és rögzítése.

A technikai eszközök:

- fedélzeti adatrögzítő;
- a fedélzeti gyors adatátldolgozó és kijelző rendszer, amely lehetővé teszi a szükséges adatok levételét és ezek számítógépes kiértékelését;
- földi automatikus ellenőrző eszközök, melyek kompatibilisek a fedélzeten már meglévő automatikus, számítógépes ellenőrző rendszerekkel, illetőleg azok központi feldolgozó egységeivel, elemivel.

- 2. Egységesített** - a technikai állapot és annak változásának meghatározása az információs adatbázis folyamatos bővítésével a begyűjtött digitális adatok és információk másodlagos feldolgozásának segítségével.

Elemek, eszközök:

- könnyen, gyorsan telepíthető és szállítható számítógépes eszközök (mobil);
- a számítógépes program, algoritmus, mely biztosítja a feladat végrehajtását (pl.: a saját fejlesztésű ellenőrző és diagnosztikai berendezéseink).

I.4.2. RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK (NON-DESTRUCTIVE EVALUATIONS – továbbiakban: **NDE**)

A repülőeszközök szerkezeti elemei, berendezései roncsolásmentes anyagvizsgálatának lehetősége és az alkalmazható módszerek már a repülőgép tervezésénél meghatározó szempontnak kell lennie. Ezt befolyásolják:

- az anyag mechanikai és fizikai tulajdonságai (forma, méret, felületvédelem, felületkezelés, a szerkezeti elemek csatlakozása, összeerősítése, anyagösszetétel és vastagság);

- megfelelően elhelyezett és megfelelő méretű gyári ellenőrző ablakok, nyílások megléte;
- az ellenőrző eszközökkel való hozzáférhetőség utólagos kialakítási lehetőségei és az ellenőrzés végrehajthatósága;
- a kapott adatok feldolgozásra, elemzésre való alkalmassága.

A repülőgép azon elemei, csomópontjai, berendezéseinek felsorolása, amelyek alkalmasak arra, hogy az üzemeltetés feltételei között is ellenőrizhetők legyenek - a korábbi megállapításomnak megfelelően – nagyrészt már a tervezés során megtörténik, amit a repülőgép tesztelési időszakában még pontosítani lehet. A tömeges üzemeltetés során az ellenőrzendő berendezések, csomópontok, elemek listája a szériagyártás tapasztalatai, a repülés biztonságát befolyásoló szerkezeti egységeknél az új technológiák, vagy új anyagok alkalmazása és a későbbiekben az üzemeltetők tapasztalatai, javaslatai alapján ismét módosulhatnak.

A repülőszerkezetek szilárdsági tulajdonságainak meghatározó műszaki jellemzője a keletkezett elváltozás nagysága és annak az egész szerkezet egyéb elemeire való kihatása. A konstrukció kritikus pontjai azok, ahol a fáradásos anyagelváltozások jelei (pl.: repedések) megjelennek, amelyek később a korróziós vagy törési folyamatok kiinduló pontjai is lesznek. Éppen ezért az elemeket úgy kell kialakítani, hogy a belső és nehezen hozzáférhető terekben keletkező repedések vagy hatásaik még azelőtt észlelhetők legyenek a külső könnyen megközelíthető és látható terekből, hogy azok elérnék a kritikus, veszélyes mértéküket (a még megengedhető).

Véleményem szerint a repedések megengedhető mértékét meghatározó tényezők az alábbiak lehetnek:

- anyagfáradási és élettartam tényezők;
- az elemek minimálisan szükséges szilárdsági tartaléka;
- a repedésekhez, elváltozásokhoz való hozzáférhetőség és az ehhez szükséges munkaráfordítás nagysága;
- a roncsolásmentes anyagvizsgálatok elvégzésének lehetősége;
- a szerkezet túlterheltségének étéke;
- az üzemeltetés földrajzi és meteorológiai körülményei.³⁶

A fenti tényezők jellegéből is adódik, hogy a tervezés során elfogadott értékek az üzemeltetők, üzemeltetők tapasztalatai alapján nagyban változhatnak.

³⁶ A tengervíz korróziós hatása; sivatagi homok eróziós hatása; nagy és alacsony páratartalom, nagy hőmérsékletingadozás; nagyon magas vagy alacsony hőmérséklet stb.

Az adott szerkezet – a repülésbiztonsági követelményeknek is megfelelő – ellenőrizhetősége, üzemeltetési technológizáltsága alapvetően a szerkezet kritikus elemei, csomópontjai, berendezései hozzáférhetőségétől függ. Ez pedig közvetlenül visszahat az ellenőrzések, szükséges javítások elvégzésére fordítandó humán és anyagi erőforrások nagyságára is. Ezért célszerű a hozzáférhetőséget egy viszonyszám (mérészám) segítségével mérhetővé, viszonyíthatóvá tenni. Ilyen lehet a „hozzáférhetőségi tényező” K_{hf} [7]; [18] ³⁷

$$K_{hf} = \frac{T_{jav.cserere}}{T_{jav.cserere} + T_{előlk..helyreáll.}} \quad (1.3.)$$

Ahol a $T_{jav.cserere}$ - a javításra vagy cserére fordított munkaidő szükséglet;

a $T_{előlk..helyreáll.}$ - az előkészítésre és az eredeti állapot visszaállítására fordítandó munkaidő szükséglet;

A vizsgálandó repülőszervezetekben sokféle helyzetű és orientációjú mechanikai sérülés, elváltozás, eltérés lehetséges. A gyakorlatban a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemében (MH Lé.Jü.) a repülőeszközök vizsgálatához számos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszert sikeresen adaptáltunk és alkalmaztunk. Mindegyiknek vannak előnyei és hátrányai, illetve alkalmazhatósági korlátai, melyek ismerete nélkül az egyes vizsgálandó szerkezeti elem ellenőrzéséhez alkalmazható roncsolásmentes vizsgálati mód helyesen nem választható ki. Ezért támaszkodtam Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemében alapvetően az üzem laboratóriumainak szakembereire, akikkel a repülőgéppark állapotfelmérésére és állapotváltozásának rögzítésére az alábbi roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket alkalmaztam [27] [29]:

- vizuális ellenőrzések;
- festékpenetráció;
- mágnes-poros;
- röntgen;
- ultrahangos;
- akusztikus-impedanciás;
- endoszkópia;
- örvényáramos.

Az 1.4. táblázatban mutatom be MiG-29 típusú repülőgép sárkányszerkezetének teherviselő elemeinél – a jelenlegi lehetőségek figyelembevételével általam megfelelőnek és alkalmazhatónak ítélt - roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket. [2,7,18]

³⁷ 32. oldal

A repülőgép különböző szerkezeti elemeinél használható roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek (NDE):

1.4 táblázat

Repülőgép szerkezeti eleme:	Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer (NDE)					
	Optikai (vizuális)	Mágneses	Festék-penetrációs	Röntgen	Ultraszónikus	Örvényáramos
Monolitikus panelek borítása	☀	☐	◇	◇	◇	☀
Hosszanti tartóelem készletek	☀	☐	◇	☀	◇	☀
Hossztartók övlemezei	☀	☐	◇	☀	☀	☀
Hossztartó gerinc	☀	☐	◇	☐	◇	☀
Bordák övlemezei	☀	☐	◇	☀	☀	☀
Törzskeretek övlemezei	☀	☐	◇	◇	◇	☀
Törzskeretek gerincelemei	☀	☐	◇	☐	◇	☀
Keresztirányú csatlakozó „fittingek”	◇	☐	☐	◇	☀	◇
Csatlakozások átkötő elemei	◇	☐	☐	☀	◇	◇
Ellenőrzőnyílások megerősített fedelei	☀	☐	◇	◇	◇	☀
Kivágások rálapoló szegélyei	☀	☐	☀	◇	◇	☀
Monolit elemek kivágásai rálapoló szegélyei	☀	☐	☀	◇	◇	☀
Berendezések beerősítési csomópontjai	☀	☀	☀	☐	☀	◇
Rögzítő-csapok, (tő)csavarok	◇	☀	☀	☐	☀	☐
Szegecsek	☀	☐	☀	☐	◇	☐

Jelmagyarázat: ☀ - széles körben alkalmazható; ◇ - korlátozottan alkalmazható; ☐ - nem alkalmazható.

Perspektivikus eszközök:

- rezgésdiagnosztika;
- tribológia;
- termográfia;
- radiográfia;
- nyúlásmérő bélyegek [43];
- ultrahangos szivárgásdetektáció;
- nanotechnológia.

A jelenleg alkalmazott különböző ellenőrzési módozatokat részletesebben a 4. számú mellékletben mutatom be, azonban a perspektivikus eszközök alkalmazhatósága további kutatás tárgyát képezi.

KÖVETKEZTETÉSEK

A jól megválasztott és az adott repülőgéptípushoz sikeresen adaptált diagnosztikai műszerek minél szélesebb skálájának alkalmazásával a repülőgépek tényleges műszaki állapota nagy pontossággal meghatározható. Amennyiben a vizsgálatok eredményeit megfelelően képesek vagyunk kiértékelni, akkor megnyílik a lehetőség más költséghatékony üzemeltetési stratégiák bevezetése előtt. Ezt támasztották alá a Magyar Légierő saját fejlesztésű diagnosztikai eszközeivel elvégzett állapotfelmérés és elemzés eredményei is, amelyek azt eredményezték, hogy a Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépparkja - a megnövekedett túlterheltség ellenére és a műszaki állapota szerint - az előírt következő technikai állapotfelmérésig korlátozás nélkül üzemeltethető maradt. Ez teremtette meg az állapot szerinti üzemeltetés bevezetésének lehetőségét.

II. FEJEZET

A TELJES REPÜLŐGÉP ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSRE TÖRTÉNŐ ÁTÁLLÁSA ÁLTALÁNOS PROBLÉMÁINAK, MEGOLDÁSA ÉS MÓDSZERTANA

A műszaki-technikai állapotfelmérés befejezéséig a repülőgépeink üzemeltetése tervszerű megelőző karbantartási stratégia szerint történt meg. Az elvégzendő munkák mélysége és periódusa az egész repülőgép parkra vonatkozóan szigorúan meghatározott, mint a műszaki-technikai kiszolgálás (a továbbiakban: **TK**), mind az ipari és nagyjavításai (a továbbiakban: **NJ**) esetében. A tervszerű megelőző karbantartást és annak előnyeit, hátrányait már korábban, az értekezésem 1.1 fejezetében bemutattam. Az állapotfelmérések eredményei feldolgozása után én is megállapítottam, hogy azonos típusú és azonos ledolgozott üzemidővel rendelkező repülőeszközök - az üzemeltetési és üzemeltetési tényezők különbözősége miatt - jelentősen eltérő műszaki-technikai állapotban lehetnek. Ebből kiindulva az időszakos és javítási munkák mélységét, mennyiségét, tartalmát és periodicitását új megközelítés és módszerek alapján kellett megállapítani. Egy ilyen új és jövőbemutató megoldás a **tényleges műszaki állapot szerinti üzemeltetés** [19].

II.1. A LÉTEZŐ TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI ÉS NAGYJAVÍTÁSI STRATÉGIÁK, VALAMINT A REPÜLŐTECHNIKA ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSÁNAK ELVEI

Az állapot szerinti üzembentartás lényege, hogy – *a repülés biztonságának maximális biztosítása mellett* - a repülőtechnika különböző fedélzeti rendszerei és azok elemeinek üzemeltetése az üzemidők előzetes meghatározása nélkül történik úgy, hogy a rendszereket alkotó elemekben, berendezésekben rejlő üzemidő tartalékokat - a lehetőségeket is figyelembe véve - teljesen kihasználjuk. Másképpen ez azt jelenti, hogy továbbiakban a gyártó – az üzembentartók, üzemeltetők tapasztalatai alapján is - konkrét üzemidőket nem határoz meg, csak számítási alapként, **életciklus-üzemidőben**³⁸gondolkodik. Mindebből következően a hagyományos értelemben vett helyreállító és nagyjavító munkálatok megszűnnek. Gyakorlatilag az állapot szerinti üzembentartás keretében a repülőtechnika sárkánya, rendszerei és berendezései műszaki-technikai állapotának felmérése után a korábban előírt munkákat ma már csak szükség esetén és döntően az üzemeltető saját bázisrepülőterein kell és lehet elvégezni.

Az állapot szerinti üzembentartás **technikai kiszolgálási (TK)** és **(nagy)javítási (NJ)** stratégiái (a továbbiakban: **TKS**) az alábbiak lehetnek (2.1 táblázat):

- a rendszerek és elemei, berendezései működését jellemző **paramétereinek** ellenőrzésén alapuló (továbbiakban: **TKSPE**);
- a rendszerek és elemei, berendezései **megbízhatósági szintjének** ellenőrzésével (továbbiakban: **TKSMSZE**);
- a rendszerek és elemei, berendezései a gyártó által meghatározott **üzemidő szerinti** üzemeltetésével (továbbiakban: **TKSÜ**).

A **TKSPE** azt jelenti, hogy a korábban a gyártó által meghatározott műszaki jellemzők értékeit a megadott periodicitással végrehajtott időszakos vizsgák során mért értékekkel folyamatosan összehasonlítják.

³⁸ Előzetes számításokkal behatárolt bázis üzemidő intervallum, ami után technikai állapotfelmérést mindenképpen el kell végezni. Aztán a tömeges felmérések elemzésével - a repülőeszköz élete során - ezek a bázis üzemidők egy bizonyos határig növekedhetnek.

A repülőeszközök technikai kiszolgálási stratégiái:

2.1 táblázat

Technikai Kiszolgálási Stratégiák: (TKS)	Üzemeltetési elvek:		
	Meghibásodás előtti állapotig	Meghibásodásig	Üzemidő, (működési ciklus) (a teljes üzemidő) ledolgozásáig
1	2	3	4
Állapot meghatározás a paraméterek ellenőrzése útján: TKSPE	+	-	-
Állapot meghatározás a megbízhatósági szint ellenőrzése útján: TKSMSZE	-	+	-
A ledolgozott (össz)üzemidő alapján: TKSÜ	-	-	+

ahol „+” – használható;
„-” – nem használható.

E stratégia keretében felmérhető a teherviselő és a fedélzeti rendszerek elemeinek állapota, ami alapján előre meghatározható a repülőeszköz következő ellenőrzésig várható működőképességi valószínűsége. Abban az esetben, ha a mért paraméterek értékei megközelítik a határértékeket, azaz a meghibásodás előtti állapot áll fenn, akkor szabályozni, javítani vagy cserélni kell az adott berendezést. Ez azt jelenti, hogy a berendezéseken és a rendszereken a meghibásodás közeli állapotukban valamilyen munkálatot el kell végezni. (lásd 2.1 ábra!)

A **TKSPE** elve alkalmazása korlátozott, ha az adott berendezés:

- repülésbiztonsági szempontok miatt a meghibásodásáig nem üzemeltethető;
- gazdaságossági megfontolások miatt üzemidő szerint üzemeltendő.

Ilyenek a nagyon drága rendszerek és berendezések, melyek működési és repülésbiztonsági jelentősége nagy, tartaléka (rendszere), helyettesítője vagy megtöbbszörözése nem elegendő, valamint alacsony az üzemeltetés és a javítások technológizáltsági szintje, színvonala.

Másképpen a **TKSPE** elve azon szabályokon, szabályzókon alapszik, melyek döntően befolyásolják a fedélzeti rendszerek és berendezések ellenőrzéséhez kiválasztható diagnosztikai módszereket, technológiákat és eszközöket. A megbízható mérési eredmények lehetővé teszik a repülőeszköz műszaki-technikai állapotának pontos felmérését, ami a döntést a további üzemeltethetőségről, cseréről vagy javíthatóságról már megalapozza.



2.1 ábra. A repülőeszközök technikai kiszolgálási (javítási) stratégiái [1;13;18.]

Összegezve megállapítható, hogy a TKSPE a „meghibásodást közvetlenül megelőző állapot szerinti üzemeltetési elv”.

A TKSMSZE a repülőgépet a rendszerei vagy azok elemei - a repülés biztonságát még nem veszélyeztető - meghibásodásáig üzemben tarthatjuk, majd döntést kell hozni a további üzemeltetésről, a berendezés cseréjéről (pl.: izzók) vagy kiselejtezéséről. Az üzemképességükről szemrevételezéssel vagy a fedélzeti adatrögzítők és ellenőrző-berendezések adatai (**on-board**), valamint a földi ellenőrző-berendezések információi alapján (**on-ground**) lehet döntést hozni. Utóbbi ellenőrzések a repülőtechnika operatív előkészítéseinek keretében, illetőleg a soros műszaki-technikai kiszolgálások során is végrehajthatók. Az egész repülőgépparkról így összegyűjtött megbízhatósági adatok nagyon jó lehetőséget adnak az azonos típusú berendezések megbízhatóságának kiértékelésére és a műszaki-technikai állapotuk kedvezőtlen irányú megváltozásakor lehetővé teszi az azonnali közbeavatkozást.

Ilyen közbeavatkozások lehetnek:

- utómunkálatok [35]³⁹, szerkezetmódosítás végrehajtása;
- újfajta ellenőrzési módok bevezetése;
- üzemeltetési, üzemeltetési szabályok módosítása;
- üzemidő szerinti stratégiára történő átállás;
- a rendszer egyes elemeinek soron kívüli cseréje stb.

A TKSMSZE (2.1 ábra) csak akkor alkalmazható igazán sikeresen, ha a megfelelően megtervezett repülőszerkezet elemeinek sérülései vagy a rendszerek és berendezéseik meghibásodása jelentős mértékben nem veszélyeztetik a repülés biztonságát, valamint nem befolyásolják a repülőtechnika alkalmazhatóságát és nem vezetnek a teljes rendszer azonnali leállításához. Mindezt a repülésbiztonsági szempontból fontos rendszerek és elemei tartalék vagy a működési prioritás alapján működő vészrendszereinek kiépítésével, magas szintű ellenőrizhetőségük és megfigyelésük biztosításával lehet elérni. Amennyiben olyan ellenőrzési és visszajelző rendszerekkel szerelik fel a repülőeszközöket, melyek minden olyan meghibásodást vagy a műszaki jellemzők megváltozását jelzik, amelyek előbb vagy utóbb a rendszer és tartalékrendszerének egyidejű meghibásodásához vezetnek, akkor ez egyben a légi és a földi kiszolgáló személyzet teljesebb körű tájékoztatását is szolgálja.

A TKSMSZE módszer alkalmazása nem célszerű olyan berendezések esetében, amelyek:

- meghibásodása nincs kihatással a repülés biztonságára;

³⁹ Utómunka: „az üzemeltetési objektum használati értékének, megbízhatóságának, üzemképességi szintjének, javíthatóságának növelése végett végrehajtandó egyszeri vagy adott gyakorisággal előírt tevékenység.”

- üzemeltetési technológizáltsága magas szintű, azaz a meghibásodások visszajelzése a fedélzeten és a földi ellenőrző berendezéseken könnyen felismerhető;
- meghibásodás nélküli üzemideje, megbízhatósági színvonala igen magas.

Összegezve megállapítható, hogy a TKSMSZE a „meghibásodásig történő üzemeltetési elv”.

Természetesen a fentiekben vázolt két technikai kiszolgálási és javítási stratégia (TKSPE, TKSMSZE) nem zárhatja ki, hogy bizonyos fedélzeti rendszerek egyes elemeit, berendezéseit, melyek nincsenek megkettőzve (tartalékuk, helyettesítőjük nincs), tényleges technikai állapotuk nehezen értékelhető ki, de közvetlen és jelentős ráhatásuk van a repülés biztonságára, akkor azokat üzemidő szerinti üzembentartási stratégia szerint tartsuk üzemben (TKSÜ).

A TKSÜ üzembentartási és javítási stratégia keretében az üzemeltetők az üzemidejüket ledolgozott elemek, berendezések cseréjét tervszerűen az üzemeltetési utasítások szerint, a technikai kiszolgálások, a repülőszerkezet állapotfelmérései után a helyreállító javítások során hajtják végre. (2.1 ábra) Természetesen a gyári nagyjavítás, mint az üzemidő szerint üzemelő berendezések üzemképességének, üzemidő tartaléka helyreállításának legalapvetőbb szervezett formája megmarad. Azonban, ha a repülőtechnika állapotfelmérése és a helyreállító munkálatai is a gyártó vagy nagyjavító üzemben történik meg, akkor a repülőgépre épített üzemidős berendezéseket - melyek a javításközi üzemidejük, működési ciklusszámuk legalább 80%-át ledolgozták - mérlegelés nélkül kiépítik, nagyjavítják, azaz az üzemeltetőtől minimum 20% üzemidőt elvesznek.

A gyakorlatban a repülőgépek műszaki-technikai állapotát nagyon sok és bonyolult összefüggés, állapotváltozási és meghibásodási tényező befolyásolja.

Sokéves üzembentartási tapasztalatom alapján állítom, ezek a tényezők lehetnek objektívek és szubjektívek.

Objektív tényezők:

- meghibásodás nélküli hosszú üzemeltethetőség;
- könnyű ellenőrizhetőség, diagnosztizálhatóság;
- javíthatóság;
- technológizáltság;
- hosszú élettartam, tárolhatóság;
- megfelelő földi-kiszolgáló berendezések és tartalék alkatrészek megléte;
- az üzemeltetés klimatikus és földrajzi körülményei stb.

Az objektív körülmények és tényezők, amelyek a legnagyobb mértékben hatnak a műszaki-technikai kiszolgálásra, állandóan vizsgálni, elemezni szükséges és ezért velük a repülőgépek teljes életciklusa alatt számolni kell.

Szubjektív tényezők lehetnek:

- a légi és földi kiszolgáló személyzetek kiképzettség foka, oktatásának színvonala;
- az állomány létszámhelyzete, leterheltsége;
- a technológiai fegyelem helyzete stb.

A helyes technikai kiszolgálási stratégia megválasztásához a fent felsorolt tényezőket mindenképpen figyelembe kell venni. A rendszerek és berendezései működési fontosságának ismerete, meghibásodásaik az alábbiakban felsorolt tényezőkre való hatásának pontos meghatározása, pedig elengedhetetlen (azaz **kockázatelemzést** kell végrehajtani):

- a repülés biztonságára;
- a repülőeszköz alkalmazhatóságára;
- harci repülőeszközök esetében a harckészültségre és hadrafoghatóságra;
- az üzemeltetés költségeire.

Ezt a feladatot a minőségirányítás területén már ismert és alkalmazott kockázatelemzési módszer, az **FMEA (Failure Mode and Effects Analysis; Hibamód és Hatáselemzés)** alkalmazásával oldottam meg [34].⁴⁰

A módszeren belül két eljárás ismeretes:

1. A *konstrukciós* (design) FMEA a szerkezeti megoldásokban rejlő vagy a tervező által készített előírásokból adódó hibák, hibalehetőségek feltárására és megszüntetésére.

2. A *folyamat* (process) FMEA, a gyártás, előállítás vagy egyéb technológiai folyamatok során fennálló hibalehetőségek feltárására és megszüntetésére. Az ismert statisztikai adatok valamint a szakemberek megfelelő csoportjának véleményéből („brainstorming”) az adott berendezésre vagy rendszerre vonatkozóan három minősítő számot kell képezni:

- **O_{ijk}** - a meghibásodás előfordulásának gyakorisága;
(10 = a meghibásodás valószínűsége igen nagy; 1= a meghibásodás valószínűsége igen kicsi;)
- **S_{ijk}** - a meghibásodás hatása a repülés biztonságára; (következmények súlyossága)
(10 = a meghibásodás figyelmeztetés nélkül is nagyon veszélyes; 1= a meghibásodásnak nincs hatása;)

⁴⁰ 467-477. oldalak

- D_{ijk} - az ellenőrzés hatékonyságát kifejező tényező. (10 = nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem ellenőrizhető; 1= az ellenőrzés hatékonysága nagyon jó;)

A három minősítő szám szorzata az **RPN (Risk Priority Number, Kockázati Besorolási Szám)** megadja a MEGHIBÁSODÁS (HIBA) OKA-KÖVETKEZMÉNY-ELLENŐRZÉS láncolat jelentőségét (fontosságát) a következő képlet alapján [51;53.]:

$$RPN = O_{ijk} \cdot S_{ijk} \cdot D_{ijk}$$

ahol **i** - elem (berendezés) futóindexe;

j - a hiba (meghibásodás) futóindexe;

k - hibaok futóindexe.

Az RPN számot minden meghibásodás (hiba) oka-következmény és ellenőrzés láncolatra (m) ki kell számolni. Amennyiben a kapott RPN számokat összesítjük, akkor megkapjuk az adott hibák, meghibásodások jelentőségét **RF (Risk of Failure; Meghibásodás Kockázati besorolása)**. [53]

$$RF_{ij} = \sum_{k=1}^m RPN_{ijk}$$

Ez a szám mind azon RPN számok összege, amelyek az adott hibához tartoznak, mivel egy meghibásodást több ok is kiválthat. A nagy RF szám azt jelenti, hogy a hiba gyakran előfordul és következményei súlyosak. Nehezen feltárható a jelenlegi ellenőrzési formában, ezért az ellenőrzési láncolatot több elemre kell bontani. (Új beavatkozási pontok és más műszaki jellemzők mérése is szükséges.)

Az elemek jelentőségét az RF számok összesítésével kapjuk meg **RP (Risk of Parts; Berendezés Kockázati Besorolása)**. [53]

$$RP_i = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n RPN_{ijk} = \sum RF_{ij}$$

Ez a mutató az adott elemhez tartozó valamennyi ág RPN számainak az összege, amely megmutatja, hogy egy alkatrész vagy művelet milyen mértékű repülésbiztonsági kockázatot jelent. Kiugróan magas értéke azt jelenti, hogy a hibák döntően az adott alkatrésznél jelentkeznek és ezek gyakorisága és/vagy jelentősége túl nagy és/vagy ellenőrzésük nem megfelelő. Ezen elem javítása, továbbfejlesztése első helyen kell, hogy szerepeljen. [53]

Az FMEA-n alapult kockázatelemzéssel meghatároztam, hogy a vizsgált meghibásodással engedélyezhető-e az adott repülési feladat végrehajtása vagy sem. Más szavakkal, ha a meghibásodás nem vezet súlyos, a repülés biztonságát veszélyeztető helyzethez és a repülőeszköz az adott feladatot megfelelő hatékonysággal képes végrehajtani, akkor a vizsgált

rendszerre vagy berendezésre alkalmazható technikai kiszolgálási stratégia, a **TKSMSZE** (a megbízhatósági színvonal ellenőrzésével), tehát az üzemeltetés a meghibásodásig engedélyezett.

Amennyiben az adott rendszer vagy elemei - funkcióinak fontossága miatt - a repülési feladat végrehajtására meghibásodással nem engedhető el, akkor a technikai kiszolgálási stratégiák közül a paraméterek ellenőrzésével együtt járó az állapot szerinti (**TKSPE**) vagy az üzemidő szerinti (**TKSÜ**) stratégiát célszerű alkalmazni. Természetesen a választáskor még figyelembe kell venni az adott rendszer vagy berendezései, illetőleg maga a repülőszerkezet alkalmasságát is az egyik vagy másik stratégia alkalmazására. Abban az esetben, ha a rendszer lehetővé teszi a műszaki-technikai állapot felmérését, meghatározását, a mért adatokat képes rögzíteni, annak változásait követni, a korábbi mérésekkel összehasonlítani valamint esetleges hatásait elemezni, akkor alkalmazható a paraméterek ellenőrzésével megvalósuló állapot szerinti műszak-technikai kiszolgálási stratégia (**TKSPE**). Ezzel párhuzamosan meg kell még határozni a mérendő paraméterek tűréseit és a végrehajtandó ellenőrzések periodicitását.

Amennyiben a vizsgált rendszer vagy maga a repülőszerkezet egészében nem teszi lehetővé vagy rendkívül megnehezíti a technikai állapot felmérését, akkor kísérleti számításokkal, statisztikai módszerekkel, „vezér-gépek”[35]⁴¹ vizsgálatával lehet megállapítani a veszélytelen üzemidőt vagy ciklusszámot. Az üzemeltetés során ezt az üzemidőt igyekeznek teljesen kihasználni.

Bármelyik stratégiát is vizsgáljuk *megállapítható, hogy „unifikált” módszer, megközelítés nem létezik.* Az üzemeltetés körülményei, az üzemeltető (légi; földi) állomány kiképzettsége, a technikához való viszonya, a logisztikai rendszer működése, színvonala és még nagyon sok tényező befolyásolja - még egyazon gépparkon belül is - a műszaki-technikai állapotfelmérés eredményét. A kapott adatok elemzése után már kiválasztható a legmegfelelőbb karbantartási és üzemeltetési stratégia. Az ezen a területen elvégzett munka eredményét a kockázatelemzést, azaz a meghibásodások hatását a repülés biztonságára az 1. és 2. számú mellékletekben, a gyakorlatban is kiválasztott technikai kiszolgálási stratégiát a 3. számú mellékletben mutatom be.

⁴¹ 360. oldal „A legöregebb repülőgépen vagy a géppark legtöbb felszállást végrehajtott repülőgépén van a legnagyobb valószínűsége az időtől függő sérülések első megjelenésének. Azaz a vezérgépen végzett szerkezeti ellenőrzések adják a legnagyobb valószínűségét, hogy a sérülést észleljük.”

II.2. A REPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETI RENDSZEREI TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI ÉS JAVÍTÁSI STRATÉGIÁI MEGVÁLASZTÁSÁNAK MÓDSZERTANA

A leghatékonyabb karbantartási és üzemeltetési stratégiákat a repülőeszköz konstrukciós kialakításától, sárkányának, rendszereinek és azok elemei ellenőrizhetőségétől, technikai állapotuk prognosztizálhatóságától, üzemeltetési és javítási technológizálhatóságától függően különböző megközelítésekkel lehet kiválasztani, melyek később az alkalmazandó programok alapját képezik. [14;20.]

A dokumentumokban, kiszolgálási, javítási utasításokban, technológiákban rögzített ellenőrzési feladatok, munkálatok csak akkor tölthetik be kellő hatékonysággal szerepüket, ha a repülőeszköz teljes élettartama alatt biztosított a repülés biztonsága, harci alkalmazhatósága, és gazdaságos üzemeltethetősége. [20]

A fenti követelményeknek megfelelő munkák az alábbiak szerint csoportosíthatók: [18]⁴²

- a megfelelő harci alkalmazhatóságot biztosító munkálatok, melyek közvetlenül nincsenek kapcsolatban a repülőtechnika üzemképességével, illetőleg technikai állapotával;
- a tervszerűen végzendő karbantartások, javítások (profilaktikus munkák);
- a meghatározott időszakonként elvégzendő, állapotfelmérések, ellenőrzések és az ezekből fakadó javítómunkálatok.

Az *első csoportba* olyan tervszerű munkák tartoznak, mint a repülőgép hajtó és kenőanyagokkal való fel és utántöltése, a repülőeszközök fegyverzettel történő felszerelése, a tömegpusztító és vegyi fegyverek elleni védelem, illetőleg a vegyi és sugármentesítés, a kenés, a zsírzás vagy a repülőszemélyzet komfortos munkakörülményeit (megfelelő tisztaságú, hőmérsékletű és páratartalmú levegő, alacsony zaj, huzatérzet és rezgésszint) biztosító munkálatok stb.

A *második csoportot* a tervszerű karbantartási, szabályzási, javítási munkálatok, berendezéscserék stb. alkotják.

A *harmadik csoportba* a légi és földi ellenőrzések, a diagnosztikai mérések, az elemzések eredményeképpen végzendő javítások, szabályozások berendezéscserék tartoznak.

Az előzőek mellett még számolni kell az előírt műszaki-technikai állapot felmérések során feltárt meghibásodásokkal és az ezekből eredő munkálatokkal is. Ez is azt jelentheti, hogy a rendszert és berendezéseit szabályozni, javítani vagy cserélni kell. Kellő mennyiségű

⁴² 82. oldal

statisztikai adat birtokában – az egész vagy kellően nagy repülőgépparkra vonatkoztathatóan – ez prognosztizálható, azaz a technikai kiszolgálás programjába be is illeszthető. Az összeállításánál nem szabad elfelejtenünk, hogy a repülőeszköz sárkányának, szerkezeti elemeinek és különböző fedélzeti rendszereiknek vagy azok főbb elemeinek külön sajátosságai vannak.

A repülőeszközök *fedélzeti rendszerei* műszaki-technikai kiszolgálási stratégiájának és programjának megválasztása szintén csak a megfelelő vizsgálatok, kockázatelemzés elvégzésével lehet eredményes, melynek egyik legelterjedtebb módozatát értekezésem 45. oldalától már tárgyaltam (**FMEA**)⁴³ és a Magyar Honvédség gyakorlatában a MiG-29 vadászipülő parkjában végzett elemzés során alkalmaztam. A kapott eredményeket az 1. és 2. számú mellékletekben mutatom be.

A stratégia és a program javaslat összeállításánál a következő tényezőkkel számoltam [2;12;17;19;20.]:

- stratégia bevezetésének hatása a repülőeszköz megbízhatósági színvonalára;
- az estleges meghibásodások repülés biztonságára, harci alkalmazhatóságára, a repülési feladat végrehajthatóságára és üzemeltetésének gazdaságosságára való hatásai.

A repülés biztonságát befolyásoló tényezők nagyságát az adott fedélzeti rendszer(ek) és elemei meghibásodásának veszélyességi foka (kockázata) határozza meg, ami azon mérhető le, hogy a meghibásodás milyen következményekkel jár, azaz milyen különleges esetekhez [35]⁴⁴ vezethet.

Így a veszélyesség, illetőleg a lehetséges következmények szerint a repülés különleges esetei az alábbiak lehetnek: [18]⁴⁵

- **bonyolult repülési feltételek** (továbbiakban: **BF**). Ez olyan különleges eset, melynek során a légi személyzet lelki és fizikai leterheltsége jelentősen megnő, de a feladatait képes maradéktalanul végrehajtani;
- a repülőtechnika **alkalmazhatóságának változása, leromlása** (továbbiakban: **AV**), amely nem veszélyezteti a repülés biztonságát és a betervezett feladatok az eredeti terveknek megfelelően végrehajtható, azaz **következmények nélküli** (továbbiakban: **KN**);

⁴³ Failure Mode and Effects Analysis (Hibamód és hatáselemzés)

⁴⁴ 91. oldal „...a tényleges repülési követelmények, a tényleges üzemi jellemzők az előírtaktól eltérnek.”

⁴⁵ 83-91. oldalak

- **bonyolult repülési helyzet** (továbbiakban: **BH**). A légi személyzet lelki és fizikai leterheltsége olyan fokot ér el, hogy a vész vagy katasztrófa helyzetet csak az időben, a repülési jellemzői megváltoztatásával végrehajtott beavatkozással lehet elkerülni;
- **vészhelyzet** (továbbiakban: **VH**). A repülőeszköz elvesztése csaknem elkerülhetetlen;
- **katasztrófahelyzet** (továbbiakban: **KH**). A fedélzeten tartózkodók életüket veszítik.

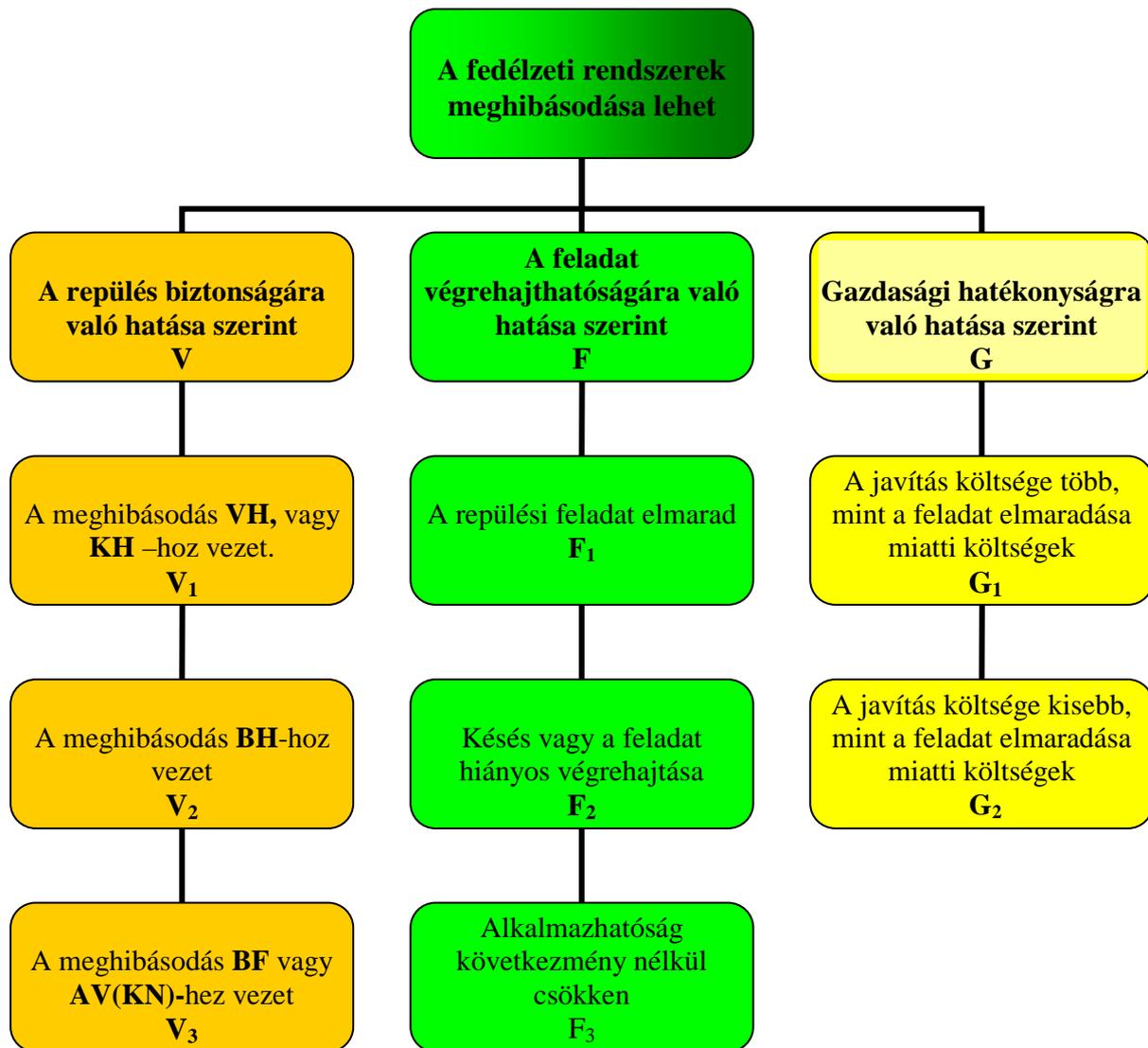
A meghibásodásnak a repülés biztonságára, illetőleg a repülési feladat végrehajthatóságára való hatását különbözőképpen vizsgálhatjuk. Az alábbiakban bemutatok ezek közül kettőt, melyek világosak, egyszerűek és rövidek: (2.2 és 2.3 ábrák) [3; 12; 17; 20.]

Mind a két ábrán látható elemzés a repülőeszköz sárkánya és a többi rendszereire is, azaz általánosságban az egész repülőeszközre egységesen vonatkoztatható és lehetővé teszi a megfelelő üzembentartási stratégia későbbi kiválasztását [1;3;12; 17;20.]

A repülés során létrejöheto meghibásodásokat – a 2.2. ábrán is látható módon – az alábbi csoportokba oszthatók:

- **V₁** A meghibásodás vész, vagy katasztrófahelyzet kialakulásához vezet (VH, KH);
- **V₂** A meghibásodás bonyolult repülési helyzet kialakulásához vezet (BH);
- **V₃** A meghibásodás a repülési feltételeket bonyolítja (BF), az alkalmazhatóságot ronthatja (AV), különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára (RB) közvetlen hatása nincs (KN).

A **V₁** és **V₂** kategóriába besorolt meghibásodások a repülés folyamán nem engedhetők meg, ezért a fedélzeti rendszernek biztosítania kell a meghibásodást közvetlenül megelőző állapot megbízható jelzését, így biztosítva a megbízható működést, azaz a repülésbiztonság magas szintjét. A fenti kategóriákba tartozó rendszereket és elemeit üzemidő vagy a paraméterek ellenőrzése szerinti stratégia szerint kell üzemeltetni (**TKSÜ**, **TKSPE**). A paraméterek ellenőrzésén alapuló technikai kiszolgálási stratégia (**TKSPE**) alkalmazása megköveteli a meghibásodás közeli állapot felfedezésének, jelzésének nagy biztonságát, ami a technikai állapot felmérések megfelelő periodicitásának megválasztásával érhető el.



2.2 . ábra. A fedélzeti rendszerek meghibásodásai a lehetséges hatásaik szerint.

JELMAGYARÁZAT:

V₁ - a meghibásodás vész- vagy katasztrófahelyzet kialakulásához vezet (VH, KH);

V₂ - a meghibásodás bonyolult repülési helyzet kialakulásához vezet (BH);

V₃ - a meghibásodás a repülési feltételeket bonyolítja (BF), az alkalmazhatóságot ronthatja (AV), különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára (RB) közvetlen hatása nincs (KN);

F₁ - a meghibásodás következtében a repülési feladatot nem lehet végrehajtani;

F₂ - a meghibásodás következtében a repülési feladat megkezdése késik, a repülőeszköz alkalmazhatósága csökken, korlátozott;

F₃ - a meghibásodás következtében a repülőeszköz alkalmazhatósága csökkenhet, de a repülés biztonságára való kihatása oly csekély, hogy semmilyen, jelentős következménnyel nem jár;

G₁ - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése jelentősen nagyobb anyagi ráfordítással jár, mint amúgy a repülési feladat elmaradásából fakadó költségek lennének;

G₂ - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése kisebb ráfordítást igényel, mint a repülési feladat elmaradásából keletkező költségek;

BF - a repülési feltételek bonyolulttá válása;

AV - a repülőtechnika alkalmazhatóságának, megváltozása, leromlása;

KN - különösebb következménnyel nem kell számolni;

BH - bonyolult repülési helyzet;

VH - vészhelyzet;

KH - katasztrófahelyzet;

RB - repülésbiztonság.

Tanulmányozva a témában megjelent írásokat [3;12;17;20.] megállapítottam, hogy az olyan rendszerek és elemei, amelyeknek V_3 kategóriába besorolt meghibásodásai lehetnek, bármely az előzőekben ismertetett technikai kiszolgálási stratégia szerint üzemeltethetők:

- technikai kiszolgálási stratégia a paraméterek ellenőrzésével (**TKSPE**) a szilárdságilag fontos, kopásnak vagy anyagkifáradásnak kitett elemek (pl: féktárcsák, futókerekek; áramátalakítók keféi stb.) üzemeltetésére választható, melyek meghibásodási mutatói - ledolgozott üzemidejük vagy igénybevételük, leműködésük számának növekedésével arányosan – romlanak (rohamosan nőnek), azonban állapotuk jól ellenőrizhető, prognosztizálható. Amennyiben ellenőrzésük nehézségekbe ütközik, akkor ezeket üzemidő szerint kell üzemeltetni;
- a megbízhatósági szint ellenőrzése szerinti technikai kiszolgálási stratégiát (**TKSMSZE**) olyan rendszerek és elemei esetében célszerű alkalmazni, melyek üzemidejük vagy működési számuk növekedésével párhuzamosan a meghibásodási mutatóik nem vagy kevésbé romlanak és meghibásodásuk általában hirtelen és váratlanul következik(het) be.

A repülés biztonságát jelentősen befolyásoló meghibásodások és veszélyességi fokuk nagymértékben csökkenthető, amennyiben az adott fedélzeti rendszereket kettőzzük vagy többszörözzük, tartalék vagy „vészrendszerrel” látjuk el. A fenti állítás legszemléletesebben például a szívócsatorna és a hajtómű(vek) együttes működésével igazolható, mert amikor egy „egyhajtóműves” repülőgép szívócsatornájában valamely teherviselő elem megsérül, kiszakad, akkor a hajtómű lapátjai biztos, hogy megsérülnek. A sérülés mértéke meghatározza a kialakuló repülőesemény súlyossági fokát, ami akár katasztrófához is vezethet. Ugyanilyen jellegű szívócsatorna sérülés - egy „kéthajtóműves” repülőgép esetében - a sérült hajtómű leállítását után a repülési feladat a másik működő hajtóművel befejezhető. Magyarul a hajtóművek megkettőzésével a bekövetkező repülőesemény súlyossága jelentősen csökken, mivel a hajtóművek egyenkénti meghibásodásai kevésbé befolyásolják a repülés biztonságát.

A meghibásodások következményeinek a repülőeszköz alkalmazhatóságára való hatásait is a 2.2. ábrán mutattam már be, ahol a rövidítések jelentése:

- **F₁** - a meghibásodás következtében a repülési feladatot nem lehet végrehajtani;
- **F₂** - a meghibásodás következtében a repülési feladat megkezdése késik, a repülőeszköz alkalmazhatósága csökken, korlátozott;

- **F₃** - a meghibásodás következtében a repülőeszköz alkalmazhatósága csökkenhet, de a repülés biztonságára való kihatása oly csekély, hogy semmilyen jelentős következménnyel nem jár.

A meghibásodások felszámolására, (szabályzás, javítás, csere stb.) megelőzésére (a megbízhatóság növelése, a rendszerek és elemei ellenőrizhetőségének javítása, kiegészítő ellenőrzések végrehajtása, diagnosztikai feltételek javítása, tartalék vagy vészrendszerek kiépítése stb.) a tervezett intézkedéseknek gazdaságosnak⁴⁶ is kellett lenniük, melyeket az alábbiak szerint csoportosítottam:

- **G₁** - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése jelentősen nagyobb anyagi ráfordítással jár, mint a repülési feladat elmaradásából fakadó költségek;
- **G₂** - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése kisebb ráfordítást igényel, mint a repülési feladat elmaradásából keletkező költségek.

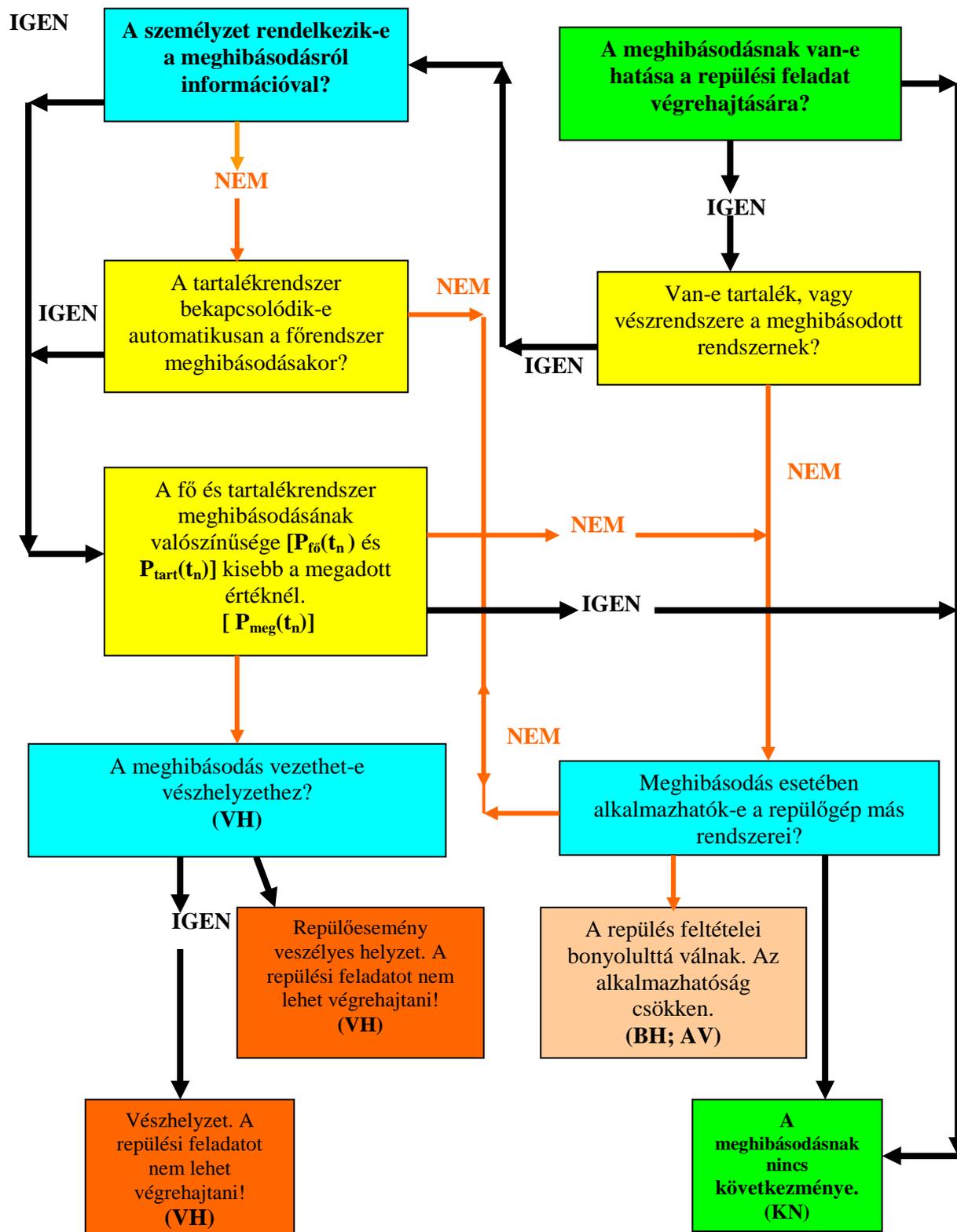
A gazdaságossági szempontok csak azon elemeknél lehetnek elsődlegesek és meghatározók, melyek hatása a repülés biztonságára csekély vagy elhanyagolható. A későbbi elemzésekhez (lásd 2.4 ábrát!) még *két tényezőre* lesz szükség.

Az *első* a repülőeszköz rendszerei és azok elemeinek ellenőrizhetősége és a diagnosztikai feladatok céljából történő hozzáférhetősége, ahol:

- **D₁** - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nem lehetséges;
- **D₂** - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nehéz, valamint sok kiegészítő munkára és berendezésre van szükség;
- **D₃** - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között kiegészítő munkák nélkül is jól végrehajtható.

A fenti (**D**) kritériumok jó közelítéssel az üzemeltetési körülmények között elvégezhető mérések és diagnosztizálás alapján meghatározzák a repülőeszköz technikai állapotának prognosztizálhatósági fokát is.

⁴⁶ A vadászrepülőgépekre vonatkozóan ez a fogalom a kiképzési repülések esetében értelmezhető, harci bevetésekre már nehezen, de a szállító-repülőgépek esetében az összefüggés világos.



2.3. ábra. A meghibásodások következményeinek egy másik lehetséges kapcsolata.

A *második* tényező a rendelkezésre álló mérőeszközökkel elvégezhető mérések hitelességét, a kapott értékek valódiságát fejezi ki (lásd 2.4 ábrát!):

- T_1 - az alkalmazott mérés (mérőeszköz) nem ad hiteles, valóságos információt a mért objektum állapotáról;
- T_2 - a mérési eredmények alapján az objektum (rendszer eleme vagy fedélzeti rendszer összetevő eleme) állapota jól megállapítható.

A tapasztalatok alapján, az előzőekben tárgyalt tényezők (kritériumok) együttesen lehetővé teszik annak megállapítását, hogy az adott repülőtechnika alkalmas-e az állapot szerinti üzemeltetésre és ennek megvalósítására kiválasztott stratégia alkalmazására.

A stratégia kiválasztásának lépései [3;12;17;20.]:

1. Az üzemeltetési tapasztalataim szerint és a témával foglalkozó szakirodalom megállapításai alapján állítom, elsőként azt kell megvizsgálni, hogy a fedélzeti és a földi-kiszolgáló eszközök által szolgáltatott adatok mennyisége és minősége, megbízhatósága lehetővé teszi-e a vizsgálandó fedélzeti rendszer tényleges állapotának meghatározását valamint elfogadható állapotprognózisok felállítását.
2. A következő a vizsgálandó rendszer olyan elemekre történő szétbontása, amelyek még önálló funkcióval rendelkeznek és önálló technikai kiszolgálást igényelnek (blokkok, berendezések, fő konstrukciós elemek). Ezt olyan konstrukciós egységekig kell folytatni, amelyek a rendszer működőképességére azonos módon hatnak. Az egy egységben ellenőrizhető berendezéseket össze lehet vonni és egy elemként lehet kezelni.
3. A rendszer elemei meghibásodásának veszélyességi fokának meghatározása, kockázatelemzés. (Én a korábbiakban a minőségirányítás területén alkalmazott és ott már jól bevált FMEA alkalmazhatóságát vizsgáltam.⁴⁷⁾ Legfontosabb a szempontok:
 - a lehetséges meghibásodások fajtái;
 - a meghibásodások hatása a rendszer működőképességére;
 - a meghibásodások hatása a repülés biztonságára;
 - a súlyosabb következményeket kiváltó meghibásodás meghatározása és kategorizálása;
 - a V_3 ⁴⁸⁾ kategóriába sorolt elemek meghibásodásainak hatása a repülési feladat végrehajthatóságára (**F**).

⁴⁷⁾ Failure Mode and Effects Analysis (Hibamód és hatáselemzés)

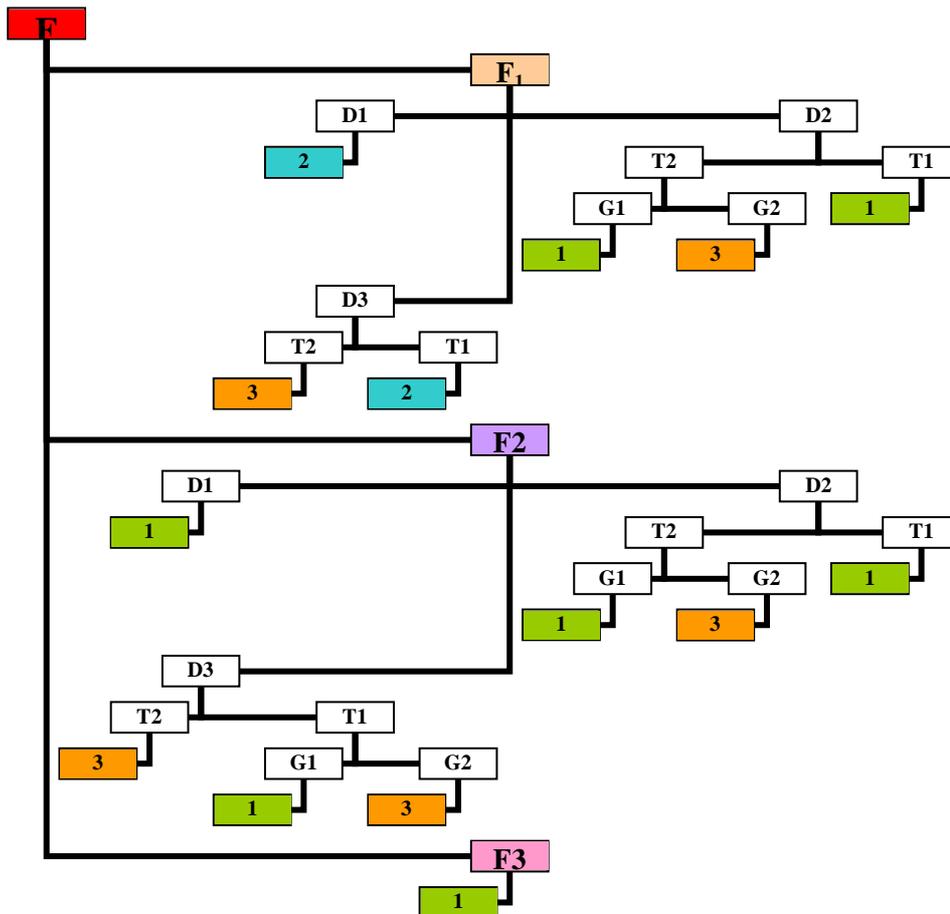
⁴⁸⁾ A meghibásodás a repülési feltételeket bonyolítja (BF), az alkalmazhatóságot ronthatja (AV), különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára közvetlen hatása nincs (KN).

4. A rendszer elemei ellenőrizhetőségének meghatározása. Itt vizsgálni kell minden egyes alkotórészhez való hozzáférhetőséget valamint azt, hogy a mérhető paraméterek megfelelő mértékben jellemzik-e az adott berendezés műszaki-technikai állapotát. Az adatoknak megbízhatóságuk mellett biztosítaniuk kell a fedélzeti rendszerek állapotváltozásainak megfelelő prognosztizálhatóságát is. A nehezen hozzáférhető és a technikai állapot megállapítására alkalmatlan paraméterekkel rendelkező berendezések a D_1 ⁴⁹ kategóriába tartoznak és ennek megfelelően ezeket az üzemidő szerinti stratégia szerint kell üzemeltetni.
5. Az adatok birtokában - a döntés előkészítéséhez - célszerű egy működési diagramot (algoritmus) felépíteni. (Például: 2.4. ábra)
6. A felépített algoritmus alapján a rendszer(ek) és elemei technikai kiszolgálási stratégiáinak kiválasztása.

Miután a rendszer elemei közül kiválasztottuk azokat, amelyeket működési idő és/vagy szám szerint fogunk üzemeltetni, pontosítani kell azokat a kiválasztott peremfeltételeket, melyek a repülés biztonságát még nem veszélyeztetik:

- azon elemekhez, melyeket a paraméterek ellenőrzésének stratégiája szerint fogunk üzemeltetni ki kell választani a műszaki-technikai állapotukat legjobban meghatározó jellemzőket és ellenőrzésük célszerű periodicitását;
- abban az esetben, ha az elemeket a megbízhatósági szintek ellenőrzésének stratégiája szerint fogjuk üzemeltetni, akkor meg kell határoznunk a meghibásodások mennyiségi határértékét, amit az üzemeltetés során kapott meghibásodások számával majd össze lehet hasonlítani;
- amennyiben a meghibásodások száma nagyobb, mint a meghatározott határérték, akkor olyan intézkedésekre lesz szükség, amelyek megnövelik az adott elem megbízhatóságát, vagy pedig másik technikai kiszolgálási stratégiát kell választani.

⁴⁹ a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nem lehetséges



JELMAGYARÁZAT:

V₁ - a meghibásodás vész- vagy katasztrófahelyzet kialakulásához vezet (VH, KH);

V₂ - a meghibásodás bonyolult repülési helyzet kialakulásához vezet (BH);

V₃ - a meghibásodás a repülési feltételeket bonyolítja (BF), az alkalmazhatóságot ronthatja (AV), különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára (RB) közvetlen hatása nincs (KN);

F₁ - a meghibásodás következtében a repülési feladatot nem lehet végrehajtani;

F₂ - a meghibásodás következtében a repülési feladat megkezdése késik, a repülőeszköz alkalmazhatósága csökken, korlátozott;

F₃ - a meghibásodás következtében a repülőeszköz alkalmazhatósága csökkenhet, de a repülés biztonságára való kihatása oly csekély, hogy semmilyen, jelentős következménnyel nem jár;

G₁ - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése jelentősen nagyobb anyagi ráfordítással jár, mint amúgy a repülési feladat elmaradásából fakadó költségek lennének;

G₂ - a meghibásodás megelőzése vagy megszüntetése kisebb ráfordítást igényel, mint a repülési feladat elmaradásából keletkező költségek;

D₁ - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nem lehetséges;

D₂ - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között nehéz, valamint sok kiegészítő munkára és berendezésre van szükség;

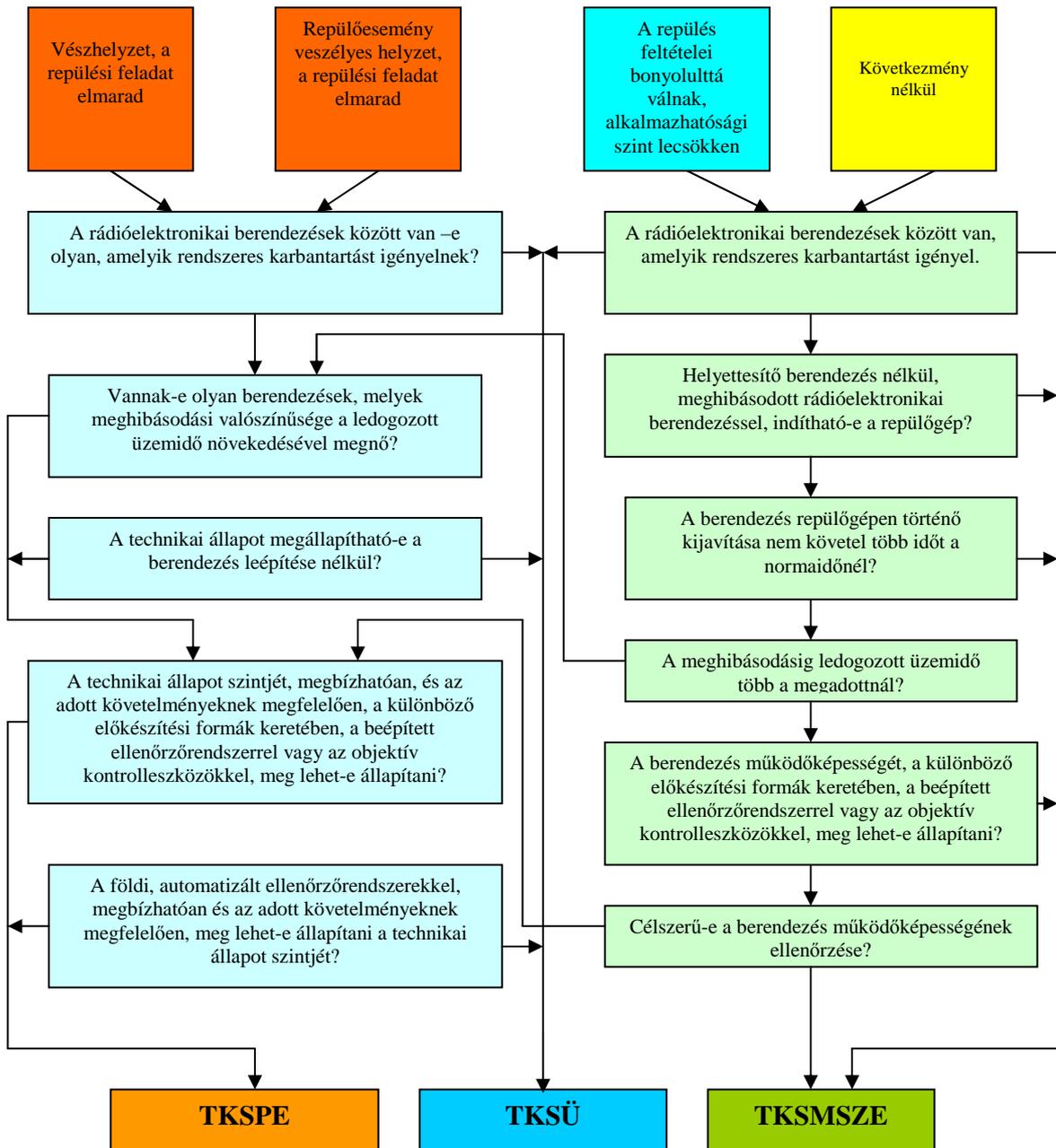
D₃ - a rendszer és elemei ellenőrzése üzemeltetési körülmények között, kiegészítő munkák nélkül is jól végrehajtható.

T₁ - az alkalmazott mérés (mérőeszköz) nem ad hiteles, valóságos információt a mért objektum állapotáról;

T₂ - a mérési eredmények alapján az objektum (rendszer eleme vagy fedélzeti rendszer összetevő eleme) állapota jól megállapítható.

1 - **TKSMSZE**; **2** - **TKSÜ**; **3** - **TKSPE**

2.4 ábra A fedélzeti rendszerek technikai kiszolgálás stratégiája kiválasztásának lehetséges folyamatábrája



2.5 ábra A rádiótechnikai berendezések technikai kiszolgálási stratégiájának meghibásodásaik következménye szerinti kiválasztása

Állapot meghatározás a paraméterek ellenőrzése útján:

TKSPE

Állapot meghatározás a megbízhatósági szint ellenőrzése útján:

TKSMSZE

A ledolgozott (össz)üzemidő alapján:

TKSÜ

A 2.5. számú ábrán [3;18] a 2.3 ábrán bemutatottól eltérő stratégia kiválasztási mód látható. Ennek alapja nem a rádiótechnikai berendezések meghibásodásainak hatásán, hanem azok következményein alapszik. Az ábrában található ellenőrző kérdések és válaszok alapján megállapíthatóak az egyes logikai blokkokhoz és elágazásaihoz való kapcsolódási módozatok, melyek azután már meg fogják határozni a legésszerűbb technikai kiszolgálási stratégiát. Az optimális technikai kiszolgálási stratégiai kiválasztásakor, amennyiben a magas repülésbiztonsági szint és a repülési feladat eredményes végrehajtásának nagy valószínűsége mellett az anyagi kérdéseknek is meghatározó jelentősége van, akkor gazdaságossági szempontokat is figyelembe kell venni, például az alábbiak szerint:[14]

$$\text{TKS}_{\text{opt}} = f(W \rightarrow W_{\min}; P_{\text{tényl}} \geq P_{\text{normatív}}; Q_{\text{tényleges}} \leq Q_{\text{normatív}};) \quad (2.1)$$

Ahol a W - a repülőeszköz üzemeltetési ráfordításai (munka; eszköz; pénz;)

$P_{\text{tényl}}$; $P_{\text{normatív}}$ - a repülési feladat végrehajtásának tényleges és normatív valószínűségi értékei[55]⁵⁰

$Q_{\text{tényl}}$; $Q_{\text{normatív}}$ – tényleges és a normatív repülésbiztonsági kockázati szint [55]⁵¹

A „gazdaságos” megközelítés során vizsgálni kell a fedélzeti rendszerek és elemei megbízhatóságának az egész repülőgép repülésbiztonsági színvonalára és a rendeltetésszerű feladatai végrehajtási valószínűségére való hatását. A technikai kiszolgálási stratégia kiválasztásánál itt is a már korábban ismertetett három fő irányzat a meghatározó az alábbi sorrend szerint:

- **TKSMSZE** - technikai kiszolgálási stratégia a megbízhatósági szint ellenőrzésével;
- **TKSPE** - technikai kiszolgálási stratégia a paraméterek ellenőrzésével;
- **TKSÜ** - üzemidő szerinti technikai kiszolgálási stratégia.

A technikai kiszolgálási stratégia kiválasztásának logikai felépítése sem különbözik a már korábban ismertetettektől (2.2.-2.5. ábrák). A rendszer és elemei technikai kiszolgálási stratégiájának kiválasztása után [14] az egész repülőgépre is vizsgálni kell a repülésbiztonsági kockázati szinteket, majd ezeket összehasonlítani a megadott normatív értékekkel. Abban az

⁵⁰ 93. oldal A repülésbiztonság valószínűségi mutatója azt adja meg, hogy milyen valószínűséggel képes teljesíteni a légi jármű a repülési feladatát. (**P**) *Normatív értékét a repülőgépbe betervezett repülésbiztonságnak is nevezik.*

⁵¹ 93. oldal A „P” ellentettje, s egyben kiegészítő eseménye a légi esemény bekövetkezésének valószínűsége „Q”. $Q=1-P$ Gyakran kockázatnak hívják.

esetben, ha a paraméterek megfelelnek a normatív követelményeknek, akkor a repülési feladat végrehajtási valószínűségi értékeit is össze kell hasonlítani a normatívokban megadottakkal. Eltérések esetén a rendszer vagy a rendszer elemei megbízhatóságán kell külön-külön javítani:

- tartalék vagy vérszerek kialakításával vagy többszörözéssel;
- a rendszerek és elemei technikai állapotának meghatározására alkalmazott módszerek megváltoztatása, illetőleg a rendszeresített ellenőrző berendezések modernizálásával.

A fedélzeti rendszerek meghibásodása és a légi esemény létrejötte valószínűségének normatív (kockázati) értékeit – a légierő fegyvernemei szerint – a 2.2. táblázat tartalmazza. [18]⁵²

A repülőeszközök technikai kiszolgálási stratégiái:

2.2 táblázat

Légierő fegyverneme	KH Katasztrófa	VH Vészhelyzet	BH Bonyolult helyzet	BF Felt. bonyolódása	RB Repülés biztonsága
Csapat és vadászpilóták	$\ll 10^{-7}$	$< 10^{-4} - 10^{-7}$	$< 10^{-3} - 10^{-4}$	$< 10^{-2} - 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Stratégiai repülőerők	$\ll 10^{-7}$	$< 10^{-5} - 10^{-7}$	$< 3 \cdot 10^{-4} - 10^{-5}$	$< 2 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-4}$	$< 2 \cdot 10^{-3}$
Szállító repülőerők	$\ll 10^{-7}$	$< 10^{-6} - 10^{-7}$	$< 3 \cdot 10^{-5} - 10^{-6}$	$< 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-5}$	$< 10^{-3}$

A rövidítések magyarázata a 2.2. ábránál található.

A légi esemény létrejöttének valószínűsége exponenciális törvényszerűséget követ: [35]⁵³

$$Q = 1 - e^{-\omega t} = 1 - P \quad (2.2)$$

Ahol az ω - a rendkívüli repülőesemény bekövetkezésének eloszlási sűrűsége ($\omega = \frac{1}{T}$)

t - időtartam, mely alatt vizsgáljuk a meghibásodás létrejöttének valószínűségét

T - az egy rendkívüli repülőeseményre jutó repült idő

P - a repülésbiztonság valószínűségi mutatója ($P = e^{-1/T}$)

A $t \ll T$ feltétel mellett a kockázat [55]⁵⁴

$$Q = \frac{t}{T} \quad (2.3)$$

⁵² 98. oldal

⁵³ 96. oldal

⁵⁴ 96. oldal

A vizsgált rendszer nem befolyásolja a repülés biztonságát, amennyiben a különleges esetek létrejöttének valószínűsége minden esetben kisebb, mint a megadott (normatív) érték.

A fedélzeti rendszerek meghibásodása és a légi esemény létrejötte valószínűségének normatív (kockázati) értékei a 2.3. táblázatban találhatóak. [1;2;3.] [15]⁵⁵

A repülőgép és rendszerei normatív kockázati valószínűségeinek értékei:

2.3 táblázat

Vizsgálat tárgya:	KH	VH	BH	BF	RB
Fedélzeti rendszerek	10^{-8}	$10^{-7} - 10^{-8}$	$10^{-6} - 10^{-7}$	$10^{-4} - 10^{-6}$	10^{-3}
Repülőgép	10^{-7}	$10^{-6} - 10^{-7}$	$10^{-5} - 10^{-6}$	$10^{-3} - 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^{-4}$

II.3. A REPÜLŐGÉP SÁRKÁNYSZERKEZET TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIÁJA KIVÁLASZTÁSÁNAK KRITÉRIUMAI ÉS MÓDSZERE

Az eddig ismertetett módszertani eljárások a fedélzeti rendszerek és a repülőgép különböző szerkezeti elemei, berendezései technikai kiszolgálási stratégiájának kiválasztására voltak alapvetően alkalmasak.

A repülőgép sárkányszerkezete és teherviselő elemeire alkalmazható technikai kiszolgálási stratégia azonban sajátos jellegű, ezért **három speciális feltételnek** mindenképpen meg kell felelnie. [20; 21]

1. A repülőgép elvárt magas fokú megbízhatósági szintje megköveteli, hogy szilárdsági szempontból a szerkezet teherviselő elemei hirtelen nem törhetnek el, nem mehetnek váratlanul tönkre. Ezért a kiválasztott üzembehartási stratégiának a repülőgép egész élettartama alatt biztosítania kell a teherviselő elemek megfelelő statikai szilárdságát és statikai szilárdsági tartalékait, valamint az alábbi három feltételt is ki kell elégítenie:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{tényleges}} &\geq T_{\text{megköv.}} \\
 \sigma_{\text{tényleges}} &\geq \sigma_{\text{számított}} \\
 \sigma_{\text{maradék}} &\geq 0,67 \sigma_{\text{számított}}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Ahol $T_{\text{tényleges}}$ – a repülőgép ismétlődő-terhelési vizsgálatainak [35]⁵⁶(továbbiakban fárasztásos) során a sárkányszerkezet statikus kifáradási szilárdsága [35]⁵⁷ alapján kapott tényleges össz-technikai üzemi terhelés;

⁵⁵ 100. oldal

⁵⁶ 223. oldal

- $T_{\text{megköv.}}$ – a tervezési alapadatokban megkövetelt (elvárt) össz-technikai üzemidő;
- $\sigma_{\text{tényleges}}$ – a repülőgép fárasztásos vizsgálatainak során az anyag statikus kifáradási szilárdsága alapján kapott tényleges szilárdsági érték;
- $\sigma_{\text{számított}}$ – a tervezési alapadatok alapján számított szükséges tartamszilárdsági $[25]^{58}$ érték. Ez azt jelenti, hogy az igénybevételek számát nem a kifáradási határ alapján kell meghatározni (σ_K), hanem a repülőgép üzemidejére átlagban kapott $3 \cdot 10^3$ igénybevételi értékre, amelyhez tartozó feszültségnél (σ_N) nem jön létre törés és nem lesz a szerkezetnek felesleges súlya. $[25]^{59}$ (az egyszerűség kedvéért a továbbiakban a kifáradási szilárdság kifejezést használom);
- $\sigma_{\text{maradék}}$ – az üzembentartás vagy a repülőgép fárasztásos vizsgálatainak során keletkezett repedésekkel, törésekkel gyengült szerkezet maradék szilárdsági értéke.

A 2.4 számú összefüggés feltételei, ha nem teljesülnek a repülőgép nem üzemeltethető tovább addig, amíg a megfelelő konstrukciós változtatásokat, javításokat, munkálatokat el nem végeztek.

2. A következő speciális feltétel a fő teherviselő elemek, a törzskeretek és a főtartók bekötési csomópontjai repült időhöz kötött ellenőrzésének megkezdési ideje. Különösen nehéz feladat ezen elemek első ellenőrzési időpontjának kiválasztása, mivel a szerkezethez való hozzáférés nagyban korlátozott és legtöbbször igen munkaigényes folyamat. A további ellenőrzések biztosítására ezért - az esetek többségében - utólagos technológiai szerelvényíásokat kell kialakítani. A fenti szerkezeti elemek a repülőgép teherviselése szempontjából leginkább frekvenciált részei, amelyek döntően meghatározzák a repülőgép össz-technikai üzemidejét.

Az első ellenőrzési időpont és a további periodicitás megválasztásához meghatározó információk:

- a vizsgált fő teherviselő elemek repedéseinek keletkezési időpontja;
- a repedések kezdeti hossza (l_0);
- a kritikus repedési hossz (l_{kr})⁶⁰ elérésének időpontja;
- a repedés növekedésének sebessége (v).

⁵⁷ 219; 220. oldal „Az anyag (vagy a szerkezet) kis frekvenciával, ismétlődő terhelésekkel szembeni ellenálló képességét statikus kifáradásnak, és azt a maximális feszültséget, amely esetén az anyag a terhelés ismétlődésének bármely ciklusszáma esetén sem törik el kifáradási határnak nevezzük,

⁵⁸ 309. oldal Tartamszilárdság: „A szerkezet megadott élettartamra történő méretezése.”

⁵⁹ 309. oldal

⁶⁰ A repedés hossza, amely mértékével csökkent teherviselő elem keresztmetszetében keletkező feszültség eléri a minimális számított értékét. (töréshatár) $\sigma_{\text{tényleges}} = \sigma_{\text{számított}}$.

Az I_0 , I_{kr} és a v értékei meghatározására általában a gyártó által lefolytatott kísérletek és a repülőgép fárasztásos vizsgálatai az irányadóak. Azonban elfogadható pontosságú értékeket előzetesen is megkaphatunk különböző számítási modellek alkalmazásával is.

Az alapkérdés minden esetben az, hogy milyen repedéssel és meddig lehet biztonságosan üzemeltetni az adott teherviselő elemet. Erről a legtöbb információt a **feszültség intenzitási tényező** adja (**továbbiakban FIT**) (K_c). [20; 21] [25] (angolul: Stress Intensity Faktor)

*„A K feszültségintenzitási tényező nem anyagjellemző, hanem egy szilárdságtani feladat megoldásában szereplő valamennyi – feszültségkomponenseket leíró – egyenletben szereplő közös szorzótényező. Ha azonban valamely σ feszültség hatására a repedés terjed, tehát beáll a „c” indexszel jelölt kritikus állapot, akkor a K szorzótényező helyett K_c szerepel az egyenletben, amely az **Irwin és Orowan** által módosított **Griffith-féle hipotézis** alapján az anyagjellemzőkkel összekapcsolhatók (2.5, 2.6; 2.7. egyenlet). Az „I” index a törésmechanikában tárgyalt három terhelési eset közül az első. Itt a terhelőfeszültség a repedés irányára merőleges, a 2. esetben párhuzamos lehet, a 3. esetben pedig működhet merőlegesen a repedés terjedési irányára” [50]⁶¹.*

Síkbeli deformáció esetében tehát, amikor a terhelőfeszültség a repedés irányára merőleges [54][57]⁶²:

$$K_{Ic}^2 = E G_c \quad (2.5)$$

Síkbeli feszültségi állapot esetében [60]:

$$K_{Ic}^2 = (1-\nu)^{-1} \cdot E \cdot G_c \quad (2.6)$$

Ahol E - rugalmassági (Young) modulus;

ν - Poisson tényező⁶³;

K_{Ic} - az anyagban, terhelés hatására keletkező feszültségintenzitási tényező **kritikus** értéke, amelynél az anyag már roncsolódik;

G_c – a vizsgált anyag anyagtörési szívóssága vagy másképpen a repedés terjedésével szembeni ellenállása a fajlagos alakváltozási energia felszabadulásának mértéke (Irwin-Orowan), amely kifejezi - a síkbeli deformáció körülményei között - az egységnyi hosszra vagy felületre eső erő nagyságát. A törési szívósság - a feszültség intenzitási tényező kritikus értéke - meghatározó módon függ az alkatrész vastagságától (δ). Az anyagvastagság növelésével a törési szívósság nő a maximális értékéig, majd esik a K_{Ic} értékéig, ahonnan az anyagvastagság növelése ellenére is állandó marad és fellép a síkbeli deformáció. Létezik egy optimális anyagvastagság (δ_{opt}), amikor a K_{Ic} értéke eléri a maximumot. [2;20;46;47;55]

⁶¹ 274; 275. oldalak

⁶² 32. oldal

⁶³ Poisson tényező: Egyirányú feszültségi állapotnál (húzott vagy nyomott) a keresztirányú és a hosszirányú alakváltozások viszonya.[42]

$$\delta_{\text{opt}} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{K_{Ic}}{\sigma_F} \quad (2.7)$$

Ahol σ_F - folyási határ, ahol megkezdődnek a nagyméretű maradó alakváltozások;

K_{Ic} - feszültségintenzitási tényező, amikor az anyag a síkbeli deformáció következtében roncsolódik;

A feszültségintenzitási tényező (FIT) felírható másképpen is (IRWIN)

$$K_c = \sigma_c \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \quad (2.8)$$

Ahol l – a repedés hosszmérete.

Amennyiben a repedt alkatrész méretei a repedés szélességével is korlátozva van (b):

$$K_c = \sigma_c \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \cdot Y \quad (2.9)$$

Ahol $Y=f(l/b)$ – mértékegység nélküli szorzószám „repedési méretviszony”;

b – a repedés szélessége.

A leggyakrabban használt terhelési formák feszültség-intenzitási tényezői és az anyagok szakító szilárdsági σ_B és folyási határértékei σ_F , valamint az optimális lemezvastagsági értékeket δ_{opt} 2.4 táblázatban foglaltam össze. [7;21.] [18]⁶⁴

Feszültségintenzitási tényezők (FIT), és szilárdsági mutatók

2.4 táblázat

Vizsgált anyagok:	σ_B	σ_F	K_{Ic} (FIT)	δ_{opt}
	[MPa]	[MPa]	[MPa m ^{1/2}] [Nm ^{-3/2}]	[mm]
30HGSZA	1200	950	328...418	3,8...6,2
30HGSZNA	1500	1300	270...300	1,4...1,7
EI643	1900	1500	165...200	1,4
VNSZ-2US (hidrogén 0,02 cm ³ /100g)	1300	880	460...550	8,8...12,4
VNSZ-2US (hidrogén 0,03cm ³ /100g)	1340	940	460...550	7.6...10,9
D16T	450	300	95...151	3,2...8,1
V-95T	500	450	68...130	0,7...2,7
V-93	460	440	120	2,4
AKCS-1	400	300	63...157	1,4...8,7
AK-6	350	250	94...130	4,5...8,6
AK-8	350	250	72...109	2,6...6,1
VAD-23	550	500	58...115	0,4...1,7

⁶⁴ 118. oldal

A 2.7 – 2.9 egyenletek segítségével kiszámíthatók olyan rendkívüli fontos adatok, mint:

- a repedés megengedhető mérete, amikor a szilárdság még csak olyan mértékben csökken le, hogy az még nem eredményezi az anyag törését, tönkremenetelét;
- az adott repedt konstrukciós elem szilárdsági tartaléka;
- a repedt keresztmetszetben megengedhető üzemeltetési terhelések stb.

3. A harmadik feltétel az ellenőrzések periodicitásának meghatározása. Ehhez szükséges:

- a repedések kiinduló méreteinek megbízható megállapítása;
- roncsolásmentes ellenőrzések megbízhatósága, alkalmazhatósága;
- a repedések növekedési sebessége meghatározására alkalmazott számítási modell megbízhatósága.

Az ellenőrzések periodicitásának meghatározására szolgáló kísérleti tapasztalatokkal is alátámasztott számítási módszerek a repedések növekedési sebességének (v) meghatározására szolgáló egyenleteken alapulnak. Ebből szemléltetésképpen néhányat a 2.5 táblázatban mutatok be [18]⁶⁵. **(Megjegyzés: Az elfogadott terminológia sebességként definiálja, de helyesebb lenne, intenzitásról beszélni.)**

A repedések növekedési sebességének értékelése:

2.5 táblázat

N _ö	A repedés növekedési sebességének meghatározására szolgáló legismertebb összefüggések	A képletekben használt tényezők
1	$v = \frac{dl}{dN} = C \cdot (\Delta K_1)^m$	$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi \cdot l}$ - FIT rezgés kiterjedése $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
2	$v = A \frac{\Delta K^n}{(1-R)^m [(1-R)K_c - \Delta K]}$	A; C; m; n; B; S – anyagállandók K_a – FIT kilengés nagysága (amplitúdó)
3	$v = A \frac{(K_{\max} - K_0)}{(K_c - K_{\max})}$	K_m – FIT átlagos értéke $K_{elégs}$ – az elégséges fesz. FIT értéke
4	$v = \frac{\Delta K^n}{(1-R)K_c - \Delta K}$	$K_{elégs} = 2 \sqrt{\frac{l}{\pi}} \int_0^l \frac{\sigma_{elégs}(y) dy}{\sqrt{l^2 - y^2}}$
5	$v = (BK_m + CK_a^n)^m$	y – a repedés tárgy szélessége szerinti koordinátája
6	$v = C(\Delta K)^m \left(1 + \frac{K_{elégs}}{\Delta K} \right)$	$S = \frac{\ln V_{elégs} / V_0}{\ln(1 - K_{elégs} / \Delta K)}$ $f(R) = (1-R)^m$ - a terhelés ciklusának aszimmetriája

⁶⁵ 119. oldal

Az utóbbi idők gyakorlatában – a műszaki élet egyéb területein - az anyagfáradásból adódó repedések növekedési sebességét az egyszerűségénél fogva a **Paris-Erdogan** egyenletből kiindulva határozzák meg. Mivel a céljainak megfelelően jól és pontosan modellezi a valós folyamatokat, ezért jelen vizsgálatnál én is ezt alkalmaztam.

$$v = \frac{dl}{dN} = C \cdot (\Delta K_I)^m \quad (2.10)$$

Ahol - m; C anyagállandók [46]⁶⁶[56]⁶⁷

$$C = 10^{-10}/\text{MPa m}^{1/2}$$

$$m = 2-4$$

$\Delta K_I = K_{I\max} - K_{I\min}$ - feszültségintenzitási tényezők különbsége; [$\text{Nm}^{-3/2}$; $\text{MPa m}^{1/2}$]

$$K_{I\max} = \Delta \sigma_{\max} \cdot \sqrt{\pi l}$$

$$K_{I\min} = \Delta \sigma_{\min} \cdot \sqrt{\pi l}$$

$$\Delta K_I = \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi l}$$

$\Delta \sigma$ - a keletkezett feszültség tartománya [N/m^2];

l – repedés hossza [m];

A repedés terjedése akkor válik igazán veszélyessé, ha a repedés a növekedése során (Δl), eléri a kritikus (l_{kr}) hosszúságát, amikor már az anyag törése bekövetkezik. Így az élettartam vizsgálata szempontjából számunkra meghatározó, hogy a fáradási repedés hossza (l_f) kisebb legyen a kritikus értéknél ($l_f < l_{kr}$).[57]⁶⁸

Ahol $l_f = l_0 + \Delta l$

l_0 – a repedés kezdeti mérete

A maximális húzófeszültséghez ($\sigma = \sigma_{\max}$), tartozó kritikus repedéshosszhoz az alábbiak szerint számítható ki:

$$l_{kr} = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \cdot \sigma_{\max}^2} \quad (2.11)$$

A repedés hosszának növekedését a Paris-Erdogan összefüggés segítségével az anyagjellemzők és a terhelési ciklusszám ismeretében határozzuk meg:

$$\Delta l \approx \Delta N_{kr} \cdot (\Delta K_I)^m \quad (2.12)$$

⁶⁶ 35. oldal

⁶⁷ C – egy anyag kísérletileg megállapított repedésállósági jellemzője; m – törési szívóssági kitevő.

⁶⁸ 35;36. oldalak

Ahol ΔN_{kr} – az a terhelési ciklusszám növekmény, amely hatására a (l_0) kezdeti repedés hossza eléri kritikus értékét (l_{kr}) [$\text{MPa m}^{1/2}$].

Ennek ismeretében a szerkezet várható élettartamát megkapjuk, ha a töréshez szükséges teljes ciklusszámot meg tudjuk határozni:

$$N_{kr} = \frac{1}{C} \int_{l_0}^{l_{kr}} \frac{dl}{(\Delta K_1)^m} \quad (2.13)$$

A $\Delta N_{kr} = N_{kr} - N$ különbségből - ahol N a vizsgálat időpontjában már elért (össz)terhelési ciklusszám - közvetlenül megbecsülhetjük a valószínűsíthető N_{kr} -ig hátralévő ciklusszámot, ebből pedig a **hátralévő üzemidőt**. A ΔN_{kr} értékét, azt a ciklus-számot, amely előidézi a repedés (kezdeti) l_0 -tól az l_{kr} (kritikus) értékig történő növekedésének, azaz, amikor az alkatrész már tönkremegy, ellenőrzésképpen kiszámolhatjuk az alábbiak szerint is [18]⁶⁹:

$$\Delta N_{kr} = \frac{2}{(m-2) \cdot \pi^{m/2} \cdot C \cdot \Delta \sigma^m} \cdot \left[\frac{1}{l_0^{m/2} - 1} - \frac{1}{l_{kr}^{m/2} - 1} \right] \quad (2.14)$$

Bármilyen számítási módot is alkalmazunk, számításaink helyességét a repülőgép teljes sárkányszerkezetének fárasztási vizsgálataival lehet hitelesen visszaigazolni. Az eredmények ismeretében a kritikus teherviselő szerkezeti elemek ellenőrzésének első időpontja és periodicitása már meghatározható, amennyiben a kapott igénybevételi ciklusszámokat repült órákra vetítjük át. Ez úgy lehetséges, ha biztosított a repülőeszköz üzemeltetése során fellépő tényleges üzemi és a laboratóriumi fárasztási vizsgálatok terheléseinek egyezősége (ekvivalenciája) ($N_{kr} \cdot k_{ekv}$). Ezen kívül az igénybevételi program szilárdsági normái szerint kiválasztott üzemidőt befolyásoló megbízhatósági tényezőknek is meg kell egyezniük (η).

A repülésbiztonságot nem veszélyeztető üzemidőt ($T_{bikt.üz.i.}$), amely elérésénél még nagy valószínűséggel garantálható, hogy a szerkezeti elemek nem roncsolódnak, nem mennek még tönkre, az alábbiak szerint lehet meghatározni [18]⁷⁰:

$$T_{bikt.üz.i.} = \frac{T_{közepes}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4} \quad (2.15)$$

Ahol $T_{közepes} = N_{Cikl} \cdot k_{ekv}$ - konstrukció közepes élettartama;

N_{Cikl} - a berepülések, anyagkifáradási vizsgálatok eredményeképpen megállapított bázis igénybevételi ciklusszám;

⁶⁹ 66. oldal

⁷⁰ 123. oldal

$$k_{ekv} = \frac{T_{rep.idő}}{N_{igénybev.program}} - \text{az igénybevételi program vizsgálatára meghatározott ciklusszám}$$

és az üzemeltetés tényleges repülési ideje közötti ekvivalencia (megfelelőségi) mutató;

$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ - a biztonságos üzemidőt befolyásoló megbízhatósági tényező;

$\eta_1 = 1 \div 1,5$ - a berepülési és más vizsgálati programok és az üzemeltetés egymásnak való megfelelését kifejező tényező;

$\eta_2 = 1 \div 1,2$ - a kritikus ellenőrzési helyekre való hozzáférés lehetőségét, ellenőrizhetőséget kifejező tényező;

$\eta_3 = 1 \div 2$ - az üzemeltetési feltételeket jellemző adatok megbízhatósági tényezője;

$\eta_4 = 3 \div 5$ - a különböző konstrukciós elemek egymástól eltérő anyagfáradási határait kifejező tényező.

A négy fenti elemből álló megbízhatósági tényező értéke $\eta_{min} = 3$ – tól (ideális, elérendő érték) $\eta_{max} = 18$ -ig változhat.

Ennek megfelelően a biztonságos üzemidőt befolyásoló tényezők hatásaik szerint a következőképpen csoportosíthatóak:

A. – $\eta_2 = 1 \div 1,2$ – azok az intézkedések, amelyek az ellenőrizhetőséget javítják, **20%** biztonságos üzemidő növekedést eredményezhetnek;

B. – $\eta_4 = 3 \div 5$ - a szilárdsági vizsgálatok kiszélesítésével, mélységének növelésével és a konstrukciós elemek egymástól eltérő anyagfáradási határainak közelítésével a biztonságos üzemidőt **66,66%-al** meg tudjuk növelni;

C. – $\eta_1 \cdot \eta_3 = 1 \div 3$ - a berepülési és más vizsgálati programok, az üzemeltetés feltételek egymásnak való mind jobb megfeleltetésével és az üzemeltetési feltételek megbízhatóságának emelésével a biztonságos üzemidő **200%-al** növekedhet.

Az adatokból megállapítható, hogy a $T_{bizt.üz.i.}$ értékét a legnagyobb mértékben az üzemeltetési feltételek (C) befolyásolják. (2.6.) ábra [18;20;21.]



2.6 ábra A tényezőcsoportok hatása a biztonságos üzemidőre

A sárkányszerkezet $T_{\text{bizt.üz.i.}}$ értékének meghatározása után azt kell vizsgálni, hogy az esetlegesen sérült, repedt teherviselő szerkezetek és elemei hogyan képesek az üzembentartási feltételeknek megfelelni és a repülésbiztonsági követelményeket kielégíteni. Ennek érdekében a repedések, sérülések megléte ellenére is folytatni kell az ismétlődő terhelési próbákat. Értékelni kell a repedések növekedésének sebességét, aminek ismeretében meg lehet állapítani azt az igénybevételi ciklusszámot, ahol a repedés már eléri kritikus mértékét. Ezzel párhuzamosan meghatározható a már repedt konstrukció szükséges szilárdsági értéke is azért, hogy $\sigma_{\text{maradék}} \geq 0,67\sigma_{\text{számított}}$ (2.4.) feltétel teljesüljön. Ezt követően a biztonságosnak tekintett üzemidőt, amikor a repedés eléri kritikus hosszértékét, az alábbiak szerint határozhatjuk meg: [20;21][18]⁷¹

$$T_{\text{bizt.üz.i.}(0,67)} = \frac{N_{0,67} \cdot k_{ekv}}{\eta_v} \quad (2.16)$$

Ahol $N_{0,67} = N_{l_0} - \Delta N_{0,67}$ (a ΔN_{kr} -ra korábban felírt összefüggés alapján)

$$\text{Az } \Delta N_{0,67} = \frac{l_{kr} - l_0}{v} = \frac{l_{0,67} - l_0}{v} \quad (\text{Paris-Erdogan összefüggés alapján})$$

l_0 - a repedés kezdeti hossza;

$l_{krit} = l_{0,67}$ - az a kritikus repedéshossz, amikor a szükséges szilárdsági tartalék kétharmada, azaz 67%- a számított értéknek;

$N_{0,67}$ - ciklusszám, aminél elérjük a $l_{0,67}$ repedéshosszt;

⁷¹ 125. oldal

N_{l_0} - ciklusszám, aminél az l_0 repedéshosszt érjük el;

k_{ekv} - a vizsgálati terhelési programban meghatározott ciklusszám és az üzemeltetés során repült vagy ledolgozott üzemidő közötti ekvivalencia időt kifejező mutató;

η_v - a repedés kifejlődési idejének hatását kifejező megbízhatósági tényező.

A megismételt terhelési próbák során a sárkányszerkezet erőátviteli és teherviselő elemei meghibásodások elleni érzékenységének megállapításához a szilárdsági tulajdonságaikat szándékosan le kellett rontani. Lehetőségeink voltak:

- az erőátviteli, illetőleg teherviselő elemek kritikus keresztmetszetében speciális bemetszés alkalmazása;
- a bekötési csomópontoknál a csavarkötések számának lecsökkentése (csavarok kivétele).

Az így elvégzett igénybevételi próbák alapján már jó közelítéssel meghatározható:

- a repedés(ek) növekedési sebessége;
- terhelési ciklusszám, amikor a meggyengített elem eltörik;
- üzemidő nagysága, amikor a szilárdsági elemekben keletkező repedés(ek) eléri(k) a meghibásodással szembeni érzékenység szerinti kritikus értéküket ($T_{bizts.megh.}$).

$$T_{bizts.megh.} = \frac{N_{megh.} \cdot k_{ekv}}{\eta_{megh.}} \quad (2.17)$$

Ahol: N_{megh} - ciklusszám, melynél a meghibásodás elleni érzéketlenség szerinti repedéshosszt (l_{megh}) elérjük;

η_{megh} - a szerkezet szívósságát még figyelembevevő repedés kialakulásának idejét jellemző megbízhatósági tényező.

A MiG-29 állapot szerinti üzembentartásra történő átállását megelőző kutatások során is a fent bemutatott szilárdsági feltételekkel folytak a vizsgálatok.

A repülőgép statikai és maradék – szükséges szilárdsági követelményeit már a repülőgép vázlatos terveinek kidolgozása során megadják [10]. Ennek és a feszültségintenzitási tényezőnek (FIT) az ismeretében a kísérleti számítási modell valamelyikének alkalmazásával a MiG-29 típusnál az alábbi kritikus - az üzemeltetési tapasztalatok alapján leginkább igénybevett fő teherviselő elemeiben - meghatározták a repedések növekedési sebességét (intenzitását):

- a szárny alsó, a törzs №3. számú törzskeretéhez kapcsolódó panelban;
- a szárny №1. számú főtartója alsó, a törzskerethez csatlakozó szelvényében.

A Paris-Erdogan számítási modell alapján, általam is megkapott értékeket laboratóriumi kísérletekkel sikerült igazolni. **A számítások és az igénybevételi próbák eredményei között mutatkozó 10 százaléknál kisebb eltérés a számítási modell megfelelőségét támasztotta alá.** [18]⁷²

Ezután következhetett az ellenőrzési periódusok meghatározása (ΔT). A repedések megjelenéséhez tartozó igénybevételi ciklusszámokból levezethető ekvivalens üzemidők azt mutatták, hogy elegendő ellenőrizni [18]⁷³:

- a repülőgép borítását (a meglévő szilárdsági tartalék biztosításával $\bar{\sigma}_{\max.üz.}$)

$$\Delta T_{\min} = 40^{+5} \text{ óránként;}$$

- a szárny főtartókat a repedések kritikus értékének eléréséig elegendő

$$\Delta T_{\min} = 1100^{+100} \text{ óránként.}$$

A két kritikus elem repedései - az üzemeltetési tapasztalatok szerint - az operatív ellenőrzési munkálatok keretében is nagyon jól ellenőrizhetők.

A 2.15 egyenlet alapján a kezdeti, az állapot szerinti üzemeltetésre való áttérés keretében megállapított biztonságos üzemidő ($T_{\text{bizt.üz.idő}}$) nem más, mint a repülőgép **össztechnikai üzemideje**.

$$T_{\text{bizt.üz.i.}} = T_{\text{össztech.üz.i.}}$$

A $T_{\text{össztech.üz.i.}}$ *elérésekor a repülőgép további üzemeltetését repülésbiztonsági szempontok miatt nem engedélyezik.*

A nemzetközi gyakorlat alátámasztja, hogy a kezdeti számított üzemidők az üzembentartás során - az üzemeltetési adatok és tapasztalatok nagy tömegének feldolgozása, kiértékelése után - általában növekednek. Ezek az üzemidők a repülőeszköz teljes élettartama alatt többször is felfelé módosíthatók [3;17;18;36].

Az üzemidő megnövelését befolyásoló tényezők:

- az üzemeltetés során a teherviselő elemekről kapott információk megbízhatósága és statisztikailag értékelhető mennyisége;
- az üzemeltetés során fellépő igénybevételek tényleges hatásai;
- a kísérleti terhelési feltételek és a valós terhelési viszonyok egyezősége (ekvivalenciája).

Az utolsó feltételt igen bonyolult és hosszú folyamat végeredményeként lehet csak teljesíteni, melynek sikeréhez az üzemeltetők tapasztalatai - így a Magyar Honvédségé is - az általuk

⁷² 127. oldal

⁷³ 127. oldal

biztosított információk, mérési és ellenőrzési eredményeik, azok analízise, meghatározó módon hozzájárultak.

A MiG-29 esetében a kritikus teherviselő és erőátviteli elemek biztonságosnak tekinthető üzemideje a fentiekből láthatóan több mint 1000^{+100} repült óra lett. ***A Magyar Honvédségnél a gyártó napjainkra az üzemidős intézkedését módosította, aminek alapján az első nagyobb ellenőrzés ideje már nem 1000^{+100} óra, hanem kitolódott 1400^{+100} órára.***

A repülőgép állapotfelmérése eredményeképpen a biztonságos üzembentartásához a következő szerkezeti elemeken kellett megerősítési munkálatokat elvégezni:

- a №5. számú törzskeret fedélzeti paneljén;
- a №7. számú törzskeret válaszfalán és oldalsó paneljén;
- a №3. számú tartály beerősítő füleken;
- a №5. számú törzskerethez csatlakozó törzskereten;
- a szárnyfőtartók alsó, borításokhoz csatlakozó övein, különös tekintettel a szárnyvégeken stb.

A sárkányszerkezet főbb elemeiben a kísérleti 1000 repült óra feletti üzemidejű fárasztásos igénybevételek után is - bizonyos elváltozásokkal kísérve - a megfelelő szilárdsági tartalékok megmaradtak, ennek megfelelően a teherviselő képességük, üzemeltethetőségük is [18]⁷⁴.

A fent említett elváltozásokat alábbi fő szerkezeti elemekben tanulmányoztam:

- törzs;
- szárny;
- stabilizátorok és bekötései;
- csűrőkormányok és bekötései,
- függőleges vezérsík,
- a törzs orr-része.

Szilárdsági és üzemidő szempontjából a legmeghatározóbb elemekben tapasztalt elváltozások:

a. A törzsben: - a №3. számú tartálypanel hegesztési varratain keletkeztek repedések, amelyeket hegesztéssel ki lehetett javítani. A komplex kísérleti igénybevételi program végén (amely kb. 5000 különböző spektrumú igénybevételi, terhelési programból állt) a szilárdsági tartalék értéke a következő volt:

$$\bar{\sigma}_{\text{stat.tart.}} = 0,74 \bar{\sigma}_{\text{számított}} \geq 0,67 \bar{\sigma}_{\text{számított}}$$

(Tehát a 2.4. számú egyenletben meghatározott feltétel túlteljesült.)

⁷⁴ 129. oldal

b. A szárnykonzolon pedig három megerősítési megoldás lett vizsgálva:

1. a №3. számú borda alsó panel és a szárnyfőtartó csatlakozásának megerősítése;
2. ugyanezen elemek, de már gyengített összeerősítő csavarok beépítése után;
3. az első és hátsó főtartók szériagyártás során megerősített tartóelemekkel való beépítése.

A több mint 1800 különböző igénybevételi program végrehajtása után sérülés, maradandó alakváltozás nem volt, repedések nem keletkeztek. A már ismertetett összefüggéssel (2.17) elvégzett számításokat a kísérleti igénybevételek eredményei igazolták. Így meg lehetett állapítani, hogy:

$$T_{\text{bizt.üz.i.min}} = 1000 \text{ repült óra}$$

Még jobb eredmények mutatkoztak a szériagyártáskor megerősített szárny-főtartó gerincre szerelt, első és hátsó merevítő elemek vizsgálatai során. A szilárdsági tartalék ebben az esetben:

$$\sigma_{\text{stat.tart.}} = 1,12 \sigma_{\text{számított}}$$

A repülőgépeinken a kísérleti fárasztásos igénybevételek után is tapasztalt kisebb, csak a helyi szilárdsági viszonyokat befolyásoló, de a repülésbiztonságára jelentősen hatást nem gyakorló meghibásodásokat - mintegy harmincat - a közlönymunkák elvégzése során sikerült kijavítani vagy létrejöttét megelőzni. Ilyenek például (I. fejezet 1.2. táblázat alapján) :

- a №9. számú törzskeret megerősítése;
- stabilizátorok csapágyának szükség szerinti cseréje;
- függőleges vezérsík bekötési zóna tartóelemének megerősítése;
- a fékernyő csőkazetta javítása (szükség esetén);
- a №3. számú törzskeret síkjában lévő alsó panel hegesztési varratának hegesztéssel történő kijavítása (szükség esetén);
- a №3. számú törzskeret síkjában lévő szívó csatorna beömlő nyílás felső panel javítása;
- alsó törzsféklap bekötés módosítása és megerősítése;
- a №7. és a №7G. számú törzskereteket összekötő oldalsó panelek megerősítése;
- a hajtóművek tere válaszfalának megerősítése;
- №2. számú döntött törzskeret profílfal megerősítése (gerinclemez);
- az orrfutómű gondola áramvonalazó lemezeinek módosítása;
- az orrfutókerék mozgó mechanizmus és lengéscsillapító („Simmi”) himbáinak szükség szerinti cseréje.

A tervezőirodánál a biztonságos üzemidők növelésére a kísérleti igénybevételek napjainkban is tovább folytatódnak. Az irányadó elfogadott érték [15]⁷⁵:

$$T_{\text{bizt.üz.i.}} = n \cdot 1000 \text{ óra}$$

Ahol: $n = 3 - 5$ lehet. (például a MiG-29 K/KUB típus esetében már az $n = 6-7$ értéket ér el) Ismeretes, hogy az igénybevételi ciklusszám ismeretében és a 2.18. és 2.19. összefüggések segítségével meg tudjuk határozni az üzemidőket. Ahogy erre már korábban utaltam az így kiszámított és a kísérleti igénybevételek során kapott értékek összehasonlítása a két adathalmaz között csak 10 százaléknyi eltérést mutatott. Ugyanezen vizsgálatok a repülőgép borításán és egyéb erőátviteli elemein is hasonló jó eredményekkel jártak. Az erőátviteli elemeken és csomópontokon a kísérleti igénybevételeket, terhelési vizsgálatokat a speciálisan meggyengített rögzítőcsavarok beépítésével, illetőleg a csavarok számának lecsökkentésével kellett elvégezni. A szerkezet a maximális terhelhetőség nagyságának **74 százalékával**, következésképpen a 2.4. összefüggésben meghatározott feltételeknél nagyobb terheléssel ($\sigma_{\text{stat.tart.}} \geq 0,67 \sigma_{\text{számított}}$) lett terhelve. Az erőátviteli szerkezetekben a megnövekedett terhelés ellenére sem lett maradandó alakváltozás, illetőleg nem keletkeztek törések, ami igazolta az előzetes számítások helyességét [18]⁷⁶.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az azonos típusú és azonos ledolgozott üzemidővel rendelkező repülőeszközök az üzemeltetési és üzemeltetési tényezők különbözősége miatt jelentősen eltérő műszaki-technikai állapotban lehetnek. Ezért új megközelítési módszerek kidolgozása vált szükségessé, amelyek alapján biztonságosan megállapítható a repülőgépeken végzendő időszakos és javítási munkák mélysége, mennyisége, tartalma és periodicitása. Erre jelenleg legalkalmasabb a tényleges műszaki állapot szerinti üzemeltetés. Ismeretes, hogy a repülés biztonságát a repülőgép összes fedélzeti rendszere befolyásolja, de a repülőgép élettartamát is meghatározó legfontosabb elem a sárkányszerkezet. Ahhoz, hogy kiszámíthatóvá váljon a repülőgép tényleges élettartama, meg kell valósítani a teherviselő és erőátviteli szerkezetek üzemeltetés során létrejövő elváltozásainak megfelelő kontrolját és ismerni kell az elváltozások időbeni lefolyását. Ennek meghatározására leghatásosabb a szerkezeti elemekben létrejövő repedések kifejlődésének és teherviselő képességükre gyakorolt hatásukat leíró számítási modell felállítása. Az általam bemutatott számítások a fentiek szerint lettek elvégezve, melynek megfelelőségét a próbapadi igénybevételek eredményeitől való 10

⁷⁵ 131. oldal

⁷⁶ 131. oldal

százaléknál kisebb eltérés utólag alá is támasztotta. Ezeket az adatokat, így a meghibásodásokkal szembeni érzékenységet, a szerkezetek ellenálló képességét, az első ellenőrzésig lerepülhető, valamint az össztechnikai üzemidőt és az ellenőrzések ciklusidejének meghatározását csak huzamos üzemeltetés során lehet majd megbízhatóan, hitelesen visszaigazolni. Így a fentieknek megfelelően és a Magyar Honvédségnél már hosszú ideje folytatott ellenőrzési és diagnosztikai módszerek, eszközök fejlesztése terén elért eredmények birtokában, javaslatomra a Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépei sárkányszerkezetén és fedélzeti rendszerein - először és úttörőként - sikeresen végig sikerült vinni az állapot szerinti üzemeltetésre történő átállás programját. A program befejezése után a gyártó főmérnökének engedélyével hivatalosan is elindulhatott a repülőgéppark tényleges állapot szerinti üzembentartása, így az azóta eltelt idő gyakorlati tapasztalatai a korábbi elméleti elgondolásokat visszaigazolták.

III. FEJEZET

A REPÜLŐESZKÖZÖK GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEI ÉS A KÖZLŐMŰVEK DIAGNOSZTIKÁJA VALAMINT ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMBENTARTÁSUK LEHETŐSÉGEI

III.1. A HAJTÓMŰVEK MEGBÍZHATÓSÁGA

A repülőgépek gázturbinás hajtóművei megbízható működése az egyik legmeghatározóbb tényező a hajtóműveket jellemző paraméterek között, mivel az egész repülőgép repülésbiztonsági színvonalára jelentős kihatással van.[5][6]⁷⁷

A témához kapcsolódó fontos meghatározások a „Fogalmak Magyarázata” című fejezetben találhatóak meg.

A hajtóművek megbízható működését elősegítő tényezők:

- a hajtómű tervezésekor felhasznált, alkalmazott új módszerek és előzetes vizsgálatok;
- a hajtóművek repülőeszközökön történő vizsgálata;

⁷⁷ 9. oldal

- az anyagkifáradásra történő vizsgálatok, szennyezett légtérben való működés során;
- az egyes elemek külön-külön, majd rendszerben való működése során elvégzett szilárdsági vizsgálatok.

A megbízhatóságot negatívan befolyásoló tényezők:

- magas turbina előtti hőmérséklet;
- egyenetlen turbina előtti hőmérsékletmező;
- a magas hőmérsékletű és a forszírozott üzemmódok túlzottan sok ki-be kapcsolása (ciklusok);
- a hajtómű sokszoros és intenzív felgyorsítása, illetőleg fojtása (termikus és hődilatációs terhelések);
- a maximális üzemmódok közvetlen indítás utáni, melegítés nélküli alkalmazása.

Az üzemidőt meghatározó egyéb tényezők:

- a hajtómű konstrukció korszerűsége;
- a konstrukció kialakításánál alkalmazott anyagok minősége;
- a beépített kész termékek és berendezések megbízhatósági foka;
- az üzemeltetési túlterhelések várható mértéke;
- a hajtómű technológiai szerelhetősége, hozzáférhetősége;
- a hajtómű üzemeltetési módszere, stratégiája;
- az alkalmazott, illetőleg alkalmazható diagnosztikai eszközök fejlettségi színvonala;
- az alkalmazott diagnosztikai módszer prognosztikai lehetőségei, képessége és az üzemeltető állomány erre való alkalmassága;
- az üzemeltetési (technológiai) fegyelem betartása;
- az üzemeltetés földrajzi, meteorológiai körülményei;
- az üzemeltető állomány kiképzettségének színvonala, leterheltsége.

Összességében a gázturbinás hajtóművek üzemidejét alapvetően az égőtér a kompresszor és a turbina lapátjai, a támaszok csapágyainak szélsőséges igénybevételei – a nagy számban váltakozó termikus, hődilatációs valamint a vibrációs és egyéb túlterhelések – által okozott anyagkifáradás határozza meg, melynek következményeit az erőátviteli támaszok csapágyainak kopása jelentősen fel is erősíti.

A hajtóművek javításközi üzemidejének megnövelése érdekében elvégzendő feladatok:

- a technológiákban előírt és meghatározott időközönként végrehajtott hajtómű átvizsgálások, melyek már az üzemeltető telephelyein is lehetségesek. Ez részleges vagy teljes szétszereléssel valamint a meghibásodott alkatrészek, berendezések cseréjével járhat;
- a hajtómű részegységeire különböző üzemidőket kell megadni, hisz az ezeket érő hő, vibrációs és egyéb terhelések nagyban különböznek egymástól (pl.: égőtér és gázkiáramlás sebességfokozó szemben az olajtartóval stb.);
- az üzemidőt jelentősen befolyásolják a hajtóművek üzemeltetési körülményei, melyek közül némely hatásának csökkentésére az üzemeltetőknek alig vannak eszközei (időjárás, földrajzi viszonyok), de többségükre közvetlen ráhatással lehetnek (az üzemeltetés intenzitása, kiképzettség stb. lásd előző felsorolást!);
- az üzemeltetés általános és az üzemeltetők - az adott hajtómű típus teljes élettartama alatt folyamatosan feldolgozott - tapasztalatainak a gyártás és javítástechnológia fejlesztésében és a különböző javítások végrehajtása során történő felhasználása;
- a saját számítástechnikai és diagnosztikai lehetőségek, módszerek folyamatos fejlesztése, alkalmazása, a hajtómű tipikus meghibásodásait meghatározó műszaki jellemzők rögzítése, tárolása, feldolgozása, állapotprognózisok készítése.

Az üzemidő meghatározásának módszerei:

- többhajtóműves repülőgépeken az egyik hajtómű lesz a vizsgált hajtómű, amit a többi hajtóművel ellentétben, a teljes üzemképtelenség állapotáig üzemeltetnek „Leader”[35]⁷⁸, amely viszonylag biztonságos, de megbízható eredményt csak sok repülőgép alkalmazása esetén lehet elérni, ami viszont rendkívül drágává teszi ezt a módszert;
- hosszú ideig tartó földi-kísérleti próbapadokon történő járatás, ami a hajtómű állapotváltozásáról szintén nem képes teljesen objektív értékelést adni, mivel a valóságos repülési feltételek nem vagy csak nagy nehézségek és költségek árán biztosíthatók;
- a hajtómű fő csomópontjainak, berendezéseinek meghibásodásai, üzemeltetési, fáradási elváltozásainak a tervezett üzemidő különböző szakaszaiban történő folyamatos elemzése, kiértékelése. Ez kizárólag csak a legfejlettebb

⁷⁸ 360. oldal Lásd még 2.2 fejezet!

számítástechnikai és diagnosztikai eszközök, módszerek alkalmazása, a mért adatok számítógépes feldolgozása, valamint maga a hajtómű ellenőrzésre való alkalmassága esetén lehetséges.

A 3.1 táblázatban - nemzetközi statisztikai adatok segítségével – azt szemléltetem, hogy a gázturbinás hajtóművek megjelenésével és megbízható működésük rohamos fejlődésével - az elvárt repülési sebességek intenzív növekedése ellenére is - a repülés biztonsága jelentősen megnövekedett. [36]; [6]⁷⁹

A légiközlekedési balesetek⁸⁰ alakulása:

3.1.táblázat

A repülés különböző szakaszai	Légiközlekedési balesetek száma						
	1950	1960	1970	1975	1980	1985	1990
10 ⁵ Felszállás	0,54	0,38	0,23	0,25	0,23	0,16	0,098
10 ⁵ Leszállás	-	0,50	0,29	0,31	0,21	0,16	0,17
10 ⁸ km Repülési táv.	1,88	1,06	0,39	0,37	0,30	0,28	0,27

Az 1000 repült órára kivetíthető meghibásodások száma tekintetében is kimutatható a fejlődés annak ellenére, hogy a meglévő fejlett diagnosztikai lehetőségek gyakorlati kihasználtsága alacsony, a gyártók a tényleges állapot szerinti üzemeltetéstől eltérő, inkább „marketing” stratégiája⁸² csak lassabb fejlődést tesznek lehetővé. Például a Lockheed L1011 „Tristar” típusú utasszállító repülőgép RV211 típusú hajtóműve gyártásának és üzemeltetésének kezdeti periódusában az 1000 repült órára átszámított meghibásodások miatti kiépítések száma 1,6 [36]; [6]⁸³.

Más képet kapunk, ha a teljes üzemidő ledolgozása előtt kiépített hajtóművek 1000 repült órára vetített számát vizsgáljuk. A 3.2 táblázatban bemutatott utasszállító repülőgépekben üzemeltetett, modernizált hajtóművek mutatói, így az RV211-é is, mind jobbak, mint az első szériás RV211-nél volt.

A teljes üzemidő ledolgozása előtt kiépített hajtóművek 1000 repült órára jutó száma:

3.2 táblázat

Sorszám	A hajtómű típusa	Üzemidő lejárta előtt kiépített hajtóművek 1000 repült órára eső száma
1.	RV211 (Rolls-Royce)	1,24
2.	CF6 (General Electric)	1,36
3.	JT9D (Pratt&Whitney)	0,9

⁷⁹ 11. oldal

⁸⁰ Meghatározás a „Fogalmak Magyarázata” című fejezetben.

⁸² Értekezésem V. fejezetében az összefoglalásban részletezem.

⁸³ 12. oldal

III.2. GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSÉRE TÖRTÉNŐ ÁTTÉRÉSE

A gázturbinás hajtóművek tényleges állapot szerinti üzemeltetésére történő áttérése kizárólagosan a számítástechnikán alapuló diagnosztikai lehetőségek és eszközök széleskörű alkalmazása esetén lehetséges. A jelenlegi gyakorlatban elterjedt, többségében a gyártók által meghatározottan alkalmazott eszközök, módszerek sok esetben korlátozzák az üzembentartási stratégia váltását. Ezért ugyanúgy, mint a repülőgép szerkezete és fedélzeti rendszerei esetében, a hajtóműveknél is nagyon sok üzemképes és jelentős üzemidő tartalékkal rendelkező berendezést feleslegesen kicserélnék, nagyjavítanak, ezáltal jelentősen megnövelve az üzembentartási költségeket [22;23.]. Ezt a helyzetképet még árnyalja a technikai állapotfelmérések során alkalmazandó és a gyári technológiában előírt mérő és diagnosztikai eszközök alacsony műszaki színvonala. Ezek nem biztosítják a vizsgálati eredmények, adatok megfelelő pontosságát, objektivitását (pl.: a kompresszor vagy turbinalapátokon észlelt sérülések méreteinek meghatározása hagyományos vizuális vagy ultrahangos módszerrel).

Továbbá jelentős költségnövelő tényező az a - napjainkban állapot szerinti üzembentartásnak nevezett – módszer, melynek bevezetése többszöri, mindig más és más célzattal végrehajtandó szét és összeszerelési munkálatokkal jár, s melyeket a gyártók az üzembentartókkal saját, nem a gyártó vagy javító vállalat telephelyein végeztetik el. Az így biztosítható műszaki-technikai és technológiai feltételek messze elmaradnak egy javító vagy gyártóüzem lehetőségeitől, felszereltségétől. Mindez és a feleslegesen nagyjavított berendezések nagy száma együttesen a hajtómű berendezéseinek mintegy hét-nyolc százalékát érintik. A feleslegesen elvégzett szét és összeszerelések pedig az elvégzendő munkálatok 15-20 százalékát is kitehetik [6].⁸⁴ Az idézett adatok annak ellenére, hogy nem a legfrissebbek ma is helytállóak és azt bizonyítják, hogy a „marketing” célzatú, a gyártók által diktált és a fenntartókra rákényszerített üzembentartási stratégiák felváltása a hajtóművek esetében is időszerű. A hajtóművek üzemeltetési költségeinek csökkentésére a Magyar Honvédségnél már régen folynak kísérletek és történtek erőfeszítések.

Áttörést és reális lehetőséget csak a diagnosztika eszközeink fejlődése hozott. A miniaturizálás, a műszerek és adóberendezések, érzékelők megbízhatóságának növekedése, a

⁸⁴ 12. oldal

számítástechnika óriási fejlődése együttesen teremtették meg a tényleges állapot szerinti üzemeltetésre történő áttérés lehetőségét.

III.3. A HAJTÓMŰVEKRE JELENLEG ELFOGADOTT ÜZEMBENTARTÁSI STRATÉGIÁK RÖVID ÁTTEKINTÉSE

Üzemidő vagy működési szám szerinti üzemeltetés:

Az üzemidő szerinti technikai kiszolgálási és nagyjavítási stratégiát a repülésbiztonsági követelmények hívták életre, amelynek ez kiválóan meg is felel.

Állapot szerinti üzemeltetés:

Az állapot szerinti üzemeltetés gyakorlatilag egy „**optimalizációs**” törekvés eredménye (lehet, lesz), amely alkalmazása során a meghibásodások gyakoriságának, valószínűségének állandósága és a repülésbiztonsági színvonal javulása mellett, elérhető egy jelentős üzemeltetési költségcsökkentés is [23]. A gyakorlatban az adott berendezés optimalizált üzemeltetésével az üzemképessége közel állandó lesz, míg az ehhez szükséges fajlagos ráfordítások és egyéb költségek pedig csökkennek.

Napjaink legismertebb állapot szerinti üzemeltetési formái:

1. Berendezéscserék végrehajtása a meghibásodás vagy az üzemképtelenségi állapot elérésekor. Olyan berendezések, alkatrészek esetében alkalmazható, amelyek üzemeltetése során az elváltozások és azok összegzett negatív hatásai sokáig „rejtve” maradhatnak, majd váratlanul, bizonyos sérülések vagy meghibásodások hirtelen megjelennek.

Ilyen meghibásodások lehetnek:

- a kompresszor és a turbinalapátok beerősítésének kilazulása, a lapátok rendellenes mozgása;
- az anyag mechanikai igénybevételéből, illetőleg a hőmérsékleti értékek intenzív változása okozta dilatációs mozgások. Az ezekből adódó ismétlődő terhelések az anyagszerkezet kifáradását, majd egyre növekvő méretű repedések kifejlődését eredményezi;
- a forgórészek csapágytámaszainak vagy a különböző rendszerek szivattyúi belső szerkezeteinek lassú kopása, intenzív hő túlterhelése stb.

Fontos ismerni a meghibásodásokat, sérüléseket, üzemképtelenségeket kiváltó elváltozásokat és kifejlődésük időbeni lefolyását, mert ezek ismerete elősegíti az ellenőrzési intervallumok helyes kiválasztását.

2. A berendezéscserék végrehajtása működési paraméter értékeik egy meghatározott szintjének elérésekor. Az üzemeltetés alapját a meghatározó paraméterek változó értékeinek folyamatos ellenőrzése, illetőleg a hirtelen keletkező hibák, meghibásodások pontos mennyiségének naprakész ismerete képezi. Az állapot szerinti üzemeltetési stratégiák közül az üzemeltetők számára ebben és a következőben (3.) van a legtöbb fejlesztési lehetőség, mivel a modern és saját fejlesztésű diagnosztikai eszközök, prognosztizáló módszerek bevezetése kevésbé függ a gyártók akaratától.

3. Berendezéscsere végrehajtása még a különböző paraméterek értékei változásaiból meghatározható (prognosztizálható) meghibásodások bekövetkezése előtt. Sajátossága a meghatározó (legjellemzőbb) műszaki jellemzők mérése, a kapott adatok elektronikus gyűjtése és feldolgozása. A kellő mennyiségű adat, illetőleg a már ismertté vált tipikus meghibásodások bekövetkezését közvetlenül megelőző állapotot jellemző paraméterváltozások rögzítése és feldolgozása elősegíti a megbízható állapotprognózis, előrejelzés elkészítését. Pontosan meghatározható a berendezéscserék szükséges időpontja úgy, hogy a berendezésekből a repülés biztonságának maximális színvonala mellett, a leghosszabb meghibásodás-mentes működésidő legyen kinyerhető.

4. A berendezéscsere végrehajtása a megengedett kopási sebességnél nagyobb változások esetében. A módszer alapja, hogy feltételezzük az alkatrészek, berendezések kopása bizonyos paraméterek értékeinek a nominál értékektől történő eltérése, illetőleg változása valamilyen függvénnyel leírható. Ez a módszer legeredményesebben az olajjal kent és a különböző hidraulika folyadékkal működtetett berendezések esetében alkalmazható. (Tribológia-olajkopadék vizsgálat)

5. A megbízhatósági szint szerinti üzemeltetési stratégia a meghibásodás megjelenéséig, illetőleg az azt közvetlen megelőző állapotig tartó működtetés, melynek ideje alatt a megbízhatóságot legjobban befolyásoló és jellemző paraméterek értékeit szisztematikusan ellenőrizzük és elemezzük. A hajtómű olyan rendszerei és berendezéseire alkalmazható, amelyek meghibásodása a repülés biztonságára veszélyes helyzetet nem idézhetnek elő. Ezért az ilyen berendezésekre nem szükséges üzemidőket, működésszámokat, igénybevételi határokat meghatározni, technikai állapotuk teljes ellenőrzése - ami az egyéb állapot szerinti üzemeltetési formák alapköve - elmarad és az üzemeltetés, valamint az ellenőrzések csak profilaktikus [35]⁸⁵jellegűek lesznek.

⁸⁵ 22. oldal „Profilaktikus az a műszaki karbantartás, javítás során végrehajtott munka, amelyet a parametrikus (fokozatos) meghibásodások feltárása, elhárítása céljából fejtenek ki.”

A fentiekben felsorolt öt állapot szerinti üzemeltetési forma megvalósítása érdekében a következőkre kell figyelemmel lenni, meghatározó adatokat elektronikusan tárolni és elemezni:

1. **Időszakosan** a meghibásodások létrejöttének idejét, körülményeit, mennyiségét, milyenségét.
2. **Folyamatosan** a hajtómű üzem és a tipikus meghibásodásokat jellemző és meghatározó paraméterek értékeit, változásaiból levonható következtetéseket, a létrejött kopások, elváltozások növekedési sebességét (intenzitását) és kísérő jelenségeiket.

III.4. A GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ÁLLAPOTÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA ALKALMAS PARAMÉTEREK MÉRÉSE, ELEMZÉSE ÉS AZ EZEKHEZ SZÜKSÉGES TECHNIKAI ESZKÖZÖK

Ahhoz, hogy egy adott hajtómű tényleges műszaki állapotát képesek legyünk megállapítani, ismernünk kell azon elváltozásokat, meghibásodásokat, amelyek leginkább befolyásolhatják a hajtómű megbízható üzemét, illetőleg amelyek leginkább hatással vannak a repülés biztonságára. **Ilyen hajtómű meghibásodások:**

1. A hajtómű kompresszor és turbinalapátoknál:

- a lapátok kilazulása beerősítésük kopása következtében;
- a lapátok mechanikai sérülései (legtöbbször idegen tárgyak behatására);
- a kompresszorban és a turbínában lévő gázok nyomásának ingadozása;
- a turbinalapátok hő-túlterhelése miatt átégés, illetőleg a hőmérsékleti értékek intenzív ingadozásaiból eredő dilatációs mozgások okozta repedések;
- hajtómű támaszok csapágyai kopása miatt keletkezett és a tengelyre merőleges mozgások által előidézett lapátvég és hajtóműház sérülések.

Állapotuk ellenőrzésére alkalmazható eszközök, módszerek:

- endoszkópos, televíziós, számítógépes ellenőrző műszerek;
- ultrahangos lapátellenőrző műszerek;
- röntgen-ellenőrző műszerek;
- festékes repedésvizsgáló anyagok és műszerek;
- hajtómű rezgésmérő és rögzítő berendezések; (lásd: [24]!)
- hajtómű gázcsatornájában uralkodó nyomásokat rögzítő rendszerek;
- kenőolajok, hidraulika-folyadékok fémkopadék vizsgálata.

2. Az égőtér (üzemanyag-befecskendező rendszerek meghibásodása):

- a befecskendező fúvókák repedése, átégése;
- az égőtérház repedései, átégése;
- a turbina előtti hőmérsékletmező egyenetlensége, ami az első fokozat lapátjai kiégéséhez vezethet;
- az égőtér zónájában lévő hajtómű támaszok megengedettnél nagyobb hőterhelése és az ebből adódó kopások sérülések vagy repedések;
- a tüzelőanyag befecskendezési nyomásának intenzív ingadozása és az ebből adódó fordulatszám instabilitás.

Állapotuk ellenőrzésére alkalmazható eszközök, módszerek:

- a befecskendezett tüzelőanyag nyomásának folyamatos mérése és ellenőrzése;
- a turbina előtti (utáni) hőmérsékletmező hőmérsékleti eloszlásának mérései jelenleg nagyon ritkán alkalmazott módszer, mivel technikailag bonyolult és drága;
- endoszkópos, televíziós, számítógépes ellenőrző műszerek;
- a hajtómű és részegységei valamint közlőműve rezgéseinek folyamatos mérése és rögzítése;
- a kenőolaj-kopadék ellenőrzése.

3. A hajtóművek kiegyensúlyozottsága

- a rezgésértékek változása, változási sebességük intenzív növekedése;
- a hajtómű leállításakor a forgórészek túl hosszú vagy túl rövid kifutási ideje;
- szokatlan hangok, zörejek megjelenése.

Állapotuk ellenőrzésére alkalmazható eszközök, módszerek:

- a forgórészek hajtómű leállítása utáni kifutási idejének folyamatos mérése és rögzítése;
- a hajtómű „vibrációs térképének” elkészítése és folyamatos elemzése;
- a függőleges irányú (n_y) túlterhelések folyamatos rögzítése;(pl: 3.3 táblázat $n_{y\max}$)
- az olaj fémkopadék ellenőrzése és elemzése; (pl: 3.4 táblázat)
- a kompresszor és turbina-tárcsák ultrahangos, festékes vagy röntgen-vizsgálata.

4. A hajtómű működését jellemző egyéb paraméterek

- a fő és utánégető tüzelőanyag befecskendezési nyomása;
- a kompresszor és a turbina utáni gázok nyomásának értékei;
- a turbina előtti vagy utáni hőmérsékletek és azok egyenetlenségének eloszlása;
- a hajtómű kenőolaj nyomásának értéke és ingadozásának mértéke;
- a kenőolaj hőmérséklete;

- a kenőolaj szűrőin keletkező nyomásesés mérése és rögzítése.

Példa egy repülőgép maximális, függőleges túlterhelési adatai repülési feladatonkénti rögzítésére a Magyar Honvédségben:

3.3 táblázat

Repülőgép oldalszáma: 05				
N _o	Dátum	Feladat sorszám	$n_{y\max}$	Repült idő [min]
1	1994.01.06	1	3,8	43
2	1994.01.25	1	4,8	27
3	1994.01.25	2	1,3	43
4	1994.01.25	3	4,6	27
5	1994.02.02	1	2,9	40
6	1994.02.02	2	1,8	47
7	1994.06.06	1	3,2	30
8	1994.06.07	1	1,7	56
9	1994.06.08	1	2,5	45
10	1994.06.08	2	1,6	44

A korábbiakban bemutattam, hogy a hajtómű üzemét sok paraméter értéke jellemezheti, ezért közülük azokat kell kiválasztani, melyek a legjobban meghatározzák és jellemezhetik a hajtómű mindenkori állapotát, megbízhatóan, pontosan mérhető, rögzíthető, tárolható. Ez azért is lényeges, mert a műszaki jellemzők értékeinek változása, jellege, sebessége, intenzitása jól jellemzi a pillanatnyi és a várható műszaki állapotokat. Ezen túl, ha a hajtóművek meghibásodásaira jellemző és a hajtóműgyártása vagy nagyjavítása után mért kiinduló paraméterértékeket pontosan rögzítjük és tároljuk, majd a későbbiekben ezen adatokat etalonként, összehasonlítási alapként, műszaki peremfeltételként kezeljük és az üzembentartás során az aktuálisan mért értékekkel folyamatosan összevetjük, akkor jó közelítéssel már a meghibásodások létrejötte előtt prognosztizálható a hajtómű állapotváltozásainak jellege és a várható bekövetkezés valószínűsíthető időpontja.

A Magyar Honvédség Repülőműszaki Szolgálatának lehetőségei figyelembevételével a szolgálat főnöke, javaslatomra, a hajtóművekre tervezett kutatás-fejlesztési programokat kiegészítette a közlőművek lehetséges vizsgálataival és a vizsgálatok fő irányait az alábbiakban határozta meg:

- a hajtóművek és közlőművek vibráció mérése, kiinduló etalon vibrációs térképek elkészítése, tárolása;
- tribológia; (részterülete a kenőolajokban megjelenő fémkopadék mennyiségi változásának vizsgálata, eredmények archiválása)

- endoszkópos vizsgálatok számítógépes támogatással;
- az új vagy gyári javításon átesett hajtóművek és közlőművek meghatározó paramétereinek értékeinek, majd azok változásainak rögzítése, archiválása;
- az üzemeltetés folyamán keletkezett meghibásodások, azok kísérő jelenségei és a jellemző paramétereik értékeinek archiválása és etalonként való kezelése;
- a kapott adatok feldolgozására, és állapotprognózisok elkészítésére alkalmas szoftverek kidolgozása.

III.4.1. VIBRÁCIÓS MÉRÉSEK

A repülőeszközök hajtóművei (közlőművei) nagyszámú és nagytömegű, nagy fordulaton, változó gáznyomások és hőmérsékletek mellett üzemelő alkatrészekből állnak. Ezért az összetevő részegységek külön-külön és egységben történő statikus és dinamikus kiegyensúlyozottsága és az ebből adódó vibráció a megbízható működés egyik meghatározó mutatója [28]. A rezgések pontos értékeinek mérése, kiváltó okainak lokalizálása egy olyan összetett szerkezetben, mint a hajtómű nagyon bonyolult és költséges feladat. Amennyiben az alapkoncepció az, hogy a már meglévő és felépített vagy a fedélzeti rendszerekkel kompatibilissé tehető eszközöket sikerül alkalmazni, akkor a módszer igen költséghatékony lehet, amelyet mind a két alábbiakban ismertetett alapvető mérési rendszerben alkalmazni lehet, még állapotfigyelő rendszerként is. Ez a két rendszer:

- földi (**on-ground vagy ground testing**);
- fedélzeti (**on-board vagy flight testing**).

Jelenleg mindkét mérési rendszerben a hajtóművet és közlőművét egységes rezgőrendszernek tekintik. A forgórészek kiegyensúlyozottságának romlása a vibráció (rezgés) nagyságának, intenzitásának vagy frekvenciájának változását idézi elő. Ezek indikálása és elektronikus rögzítése közvetlenül információként szolgál az esetleges meghibásodásról vagy annak közeli bekövetkezésének valószínűségéről. Ezzel lehetőséget adva a teljes üzemképtelenség vagy akár ennek következményeként bekövetkező katasztrófa elkerülésére is. Az eddigi módszerek nem voltak képesek meghatározni a meghibásodások pontos helyét és a kiváltó okokat, ezért a hajtómű és közlőművek kiépítése és teljes szétszerelése nélkül nem lehetett megállapítani, hogy mi idézte elő az üzemképtelenséget.

Ez a helyzet megváltozott. A Magyar Honvédségnél eddig folytatott sikeres kísérleteink alapján már megállapítható, hogy ha egy adott hajtómű rezgési alrendszerait [50]⁸⁶ sikerül helyesen kiválasztani, rezgéseiket megbízhatóan képesek vagyunk mérni, akkor az egyes alrendszerek viselkedéséből az egészre nagyon jó következtetések vonhatók le. Könnyebben meghatározható a meghibásodás jellege, valamint a hajtómű teljes kiépítése és szétszerelése nélkül is lokalizálható a meghibásodás. Ezt sikerült a gyakorlatban is bizonyítani a **KFKI**-val korábban közösen végrehajtott „**SINUS**” (MiG-21 és MiG-23 hajtóművein) és később a „**RÉVHÁZ**” programok [24] keretében. Utóbbi a MiG-29 vadászpilóta RD-33 típusú hajtóműveken és közlőművein (KSZK) elért diagnosztikai eredményeket alapozta meg.

A programrendszer a számítógép kezelőfelületén kiválasztott parancsok segítségével lehetővé teszi az RD-33 típusú hajtóművek és közlőműveik egységes rezgésdiagnosztikai ellenőrzését. A hajtómű üzemállapot kiválasztásával a mérés végrehajtása automatikusan történik. A mérési adatok elemzése szintén automatikus. A kezelőfelületet úgy sikerült kialakítani, hogy megfelelő számítógépes alapismeretek mellett az előírt mérést és kiértékelést a rezgésdiagnosztikai vizsgálatok alapjául szolgáló berendezések kezelésének ismerete nélkül is el lehessen végezni. A programrendszer a kiválasztott hajtómű üzemállapotnak megfelelően beállítja a mérőberendezéseket, vezérli a mérési folyamatot, elemi a mérési eredményeket és végezetül elemzi azokat. Az RD-33 típusú hajtóművek vibrációs állapotellenőrző rendszere ASYST programnyelven íródott. A programnyelv sajátossága, hogy az egyes „rutinok” vagy „szubrutinok” önálló, egyszavas ASYST utasításokként jelennek meg. Ennek megfelelően a program nem más, mint ASYST szavak sorozata. Az ASYST program lehetővé teszi a kezelőfelület oldaláról nézve az egyes „rutinok” menü rendszeren keresztül történő indítását, menük egymásba ágyazását [24]⁸⁷.

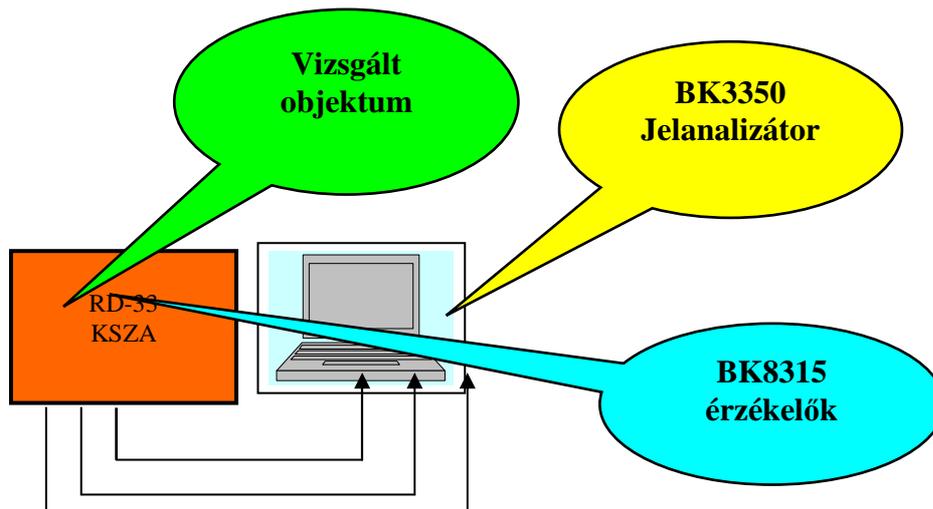
A kutatási programban két fajta mérési sorozat volt:

1. Az **elsőben**, melyben az érzékelők elhelyezése átfedésben volt. A korábbi mérések tapasztalatai azt mutatták, hogy az alkalmazott és a 3.1. ábrán szemléltetett mérési összeállítás segítségével [24]⁸⁸ már megfelelő diagnosztikai információkat kaphatunk, amelyek alkalmasak a hajtómű, valamint a közlőműház különböző pontjaiban keletkezett rezgések spektrális eloszlásának vizsgálatára.

⁸⁶ Rezgési alrendszer - Együtt és azonos frekvenciatartományban rezgő szerkezeti elemek, melyek rezgésértékei külön is mérhetők.

⁸⁷ CEAT Kft „Program Kezelési Utasítás és Leírás” 2003, november

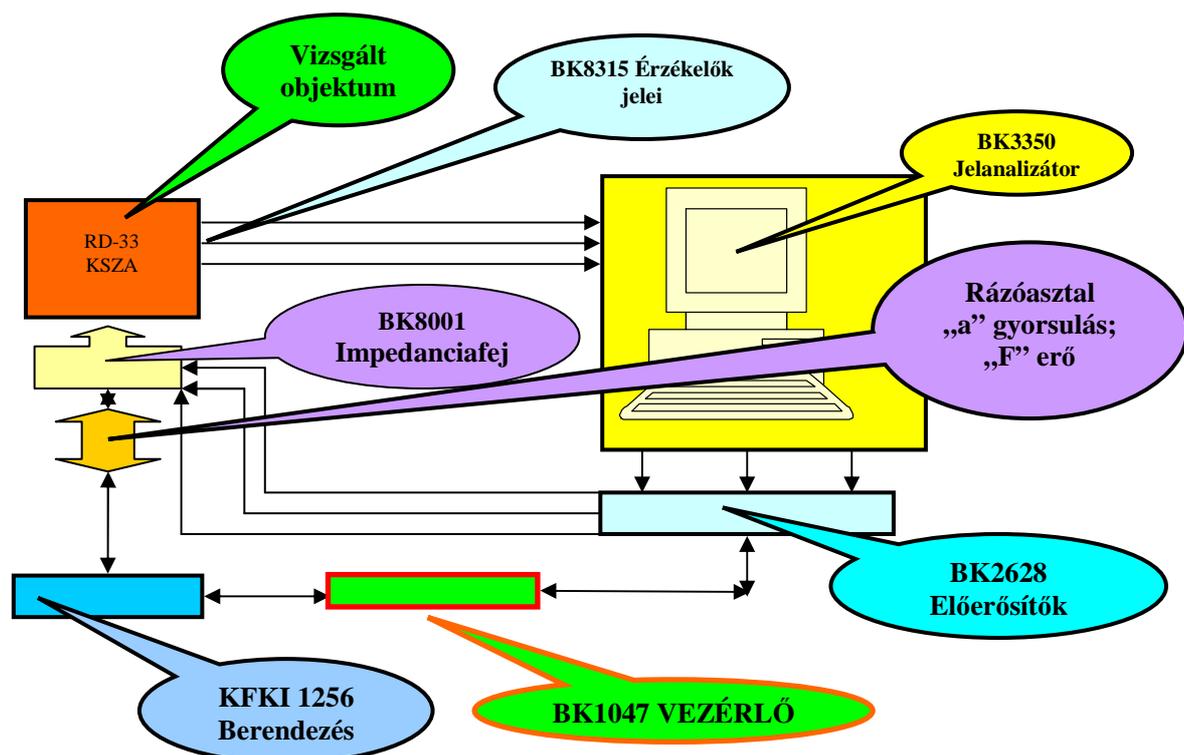
⁸⁸ 14. oldal



3.1 ábra Rezgések spektrális eloszlásának mérésére alkalmazott összeállítás blokkvázlata

2. A **második** méréssorozatban alkalmazott és kibővített érzékelő elrendezés azonban már lehetővé tette annak megállapítását is, hogy milyen esetben és mértékben csökkenthető az érzékelők száma. Ez úgy valósulhatott meg, hogy a fedélzeten rendelkezésre álló adattovábbító csatornák mindegyikét sikerült felhasználni és ezzel a MiG-29 típusú repülőgépbe beépített mind a két hajtómű adatai már egyszerre, egy időben mérhetővé váltak. Ez már jelentősen lecsökkentette a mérésekhez szükséges hajtómű üzemidőt és ezzel a szükséges költségeket is. Ezen túlmenően a vizsgálati program szerves része lett a statikusan terhelt alkatrészek (pl. hajtóműház, közlőműház) átviteli tulajdonságainak és jellemzőinek meghatározása is. Ez pedig már lehetővé tette a rezgésdiagnosztikában szokásos lassú frekvenciaváltozású gerjesztéses vizsgálati módszer alkalmazását, melynek lényege, hogy a vizsgált objektum adott helyének gerjesztésével a szerkezet különböző pontjai között mérhető átviteli jellemzők jól meghatározhatók. Az alkalmazott mérési összeállítás vázlata a 3.2 ábrán látható [24]⁸⁹.

⁸⁹ 15. oldal



3.2 ábra Az átviteli jellemzők meghatározására szolgáló mérési összeállítás

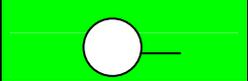
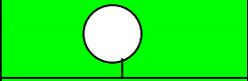
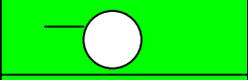
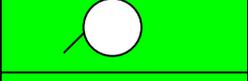
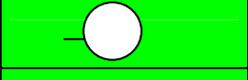
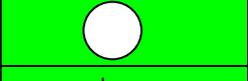
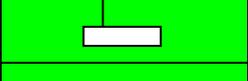
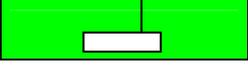
A 3.4. táblázatban bemutatom a hajtómű és közlőműházának (KSZA) vizsgálatainál alkalmazott érzékelők elrendezését és mérési irányait. Tizenegy kijelölt mérési pont volt, amelyek közül kettő közvetlenül a közlőműházhoz is kapcsolódik. A „mobil” érzékelőket a saját tervezésű és az MH Lé.Jü. által legyártott tartószerkezetek, illetőleg a kompresszorlapátok ellenőrzőnyílásait lezáró eredeti záródugók helyére szerelhető elemek segítségével lettek beépítve [24]⁹⁰.

Érzékelők elrendezési vázlata:

3.4 táblázat

Pozíció	Érzékelő pozíció	Érzékelő elhelyezés leírása	Mérési irány
I.	II.	III.	IV.
1		Jobb oldal 1. Csapágytámasz borda kikötés	Radiális
2		Ventilátor 2. fokozat	Radiális
3		Fő bekötési csomópont	Radiális

⁹⁰ 16. oldal

I.	II.	III.	IV.
4		Turbina csapágytámasz	Radiális
5		Első csapágytámasz alul	Radiális
6		Fő bekötési csomópont	Radiális
7		Fő bekötési csomópont alatt	Radiális
8		Hajtómű hátsó bekötési csomópont	Radiális
9		1. csapágytámasz	Axiális
10		Közlőműház, hajtómű felüli emelőszem helye	Függőleges
11		Tüzelőanyag szivattyú gyártási szám helye	Függőleges

Az RD-33 típusú hajtómű közlőműház rezgésanalízisének célja annak megállapítása volt, hogy - rezgésdiagnosztikai szempontból - a benne található és kapcsolódó gépészeti elemek milyen szinten érzékelhetők, illetve állapotuk milyen mértékben diagnosztizálhatók. Az elemzés magába foglalja a közlőműház által gerjesztett várható rezgések „spektrális” jellemzőinek meghatározását és ezek alapján a mért rezgésekben a gépészeti elemek azonosítását. A gerjesztett rezgések szempontjából a programban, mint diagnosztikai sajátosságokra, a következő rezgésjelenségekre kellett nagyobb figyelmet fordítani [24]:

- forgó elemek (pl. tengelyek) alap és felharmonikusai;
- az alapharmonikus a forgó elem kiegyensúlyozatlanságára, a befogás merevségének változására utal. Az első felharmonikus általában élesen reagál a forgó elem szilárdsági viszonyaiban bekövetkező elváltozásokra (pl. kezdődő repedés, zsugorkötés lazulás stb.);
- fogütközési (pl. fogaskerék, bordástengely) frekvenciák. A fogütközési frekvenciák a fogaskerék állapotára utalnak, jelzik a kapcsolódó eszközök okozta terhelések változását;
- fogütközési frekvenciák oldalsávjai (un. „**Side-lobe**”) érzékenyen reagálnak a beállítási hibákra (pl. egytengelyűség eltérése, szerelési hiba.), de élesen jelzik a tengelyhez kötött eszközök állapotában bekövetkező változásokat is.

A felsorolt diagnosztikai sajátosságok csak példaként szolgálnak. A valóságban különböző érzékenységi szinteken, de az egyes hibák egymásra való hatásuk miatt szinte valamennyi

rezgésjelenség keretében észlelhetők. Gépészeti berendezéseknél - rezgésdiagnosztikai szempontból - általában célszerű a csapágyak állapotát is vizsgálni. A korábbi méréseink tapasztalatai alapján azonban kijelenthető, hogy közvetlen mód erre nincs. Ennek okai [24]:

- a csapágyra jellemző rezgésekép frekvenciatartománya általában olyan magas (kb. 20kHz feletti), hogy érdemleges mérést csak közvetlenül a csapágyakon lehetséges végrehajtani, ami működő hajtómű esetében jelenleg még nem kivitelezhető;
- az alkalmazható érzékelők és a közlőműház szerkezetéből adódó elérhető frekvenciatartomány messze elmarad a szükségestől.

Mindezek figyelembevételével a csapágyak állapota rezgésdiagnosztikai módszerekkel csak közvetett módon értékelhető ki. A kopások miatt a csapágyhézagok növekedése, kotyogása a hajtómű forgórész merevségében olyan elváltozásokat eredményez, amelyhez hasonlókat a fogütközési jelenségek esetében tapasztalhatunk.

A közlőműház mechanikai szerkezete és annak viselkedése szintén jelentős mértékben befolyásolhatja a forgó egységek által okozott vibrációs folyamatokat, mert egy szerkezet rezgéseket átadó, továbbító képessége nagyban változhat annak gépészeti kialakításától is. Ezért ezeket a tulajdonságokat, azaz átviteli jellemzőiket ismernünk, mérnünk szükséges, mert a mérési eredmények alapján akkor már eldönthető, hogy:

- a közlőműház, a tüzelőanyag és hidraulika szivattyú egy vagy egymástól független mérési pontot igényel;
- a forgó alkatrészek diagnosztizálhatóságának „mélysége”, a nyert adatok információtartalma.

Az eredményesség érdekében a beépítésre kerülő hajtóművekről és közlőművekről a repülőgépbe történő első beépítéskor részletes rezgéstérképek⁹¹ elkészítését kezdtem meg, amivel párhuzamosan már készülnek a jellegzetes meghibásodásokat leíró rezgéseképek is, kiegészítve a technológiai utasításokban meghatározott paraméteres szélsőértékekkel. Ezeket, mint etalonokat a megfelelő számítógépes program (lásd: „ASYST” az értekezésem 86. oldalán!) segítségével folyamatosan össze lehet majd hasonlítani az aktuálisan mért értékekkel és így együtt már jól nyomon követhetők a hajtóművek állapotváltozásai.

A kiinduló és a szélső állapotok közötti változások jellege alapján jó megközelítéssel megállapítható az üzemképtelenség várható ideje, azaz ÁLLAPOTPROGNÓZIST készítettünk, tehát a hátralévő üzemidőt meghatároztuk.

⁹¹ A hajtómű és közlőmű különböző üzemmódjain és méréspontjain megkapott, összesített rezgésértékek.

Az eredményesség a hajtómű típusától függetlenül garantálható mind az **on-ground**, mind az **on-board** mérési rendszer esetében, de a legeredményesebb, ha a kettőt összehangoltan, együttesen alkalmazzuk. A hatékonyság még tovább fokozható lenne, ha a megfelelő mérési lehetőségeket már gyári beépítések, felszerelések biztosítanák. Az előzőekben bemutattam, hogy a Magyar Honvédségnél elvégzett kísérleteink igazolják azt a feltételezésemet, hogy nagyon jó eredmények érhetők el a diagnosztikai lehetőségek utólagos beépítésével is, amennyiben a megfelelően kialakított mérőrendszerrel a szükséges adatbázisokat sikerül összeállítani és ehhez a megfelelő feldolgozó szoftvert is kidolgozni.

Értekezésemnek nem tárgya, de belátható, hogy a hajtómű egyéb meghatározó paraméterei értékeivel történő együttes kezelés, összehasonlítás, analízis (égőtér, turbina előtti-utáni hőmérsékletek, nyomásviszonyok, üzemanyagnyomás változásai, fordulatszámok, forgórészek leállítás utáni kifutása, tribológia, endoszkópia stb.) nagyon jó alapot adnak a hajtómű állapot szerinti üzemeltetésre történő átállításához. Ezen eszköztárból én a kutatás-fejlesztési programok keretében egyelőre még csak a "tribológia" és az „endoszkópia” adta lehetőségeket vizsgáltam meg.

III.4.2. TRIBOLÓGIAI VIZSGÁLATOK

A repülőgépek, de különösen a nagy terhelésekkel repülő vadászgépek esetében már 40-45 éve alkalmazzák a tribológiai⁹²vizsgálatokat. Az egyik eljárás az úgynevezett „fémforgácsjelző” (pl: VSZ-1 a MiG-21 hajtóművein) volt, a másik pedig az olaj és hidraulikarendszerek finomszűrőinek ellenőrzési rendszere. Itt a megengedhető vagy nem megengedhető szennyeződés mértékének, illetőleg anyagféleségének vizsgálata egy sajátos tribológiai ellenőrzésnek fogható fel. Különösebb előrejelzésre vagy állapot meghatározásra ez nem volt alkalmas, de repülésbiztonsági szempontból nagy jelentőséggel bírt. A technika fejlődésével és az egyre nagyobb pontosságú, megbízhatóságú mérőeszközök, műszerkomplexumok megjelenésével lehetőség nyílt az olajok (kenő és hidraulika) olyan ellenőrzésére, amely már állapotváltozások prognosztizálására, meghibásodások analizálására is alkalmassá vált. Ismert, hogy bizonyos fémek, elemek mikroszkopikus megjelenése a rendszer vagy annak egyes elemei belső elváltozásai előjelének is tekinthető. Ilyen elváltozás:

- abrazív kopás (kemény részecske kerül a súrlódó felületek közé, karcot, rovátkát okoz);

⁹² A TRIBOLÓGIA meghatározása a „Fogalmak Magyarázata” című fejezetben található.

- adhéziós kopás (száraz futás, kenési elégtelenség hideg felkenődést, berágódást okoz);
- felületi kifáradás (változó felületi erőhatások kereszt és fésűs repedéseket okoznak);
- tribooxidáció (a hőmérsékletemelkedés, vagy korrózió következtében kémiai reakció játszódik le a kenőanyagban, ami a kopás növekedését okozza);
- korrózió.

Az elmúlt idők gyakorlatában, az MH Légijármű Javítóüzemben egy modern spektrométerrel (**BAIRD MOA multielement oil analyzers**) jó eredménnyel végeznek tribológiai vizsgálatokat. Egy elvégzett vizsgálat eredményét példaként szemléltetem a 3.5. táblázatban bemutatott mérési jegyzőkönyv részlettel.

Egy hajtómű, MH Lé.Jü.-ben végzett tribológiai mérésének eredménye ⁹³:

3.5.táblázat

Tribológiai vizsgálataink eredménye:	
Repülőgép oldalszáma/hajtómű:	19/baloldali hajtómű
Hajtómű gyári száma:	87...149
A hajtómű ledolgozott összüzemideje:	170h 59p
Vizsgált olaj:	IPM-10
Az olaj ledolgozott ideje:	87h 20p
A vizsgálat időpontja:	10. Február 2007. 14ó 14p
Fe koncentráció	0.49 ppm
Al koncentráció	0.29 ppm
Cr koncentráció	0.12 ppm
Cu koncentráció	0.17 ppm
Ni koncentráció	0.39 ppm
Pb koncentráció	0.20 ppm
Sn koncentráció	1.01 ppm
Ti koncentráció	1.17 ppm
Cd koncentráció	0.00 ppm
Zn koncentráció	0.19 ppm

A fenti gyakorlattal párhuzamosan biztató eredményeket mutatott még a „**Végvár**” fedőnevű⁹⁵ kutatás-fejlesztési program is, de a rendszeresítésig sajnos még ez nem jutott el [41].

Ebben a kutatás-fejlesztési programban a **neutronaktivációs analitikai vizsgálatban** rejlő diagnosztikai lehetőségek elemzésére került sor [41]. Ennek lényege, hogy a vizsgálandó minta stabil izotópjaiban a reaktorból származó termikus neutronokkal besugározva

⁹³ A ppm – part per million (milliomod rész) rövidítése, melyet kis mennyiségű összetevők mértékegységeként használunk. Gyakran így adnak meg szennyező, mérgező anyagmennyiségeket a kémia, biológia, környezetvédelem stb. területén.

⁹⁵ Neutronaktivációs kenőolaj analitikai vizsgálatai

magreakciót idézünk elő. Az így keletkezett radioaktív izotópok gammasugárzást bocsátanak ki, melyeket speciális mérési technikával mérve rendkívül nagy pontosságú adathalmazt szolgáltat és érzékeny elemzéseket tesz lehetővé. Értékelhető adatokhoz lehet jutni igen kis mennyiségű anyagminta esetében is (100 mg-nyi), amely a mérés után is megőrzi eredeti kémiai tulajdonságait. *Egyetlen vizsgálat keretében az összetevő elemek szinte teljes spektruma vizsgálható, amely mintánként több mint harminc elemet is jelenthet.*

A finanszírozási nehézségek miatt a program végrehajtása nagyon lelassult, de ennek ellenére biztató eredményeket sikerült elérni. Tekintettel arra, hogy a megvizsgált hajtóművekről és közlőművekről még statisztikailag kevés adat áll rendelkezésre, a mérési eredmények jelenleg még nehezen értékelhetők. Amennyiben az adatgyűjtés folytatódik, akkor rendelkezésre állhat a megfelelő nagyságú adathalmaz, amely már a különböző approximációs⁹⁶ technikák és stratégiák segítségével a riasztási szintek jól követhetők, a hibákhoz tartozó mérési adatok pontosan meghatározhatók lesznek. Ez azt jelenti, hogy megbízható, egyszerűen hasznosítható állapotprognózisok állíthatók fel [41]⁹⁷.

III.4.3. ENDOSZKÓPOS ELLENŐRZÉSEK

Tekintettel arra, hogy a Magyar Honvédségnél elfogadott megnevezés az endoszkópia⁹⁸ lett, ezért a továbbiakban én is ezt a terminológiát alkalmazom.

A hajtóművek és a sárkányszerkezeti vizsgálataimhoz is használt, egy jó nevű cég által gyártott és itthon beszerzett endoszkópos, számítógépes műszerkomplexum a repülőgépet és a hajtóművet gyártók által használatra előírt műszerek pontosságát messze felülmúlja. Ezért olyan meghibásodásokat, elváltozásokat, repedéseket is sikerült kimutatni, amelyeket az előírt gyári technológia szerint elvégzett ellenőrzésekkel lehetetlen lett volna. Az ezekről készített jó minőségű képek, amelyeken a repedésméreték is jól kivehetők, elektronikusan rögzíthetők, tárolhatók, ezért a technológiában megadott határértékeik eléréséig - azaz a teljes kifejlődésük folyamata - figyelemmel kísérhető. Ez pedig már biztosítja a repülőgép és a hajtómű üzemképtelenségi állapotának elérését valószínűsítő időpont nagy pontosságú prognosztizálhatóságát. A legtöbb és a legkézzelfoghatóbb eredményeket a hajtóművek endoszkópos vizsgálatainak területén sikerült elérni. A méréseink nagyfokú megbízhatósága, pontossága a gyártóállalat elismerését is kivívta, ami lehetővé tette a Magyar Honvédség

⁹⁶ Approximáció – a matematikában, vagy annak fizikai alkalmazásaiban használatos módszer, amely ugyan nem adja meg az egzakt megoldást, azonban lehetővé teszi a közelítő megoldás megtalálását

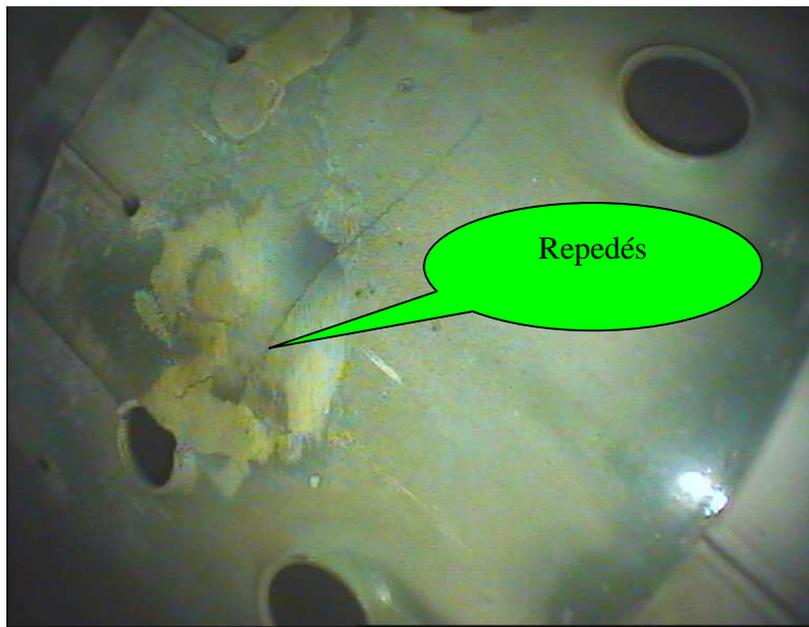
⁹⁷ AID 250/996 Jelentés 21-22. o.l

⁹⁸ Az endoszkópia meghatározása a „Fogalmak Magyarázata” című fejezetben található

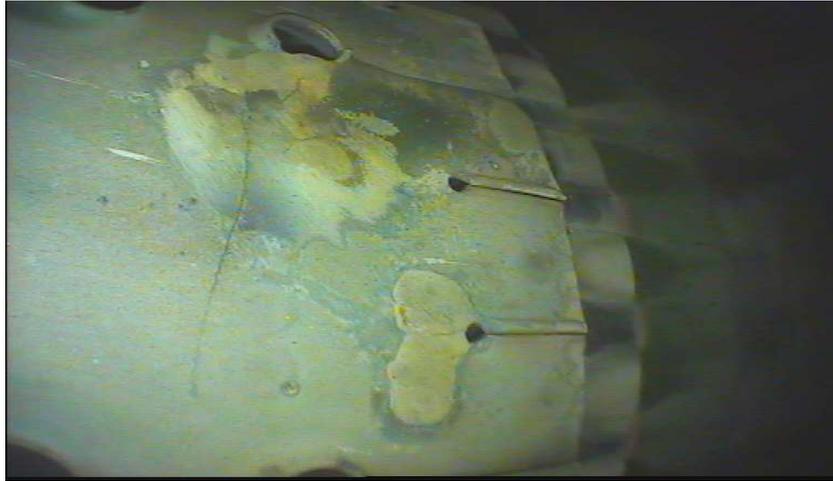
által üzemeltetett RD-33 típusú hajtóművei eredeti 350 órás, első javításközi üzemidejének 700 órára történő meghosszabbítását. A további finomítások és az egyre szélesebb körű alkalmazásnak köszönhetően pedig a nem megfelelő minőségben elvégzett ipari nagyjavítások miatt keletkezett meghibásodásokat időben, még a garanciális idejük lejártá előtt sikerült felfedezni vagy kialakulásukat megakadályozni. A garanciális követelések jogosságát a magyar fél teljességgel bizonyítani tudta, így az ezekből adódó anyagi terheket teljes egészében a javítóvállalatnak kellett viselnie. A továbbiakban néhány gyakorlati példát mutatok be csak a hajtóművekről:

1. **870881272167** gyári számú RD-33 típusú hajtómű égőtér sérülése.

Az égőtér repedése a nagyjavítás után elkezdődött és 31 óra ledolgozott üzemidő után 32 mm hosszúságot ért el. A repedésnövekedési sebességéből valószínűsíthető volt, hogy a garanciális időn belül a repedés hossza meghaladja a Technológiai Utasításokban (továbbiakban:TU-ban) megengedett 35 mm hosszúságot. (3.3 ábrák különböző aspektusból)

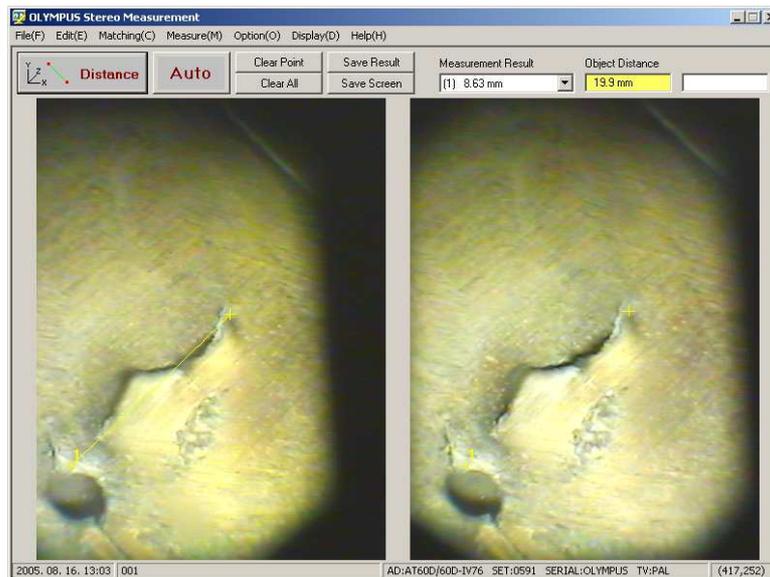


3.3/a ábra

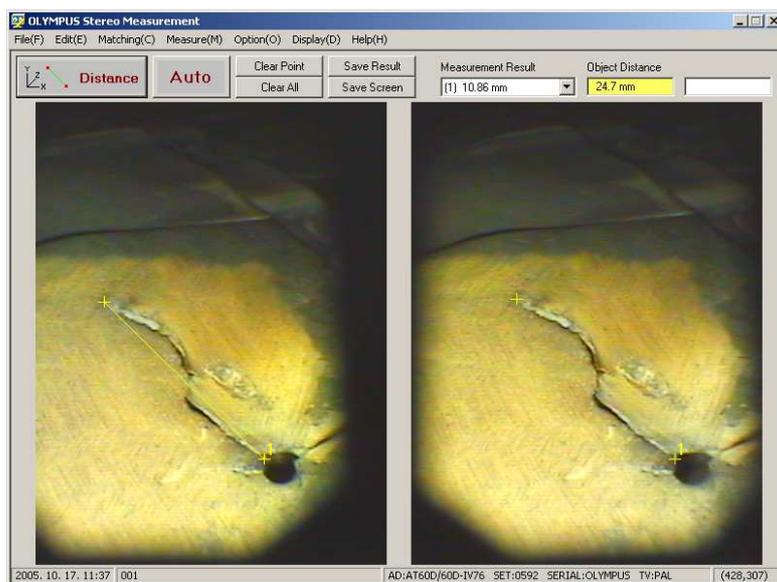


3.3/b ábra

2. 870881672005 gyári számú RD-33 típusú hajtómű garanciális javítás utáni égőtér sérülése
A garanciális javítás utáni első hajtómű beépítés előtti ellenőrzés során feltárták az égőtér TU szerint még megengedett repedését, 8,63 mm hosszúságban, melyet a javítóvállalat nem javított ki. Az üzemeltetés során a repedés tovább növekedett, 47 óra 26 perc üzemidő elérésekor a repedés hossza 10,26 mm volt, amely a garanciális időn belül lehet, hogy még nem haladja meg a TU- ban megengedett 15 mm hosszúságot, de a repedés fejlődéséből látszik, hogy a hajtómű láthatóan nem lesz képes ledolgozni a javításközi üzemidejét.



0óra 00 perc üzemidőnél
3.4/a ábra

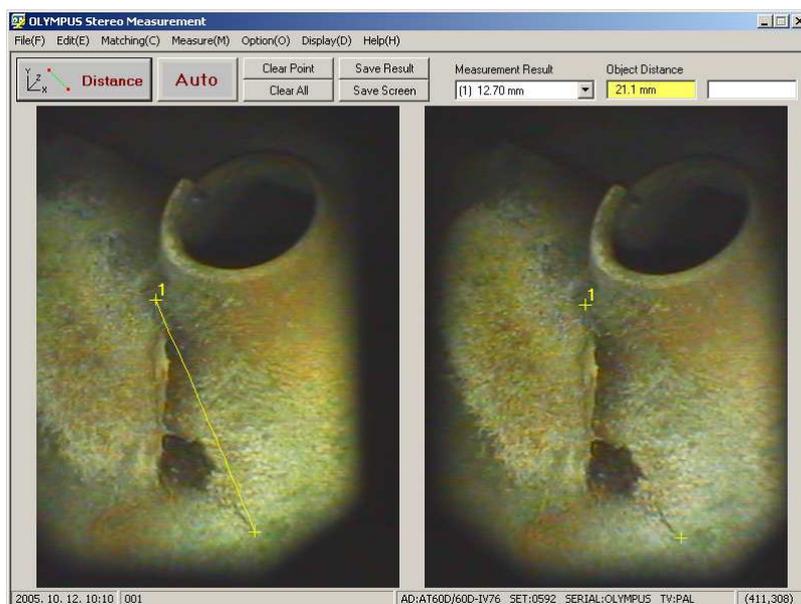


47 óra 26 perc ledogozott üzemidő után

3.4/b ábra

3. 870882272102 gyári számú RD-33 típusú hajtómű égőtér sérülése

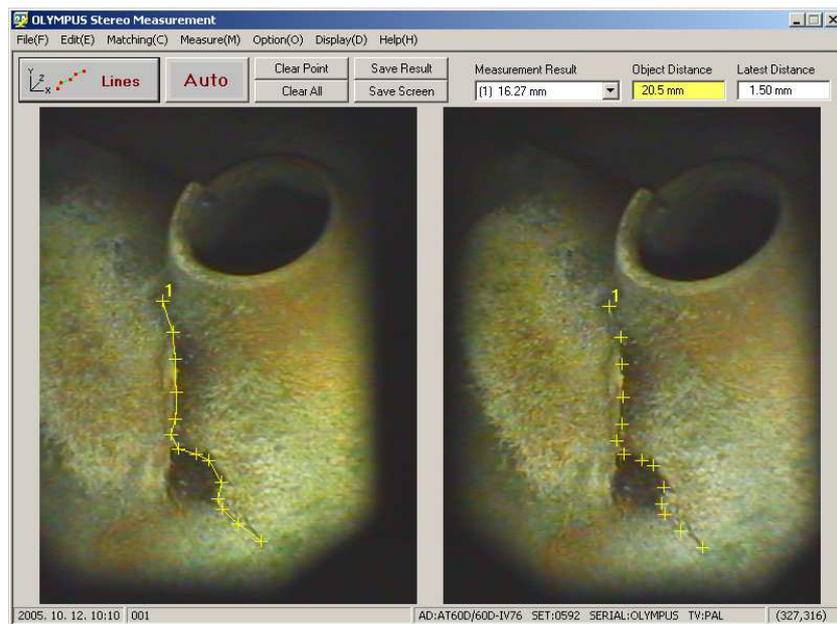
Az égőtér repedése a nagyjavítás után közvetlenül keletkezett, és 65 óra ledolgozott üzemidő után 16,27 mm hosszúságot ért el. A repedés növekedési sebességéből megállapítható, hogy a garanciális időn belül a repedés hossza nem haladja meg a TU-ban megengedett 35 mm-t, de a hajtómű nem képes ledolgozni a teljes javításközi üzemidejét (3.5 ábrák).



3.5/a ábra



3.5/b ábra



3.5/c ábra

KÖVETKEZTETÉSEK

1. A kutatások eredményei alapján megállapítottam: a vibrációs, a tribológiai és az endoszkópos ellenőrzéseket egy komplex rendszerbe célszerű integrálni. A gyári új vagy ipari javítások utáni állapotukat jellemző, illetőleg az üzemben tartás folyamán keletkezett jellegzetes meghibásodások paraméterértékeit, adatait és a technológiákban még megengedett üzemeltetési paraméterek szélsőértékeit, etalonként kezelve, majd azokat az aktuális mérések

eredményeivel folyamatosan összehasonlítva, a vizsgált területeken, a hajtóművek és a közlőművek állapotának, valamint a hidraulikarendszerek működőképességének meghatározására az eddig külön-külön megkapható állapotprognózisoknál megbízhatóbbak készíthetők.

2. A bemutatottak alapján is kijelenthető: a repülőgépek hajtóművei üzemidejének növelése az üzemeltetési költségek csökkentésének, azaz a gazdaságos üzembentartásnak is egy igen fontos eleme. A repülőgép hajtóművek üzemidejét növelni azonban a megbízhatóságuk növelése nélkül nem lehetséges. A megbízható működésnek alapvető feltétele a hajtóművet gyártó és nagyjavító vállalatok által kidolgozott és jóváhagyott technológiák szigorú betartása, a hajtóművek működését biztosító kiszolgáló rendszerek, egységek, fő szerkezeti elemei megbízhatóságának folyamatos növelése, amelyben mind nagyobb szerephez jutnak az üzemeltetők által kidolgozott, a gyártóval vagy a javítóvállalattal való együttműködés keretében is bevezetett diagnosztikai módszerek, eszközök segítségével kapott információk folyamatos számítógépes elemzése, feldolgozása.

3. A bevezetett diagnosztikai eljárások eredményeképpen **sikerült az RD33 típusú hajtóművek első javításközi 350 órás üzemidejét 700 órára megnövelni.** Meggyőződésem, hogy ez vezet majd oda, hogy a hajtóműveket is képesek legyünk a tényleges állapot szerinti üzembentartás stratégiája szerint a lehető legtovább és a lehető leggazdaságosabban „szolgálatban” tartani, azaz az üzembentartási költségeket az optimális minimumra leszorítani.

ÖSSZEGEZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A Magyar Honvédség által üzemeltetett repülőtechnika állapot szerinti üzembentartásra történő áttérése tervszerűen a gyártóval egyeztetett program szerint valósult meg, melynek végrehajtása során sikerült:

1. A technikai állapot pontos meghatározása, elemzése, az időszakos vizsgák végrehajtásának, a repülőgép színtezési eredményeinek, a repülőgép dokumentációjának előírásos vezetésének, az egyes repülőgépek üzembentartási sajátosságainak, a sárkányszerkezet és berendezései vizsgálata. (Lásd 1.1. és 1.2. táblázatok).
2. A repülőgépek tényleges terhelésének, igénybevételi állapotának kiértékelése (1.3 táblázat és 1.1. ábra).

3. A fedélzeti rendszerek és különböző berendezések meghibásodásának repülésbiztonságára való hatásainak vizsgálata, azaz kockázatelemzés végrehajtása (1. és 2. sz. mellékletek), majd ennek eredményeképpen az egyes rendszerek és berendezések kiszolgálási stratégiájának meghatározása (3. sz. melléklet).
4. Felhasználva a kockázatelemzés eredményeit - a gyártó jóváhagyásával - elkészíteni a korlátozott üzemidejű berendezések, blokkok, műszerek listáját.
5. Az előzőek alapján meghatározni és a dokumentációba rögzíteni a technikai kiszolgálás módozatát és periodicitását.
6. A földi kiszolgáló eszközök, ellenőrző berendezések felsorolásának és a minimálisan szükséges fogyó és karbantartó anyagok mennyiségének meghatározása.

Ezek után új technikai kiszolgálási dokumentáció is vált szükségessé, ami már a Magyar Honvédségben - repülőgépek üzemeltetésének területén szerzett – tapasztalataimat, kutatási eredményeimet is felhasználta. Így a Magyar Honvédségnél bevezetett állapot szerinti üzemeltetés tervszerű kiszolgálása a következő elemekből tevődik össze [15; 16.]:

- operatív technikai kiszolgálás, ami a repülés előtti, ismételt és repülés utáni előkészítéseket foglalja magába;
- periódikus ellenőrzések, melyeket két technikai állapotfelmérés között kell végrehajtani;
- célirányos átvizsgálások és ellenőrzések (amennyiben szükségesek);
- meghatározott üzemidők elérése után végrehajtandó műszaki-technikai állapot felmérés, amit a szükség szerinti, javító – helyreállító munkálatok zárnak le.

Az állapot szerinti üzemeltetés keretei között, az **operatív** kiszolgálási munkálatok mélysége és mennyisége jelentősen lecsökkent, ezért az eddigi humán és egyéb erőforrás szükséglet a jövőben érzékelhetően kevesebb lesz.

A **periódikus ellenőrzések**, munkálatok tartalma:

- sárkányszerkezet átvizsgálása;
- a sárkány rendszerei és berendezéseinek ellenőrzése;
- szűrőberendezések tisztítása;
- fedélzeti rendszerek és berendezéseinek ellenőrzése, szükség szerinti beállítás, az esetleges meghibásodások kijavítása.

A periódikus ellenőrzéseket minden 200_{-20}^{+40} repült óra vagy 24_{-2}^{+4} hónap után kell elvégezni.

Ennek a humán erőforrás igénye 100 fő·óra, ami a gyakorlatban 2 nap alatt végezhető el. [18]⁹⁹

⁹⁹ 153. oldal

A **célirányos átvizsgálások** és ellenőrzések szükségességét a következők indokolják:

- az időjárási és klimatikus viszonyok különbözősége, változékonysága;
- az üzemeltetés során felmerülő tervezési vagy gyártási hiányosságok;
- az üzemeltetési szabályok be nem tartása;
- az üzemeltető állomány kiképzettségének foka, tapasztaltsága stb.

A **műszaki-technikai állapotfelmérések** és az azt követő - a technikai kiszorgálások rendszerében egy teljesen új elemként beépülő - javító-helyreállító munkálatok az eddigi gyakorlat szerinti ipari nagy, közepes és profilaktikus javításokat váltják fel. A **legfőbb célja az ellenőrzés** és csak szükség esetén egészül ki a javító - helyreállító tevékenységgel.

Az első ellenőrzésre javasolt üzemidő ciklus 1000^{+100} repült óra vagy 20 év. [18]¹⁰⁰

A Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépei állapot szerinti üzemeltetésre történő áttérése óta ez a ciklusidő már 1400^{+100} órára módosult. Ez 40%-os üzemidő nyereséget és jelentős erőforrás megtakarítást jelent.

Javító-helyreállító tevékenységen a javítások, nagyjavítások, a teherviselő elemek, illetőleg a fedélzeti rendszerek berendezéseinek cseréjét értjük.

Javító - helyreállító munkálatok fajtái:

- **ÁLLANDÓ**, ami a konstrukciós elemek cseréjét, javítását, a berendezések javítását jelenti abban az esetben, ha elérték az aktuális üzemidejük 80%-át, valamint, ha a berendezések technikai állapotának felmérése ezt indokolja. A kidolgozott munkapont felsorolást végső soron a gyártó határozta meg a „LEADER” gépeink ellenőrzése, vizsgálatának eredményei, az általunk gyűjtött tapasztalatok és megtett javaslataink alapján.
- **VÁLTOZÓ**, ami döntően a műszaki-technikai állapot felmérések eredményeitől és az azok során tapasztaltaktól függ.
- **MODERNIZÁCIÓS**, módosító, helyesbítő munkálatok, közlönmunkák, innováció.

A technikai állapotfelmérés 180-200 fő-óra munkaráfordítással, 2-2,5 nap alatt hajtható végre, amit természetesen a szükségessé váló helyreállító munkálatok nélkül kell érteni. [18]¹⁰¹

Az állapot szerinti üzemeltetés két szinten valósul meg:

- **első szint:** operatív kiszorgálási formák, célellenőrzések, melyeket az üzemen tartók (századok, alegységek) végeznek el;
- **második szint:** periódikus kiszorgálási formák, állapotfelmérések és ellenőrző – helyreállítási tevékenységek, amit a javító szervezetek, a Magyar Honvédség esetében,

¹⁰⁰ 154. oldal

¹⁰¹ 156. oldal

a jól felkészült és felszerelt, „auditált” laboratóriumokkal rendelkező Légijármű Javítóüzem végez.

A véglegesített üzembentartási módozat összefoglalva:

- operatív kiszolgálási formák;
- céll ellenőrzések;
- a periódikus ellenőrzések 200 óránként vagy 24 hónaponként;
- a technikai állapotfelmérések:
 - 1000 óránál vagy 20 év naptári üzemidő lejártakor;
 - 2000 óránál vagy 25 év naptári üzemidő lejártakor;
 - 3000 óránál vagy 30 év naptári üzemidő lejártakor;
 - 3500 óránál vagy 35 év naptári üzemidő lejártakor.

Egészen **n•1000 óráig** vagy **n•10 év naptári idő lejártáig**

Ahol az **n = 3-5** [18]¹⁰²

EMLÉKEZTETŐÜL - AZ EREDETI ÖSSZTECHNIKAI ÜZEMIDŐ 2500 ÓRA VAGY 20 ÉV VOLT, SZEMBEN A JELENLEGI 5000 ÓRA VAGY 50 ÉV LEHETŐSÉGÉVEL!

Az üzembentartási költségek változása:

A MiG-29-es típusú repülőgépek állapot szerinti üzembentartásának gazdaságossági értékelését az egy repült órára eső költségek összehasonlítása alapján végeztem el. Tekintettel arra, hogy a kiszolgálási rendszerünk alig tér el a gyártó előírásaiban meghatározott üzembentartási módozattól, így az ő költség-meghatározásuk a hazai viszonyokra is adaptálható volt.

Költségelemek a következők:

- a kiszolgáló állomány személyi és bérköltségei;
- a kenő az üzem és tüzelőanyag költségek (továbbiakban – üzemanyagköltségek);
- az üzemképesség fenntartásának, biztosításának költsége (üzembentartás);
- a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei.

Az összehasonlítást az 4.1. számú táblázatban és az 4.1. számú ábrán mutatom be.[15;16][18]¹⁰³

¹⁰² 166. oldal (megjegyzés: a MiG-29K/KUB estében, a repült időre vonatkozóan az n= 5-7 is lehet)

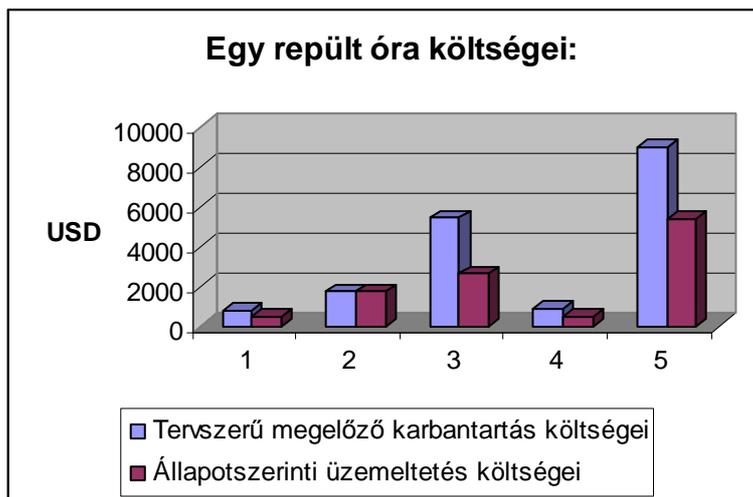
¹⁰³ 158. oldal

A üzemeltetési filozófiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítása:

4.1 táblázat

Költségelemek megnevezése	MiG-29 egy repült órára eső költségösszetevők:				Költség csökkenés %-ban
	Tervszerű megelőző karbantartás költségei		Állapot szerinti üzemeltetés költségei		
	USD	Összköltség %-ban	USD	Összköltség %-ban	
a személyi állomány bérköltségei	813	9,3	491	9,0	39,6
a kenő és üzemanyagköltségek	1767	19,7	1767	32,6	0,0
az üzemképesség fenntartásának költségei	5444	60,8	2657	49,0	51,2
a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei	920	10,2	497	9,4	46,0
A költségelemek csökkenése átlagban					34,2
Repült órára eső összesített költségek	8944	100,0	5412	100,0	39,5

8944USD - 5412USD = 3532USD (csökkenés = 39,5%)



Ahol:

1. a személyi állomány bérköltségei;
2. a kenő az üzem és tüzelőanyag költségek;
3. az üzemképesség fenntartásának költségei;
4. a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei;
5. **ÖSSZESÍTETT KÖLTSÉGEK.**

4.1 ábra A különböző üzemeltetési stratégiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítása

Az 4.1. sz. táblázat és az 4.1. sz. ábrán látható, hogy az állapot szerinti üzemeltetésre való áttéréssel a repülőgépek üzemeltetési költségei közel 40%-kal csökkentek.

A közvetlen kiszolgálás egyszerűsödése következtében az ipar javítások humán erőforrás igénye drasztikusan lecsökkent, így a kiszolgáló személyzethez köthető költségek 39,6%-kal lettek kevesebbek.

Az üzemképesség biztosításának költségei 51,2%-ot, a szükséges földi kiszolgáló eszközök számának csökkenése miatt a fenntartási költségei pedig 46%-ot estek.

A költségek csökkenésének fő okai:

- a jelentős humán és materiális erőforrásokat igénylő ipari javítások megszüntetése, a megbízható ellenőrző és diagnosztikai eszközök és módszerek alkalmazása;
- a közvetlen kiszolgálási tevékenység egyszerűsítése a szükséges munkaráfordítások csökkentése;
- az ellenőrzések megbízhatósági szintjének növekedése, amely lehetővé tette a javítás közti üzemidők megnövelését, ezzel a szükséges berendezés és elemcserék számának csökkenését.

A KUTATÁSI TEVÉKENYSÉG ÖSSZEZEGÉSE

A repülőszerkezeteket és hajtóműveiket a ténylegesen állapot szerinti üzembentartási stratégiának megfelelően, komplex diagnosztikai egységként, napjainkig csak kevesen vizsgálják. Az eddig közismertté vált állapot szerinti üzembentartásnak nevezett, de inkább marketing célzatú módszerek egy fajta költségmegtakarítást eredményeznek. Az ilyen üzembentartási stratégiákban a repülés biztonságát döntően befolyásoló komplex kockázatelemzés, a sárkányszerkezet, a hajtóművek és közlőművek - helikopterek esetében a forgószárnylapátok - hatékony, minden repülőgéptípusra és hajtóműre egyaránt alkalmazható vizsgálati módszerei nincsenek kidolgozva, csak az adott repülőgépre, a gyártó hosszú távú gazdasági érdekeit kiszolgáló megoldások léteznek. A javítási költségek az új berendezés árának 60%-át is elérhetik, de a gyártók által előírt kötelező javításokat meghatározó üzemidők, működési ciklusok vagy a műszaki-technikai állapotokat meghatározó peremfeltételek jelentős működési tartalékokat hagynak a berendezésekben. Ez a javítást végző vállalatok ténylegesen szükséges humán és pénzügyi erőforrás ráfordításait jelentősen lecsökkentik, ami a javítónak nagy nyereséget, a fenntartónak, megrendelőnek pedig fölösleges kiadást, veszteséget jelent. Megítélésem szerint ezért az általuk használt megnevezésével ellentétben és valós tartalmát tekintve ez nem nevezhető tényleges állapot szerinti üzembentartásnak. Éppen ezért nagy jelentőséggel bír az, hogy a **tervszerű megelőző karbantartásra épült üzembentartási stratégia szerint üzemeltetett MiG-29 típusú repülőgéppel rendelkező országok közül elsőnek a világon a Magyar Honvédségnél sikerült gyakorlatban is bevezetni a tényleges állapot szerinti üzembentartás stratégiáját**, ami jó esélyt ad a Magyar Honvédségnél ma még meglévő

magas szintű üzemeltetési kultúra, szellemi kapacitások megőrzésére. Ennek révén úrrá tudunk lenni a kialakult negatív folyamatokon, ami napjainkban sajnálatosan arra irányul, hogy az importból beszerezhető repülőgépeinket, egyre inkább „importált” szakemberek is üzemeltessék. A hazai szakemberekre egyre inkább csak a kevésbé kvalifikált munkálatok jutnak. A magas és állandóan növekvő üzemeltetési költségek mellett élnünk kell a saját szellemi és humán erőforrásainkból adódó előnyökkel, a tényleges állapot szerinti üzembentartás adta lehetőségekkel, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez (mint korábban már bemutattam, ez 30-40%-ot is kitehet). E mellett szól az is, hogy a bevezetésével elérhető pozitív eredmények, **repülőgép típustól függetlenül**, bármely jelenleg vagy jövőben rendszerbe állítandó repülőeszközöknél is realizálhatók. Ehhez az általam leírt diagnosztikai módszereket folyamatosan gyarapítani, modernizálni és egy komplex rendszerbe szükséges integrálni. Az értékelésekhez szükséges adatbázisokat, szoftvereket folyamatosan bővíteni, fejleszteni kell, és így az új üzemeltetési stratégia a gyakorlatban is hatékony, költségtakarékos megoldást fog eredményezni.

A Magyar Honvédségnél a tényleges állapot szerinti üzemeltetésre történő áttérés csak úgy válhatott lehetővé, hogy az üzemeltető állományunk - ezen belül kiemelten a MH Légijármű Javítóüzem és a Kecskeméti Repülőbázis szakembergárdája - már hosszú ideje nem csak képes alkalmazni a korszerű roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket, technológiákat, egyéb diagnosztikai eszközöket, hanem az auditált laboratóriumaikban fejlesztik is azokat. Így képesek megalapozott, kellő mélységű, nagy pontosságú és megbízhatóságú műszaki-technikai állapotfelméréseket végezni, amit a repülőgép sárkányszerkezetein magas szintű javítási-helyreállítási tevékenységgel be is tudnak fejezni.

ÖSSZEFOGLALÓ VÉGKÖVETKEZTETÉS

A helyesen megválasztott és az adott típushoz adaptált diagnosztikai eszközökkel, műszerekkel a repülőgépek és a hajtóműveik tényleges műszaki állapota nagy pontossággal meghatározható. Amennyiben a vizsgálatok eredményeit megfelelően képesek vagyunk kiértékelni, akkor megnyílik a lehetőség más, költséghatékony üzembentartási stratégiák bevezetése előtt.

Az azonos típusú, azonos ledolgozott üzemidővel rendelkező repülőeszközök az üzemeltetési és üzembentartási tényezők különbözősége miatt jelentősen eltérő műszaki-technikai állapotban lehetnek. Ezért új megközelítési módszerek kidolgozása vált szükségessé, amelyek alapján biztonságosan megállapítható a repülőgépeken végzendő időszakos és javítási

munkák mélysége, mennyisége, tartalma és periodicitása. Erre jelenleg legalkalmasabb a tényleges műszaki állapot szerinti üzembentartás. Ismeretes, hogy a repülés biztonságát a repülőgép összes fedélzeti rendszere befolyásolja, de a repülőgép élettartamát is meghatározó legdöntőbb elem a sárkányszerkezet. Ahhoz, hogy a repülőgép tényleges élettartama kiszámítható legyen, meg kell valósítani a teherviselő és erőátviteli szerkezetek üzembentartása során létrejövő elváltozásainak megfelelő kontrolját és ismerni kell az elváltozások időbeni lefolyását. Ennek leghatásosabb módja a szerkezeti elemekben létrejövő repedések kifejlődésének és teherviselő képességükre gyakorolt hatásukat leíró számítási modell felállítása. Így meg lehet állapítani a meghibásodásokkal szembeni érzékenységet, a szerkezetek ellenálló képességét, az első ellenőrzésig lerepülhető időt, a további ellenőrzések ciklusidejét, az össztechnikai üzemidőt, azaz általában az üzemidőket. A fentieknek alapján a Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépei sárkányszerkezetén és fedélzeti rendszerein először és úttörőként sikeresen végig lehetett is vinni az állapot szerinti üzembentartásra történő átállás programját, ami megfelelő adaptációval más repülőgép típusok esetében is eredményesen alkalmazható lesz a jövőben is.

Vizsgálataim szerint a hajtóművek és közlőművek esetében a működést jellemző paramétereken kívül a vibrációs, a tribológiai és az endoszkópos ellenőrzéseket egy komplex rendszerbe célszerű integrálni. A gyári új vagy ipari javítások utáni állapotukat jellemző, illetőleg az üzembentartás folyamán keletkezett jellegzetes meghibásodások paraméterértékeit, adatait és a technológiákban még megengedett üzemeltetési paraméterek szélsőértékeit, etalonként kell kezelni. Ezeket az adatokat az aktuális mérések eredményeivel folyamatosan összehasonlítva, már lehetővé válik a hajtóművek és a közlőművek állapotának, valamint működőképességének egyszerű meghatározása, azaz az üzembentartók érdekeit szolgáló tényleges állapot szerinti üzembentartás stratégiájának bevezetése.

Az értekezésben bemutatott kiszolgálási módozat kielégíti a tényleges állapot szerinti üzembentartási stratégia követelményeit úgy, hogy egyúttal a repülés biztonsága is javul. A jelentős humán és materiális erőforrásokat igénylő ipari javítások megszüntetése, a közvetlen kiszolgálási tevékenység egyszerűsítése, a szükséges berendezés és elemcserék számának csökkenése, a javítás közti üzemidők növekedése, ezzel a szükséges munkaráfordítások csökkenése meghozza az elvárható gazdaságossági eredményeket. A számítások azt mutatják, hogy az állapot szerinti üzembentartás bevezetésével, a költségelemek átlagosan 34,2%-al, az egy repült órára eső költségek pedig 39,5%-al csökkenhetnek.

**A tényleges állapot szerinti üzemeltetés bevezetése – hangsúlyozottan az
üzemeltetők szempontjából – alapvető előnyöket eredményez!**

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezésemben bemutatott kutató munkám új tudományos eredményeit a következő tézisekben foglalom össze:

1. Tézis: A MiG-29 típusú repülőgépek tényleges állapot szerinti üzemeltetési stratégiájának gyakorlati bevezetésével bizonyítottam, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálati eszközök, módszerek helyes megválasztásával és ezek - az adott repülőeszköz sajátosságainak megfelelő - átalakításával a műszaki-technikai állapotuk nagy pontossággal megállapítható. Komplex alkalmazásukkal bármely repülőgéptípus állapotváltozásainak prognosztizálására alkalmasak lesznek, azaz az állapot szerinti üzemeltetési stratégia bevezetését általánosságban biztosíthatja.
2. Tézis: Bemutattam a repülés területén még eddig nem alkalmazott módszer (FMEA) alkalmazásával, hogy a repülőgép rendszerek, szerkezeti elemek és berendezések repülésbiztonsági követelményeken alapuló kockázati besorolása - ami az állapot szerinti üzemeltetés eredményes megvalósításához elengedhetetlen - olyan pontosan elkészíthető, hogy a gyártó a műszaki-technikai dokumentációja elkészítését erre alapozta. Igazoltam, hogy ha - a saját repülőgépiparral nem rendelkező országok üzemeltetési - áttérnek a tényleges állapot szerinti üzemeltetésre, akkor megnyílnak számukra az üzemeltetési költségeik csökkentésének lehetőségei. A Magyar Honvédségnél történt gyakorlati bevezetésével pedig bizonyítottam a költségcsökkentés realitását.
3. Tézis: Igazoltam, hogy a repülőeszköz hátralévő üzemideje meghatározásának szempontjából döntő, hogy ismerjük a sérült, repedt teherviselő szerkezeti elem viselkedését. Az anyagkifáradás modellezésére mutattam be egy lehetséges számítási módot, amely a valóságos folyamatokat nagyon jól visszatükrözi, és aminek használhatóságát a gyári kísérleti igénybevételek pozitív eredményei később vissza is igazoltak. A gyártó meggyőződhetett a modell gyakorlati felhasználhatóságáról, ezért ezt is az üzemeltetési stratégiaváltás lehetőségét alátámasztó hivatalos dokumentáció részévé tette.
4. Tézis: Bizonyítottam, hogy a hajtómű és közlőművek esetében is igaz az a megállapítás, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálati eszközök, diagnosztikai módszerek helyes

megválasztásával és szerkezeti sajátosságaiknak megfelelő átalakításukkal a pillanatnyi műszaki-technikai állapot nagy pontossággal és megbízhatóan felmérhető. Bemutattam, hogy a mérési és vizsgálati eredmények adatainak egységes, komplex kezelése biztosítja a műszaki-technikai állapotváltozás prognosztizálhatóságát is. A módszer lényeges előnye, hogy a hajtóművek és közlőművek bármely típusa esetében alkalmazható és általában alkalmas az állapot szerint üzemeltetés megvalósítására.

AJÁNLÁSOK

A katonai repülőeszközök egyre növekvő üzemeltetési költségei mellett a Magyar Honvédségnek élnie kell saját szellemi és humán erőforrásaival és a ma még meglévő magas szintű mérnökműszaki kultúrából adódó előnyökkel. Ez lehetővé teszi a tényleges állapot szerinti üzemeltetés bevezetését - ami a *repülőgép típusától függetlenül* - bármely jelenleg vagy jövőben rendszerbe állítandó repülőeszköznél is jelentős költségmegtakarítást eredményezhet. Ehhez az adaptált diagnosztikai módszereket egy komplex rendszerbe szükséges integrálni, a kiértékelésekhez szükséges adatbázisokat, szoftvereket folyamatosan bővíteni, fejleszteni kell, és így az új üzemeltetési stratégia a gyakorlatban is hatékony és költségtakarékos lesz.

Az MH Légijármű Javítóüzem szakembergárdáját, amely már hosszú ideje nem csak képes alkalmazni a korszerű roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket, technológiákat, diagnosztikai eszközöket, hanem a ma még független, auditált laboratóriumaikban fejlesztésekre is képesek, ezért a laboratóriumaik függetlenségét továbbra is meg kellene őrizni.

TÉMAKÖRÖBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

Lektorált folyóiratcikkek magyar nyelvű folyóiratban:

1. Dr. Békesi László - Kavás László - Vonnák Iván Péter:
Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai
(Repüléstudományi Közlemények 2006. 04. 21. különkiadás)
2. Vonnák Iván Péter: Állapot szerinti üzemeltetés
A „Katonai Logisztika” folyóirat 2006. évi pályázatán II. helyezést elért pályamunkám

3. Vonnák Iván Péter: A katonai repülőgépek állapot szerinti üzemeltetése és annak szükségessége
(Repüléstudományi Közlemények 2006. 04. 21. különkiadás)
4. Vonnák Iván Péter: A repülőtechnika állapotát értékelő módszerek és eszközök integrálása az állapot szerinti üzemeltetés rendszerébe, mint a katonai repülőeszközök fenntartási költségei csökkentésének leghatékonyabb eszköze (Repüléstudományi Közlemények 2007. 04. 20. különkiadás)
5. Vonnák Iván Péter: A repülőgépek állapot szerinti üzemeltetésre történő átállásának problémái, megoldásának metodikája (Repüléstudományi Közlemények 2008/2 különszám)
6. Vonnák Iván Péter: Repülőeszközök Gázturbinás Hajtóművei Diagnosztikáját elősegítő és fejlődését biztosító tényezők (Repüléstudományi Közlemények 2008. 04. 11. különszám)
7. Vonnák Iván Péter: A minőség és repülésbiztonság: egy elképzelt, hazai, hadiipari repülőgépezem minőségirányítási rendszerének kialakítása, annak működtetése, fejlesztése - a légi járművek ipari javítási tevékenységének folyamatában - a "teljes körű minőségirányítás" azaz a "TQM" irányában (Repüléstudományi Közlemények 2008/2 különszám)
8. Vonnák Iván Péter: A hajtóművek és közlőművek diagnosztikai vizsgálata és állapotprognózisa
(Repüléstudományi Közlemények 2009. 04. 24. különszám)
9. Vonnák Iván Péter: Repülőgépek sárkányszerkezetének állapot szerinti üzemeltetésre történő áttérése (Repüléstudományi Közlemények 2010. 04. 16. különszám)
10. Vonnák Iván Péter: The wear particle analysis in the oil is one of tools of aircraft maintenance on condition (Repüléstudományi Közlemények 2010. 04. 16. különszám)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Барзилович Е.Ю.; Воскоев В. Ф. Эксплуатация Авиационных Систем по Состоянию Изд. М.: «Транспорт» 1987 г.
- [2] Беда П.И.; Глазков Ю.А.; Шелихов Г.С. и др. Дефектоскопия Деталей при Эксплуатации Авиационной Техники. Справочник. М.: «Воениздат» 1978 г.
- [3] Вакулюк В.И.; Особенности Формирования Стратегий ТО по Состоянию Бортового Оборудования ЛА. Эксплуатация АТ по Состоянию. Научно-Методические Материалы Сборов ГИ Обеденений. В/ч 75360, 1993 г.
- [4] Исследование по Продлению Ресурса Военных Самолетов. «Аэрокосмические Новости» № 13 (168. стр.), 22-23 марта 2000 г.
- [5] Изыскание Путей Совершенствования Технической Эксплуатации Самолетов и Вертолетов с Целью Перевода планера, Двигателя и Их Систем на Техническое Обслуживание по Состоянию. Отчет о НИР. В/ч 75360, Москва 1993 г.
- [6] Кеба И.В. Диагностика Авиационных Газотурбинных Двигателей. М.: «Транспорт» 1980 г. УДК 629.7.03; 658.562(022)
- [7] Ключев В.В. и др. Неразрушающий Контроль и Диагностика. Справочник. М.: «Машиностроение» 1995 г.
- [8] Макаров В.А.; Харгаев В.М. Определение Повторяемости Изгибающих Моментов Крыла Изделий 9.12 и 9.51. Отчет № 1064-9.12-5/92.
- [9] Макаров В.А. Исследование Эксплуатационной Нагруженности Самолетов МиГ-29 Люфтваффе Германии. Технический Отчет № 1073-9.12-1/2001 г.
- [10] Макаров В.А. Регрессионная Модель Оценки Нагруженности конструкции Самолетов МиГ-29, Эксплуатирующихся по КУБП. Технический Отчет № 1076-9.12-9/94.
- [11] Масленников В.Г. Методика Оценки Выработки ресурса Планера Маневренных ЛА с Учетом Нагруженности Его Сварных Элементов в Эксплуатации. Диссертация к.т.н. ВВИА, 1988 г.
- [12] Методика Оценки Приспособленности Самолетов ФА, ДА, ВТА и Корабельного Базирования к ТО по Состоянию. В/ч 75360, 1992 г.
- [13] Методика Формирования Плана Технического Обслуживания и Ремонта Функциональных Систем Летательного аппарата Военного Назначения. ЛИИ им. Громова, 1985 г.
- [14] Методики Формирования Рациональной Стратегии Технического Обслуживания Летательного Аппарата Военного Назначения (вторая редакция). Выпуск 6883, В/ч 75360, 1995 г.
- [15] Методика Определения Потребных Затрат на Эксплуатацию Авиационной Техники ВВС в Условиях Реформирования МО РФ. В/ч 75360, 2001-100 с.
- [16] Общие Требования к Программе ТО и Р Летательных Аппаратов Военного Назначения. Эксплуатационные Характеристики АТ. Ч.1.; Выпуск № 6405, 1991 г.
- [17] Положение об Эксплуатации по ТС ЛА Военного Назначения. ЛИИ им. Громова М.М. В/ч 75360 1993 г.
- [18] Слободской А.Б.; Ерегин В.В. «Исследования по Обеспечению Перевода Самолетов МиГ-29 ВВС Венгрии на Эксплуатацию по Техническому Состоянию» Технический Отчет ОКБ им. А.И. Микояна и ФГУП РСК МиГ. 18 марта 2002 г.
- [19] Смирнов Н.Н.; Ицкович А.А. Обслуживание и Ремонт Авиационной Техники по состоянию. М.: Москва «Транспорт» 1987 г. УДК 629.7.658.004(022)
- [20] Фролков А.И. Критерии Выбора Стратегии ТО для Формирования Программ ТО. Особенности Формирования Программ ТО по Состоянию Планера и его Систем.

- Эксплуатация АТ по Состоянию. Научно-Технические Материалы Сборов ГИ Обеденений. В/ч 75360, 1991 г.
- [21] Фролов А.И. Методология Оценки Долговечности и Расхода Ресурса Планера Военного Самолета в Процессе Эксплуатации. Критерии Выбора Стратегии Технического Обслуживания и Периодичности Контроля Планера Военного Самолета. Диссертация д.т.н; ВВИА, В/ч 75360, 1993 г.
- [22] Collin G. La maintenance des moteurs: des budgets très lourds. „Air et Cosmos” 18, № 846, 1981.
- [23] Depuis Jean Pierre stb On Cindition Maintenance FMW Sveden; 1990.
- [24] Endrőczi Gábor (CEAT Kft) „SINUS”; MiG-21; MiG-23, később a „RÉVHÁZ” A MiG-29, kutatás-fejlesztési program összefoglaló dokumentáció 2003. november “A Rezgésdiagnosztikai Mérő és Elemző Rendszer MIG-29 Típusú Repülőgépek RD-33 típusú Hajtóművei Műszaki Állapotának Meghatározására”
- [25] Dr. Gillemot László: „Anyagszerkezettan és Anyagvizsgálat” Tankönyvkiadó, Budapest. 1976 (ISBN 963 17 1670 8)
- [26] MC Gowan; Reither Livier; Depuis jean pierre; Takeda Nobuo stb . Structural health monitoring methodology for aircraft condition-based maintenance. 1992.
- [27] Gyenes G.-Svehlik J. A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (Non-Destructive Evaluation) szerepe és jelentősége a légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapot szerinti üzemeltetésében
”Új évezred, új technológia” Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
- [28] Dr. Jorge A. Moreno Barragan Engine Vibration Monitoring and Diagnosis Based on On-Board Captured Data. **NATO Symposium** on AGING MECHANISMS and CONTROL Part: „Monitoring and Management of Gas Turbine for Extended Life and Reduced Costs” Manchester 2001. október 08-12
- [29] Kavás L. – Dr. Békési L. – Vonnák I. P.: Roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek alkalmazásának tapasztalatai
”Új évezred, új technológia” Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
- [30] Dr Kemény Sándor; Dr Papp László; Dr Deák András: „Statisztikai Minőség” Műszaki Könyvkiadó 1999 (ISBN 963 16 3006 4; ISSN 1419-4376)
- [31] Dr. Keszthelyi Gyula A hatásalapú műveletek logisztikával szemben támasztott újszerű kihívása Doktori (PhD) értekezés 2008.
- [32] Marks P.A. Design for Economy. „Aircraft Eng.” 53, № 3 1981.
- [33] Masayuki Ibusiki Aircraft Maitenance by means of Operation Monitoring System. Japan Soc. Aeronaut. and Spaces №333 1981.
- [34] Parányi György Minőséget Gazdaságosan Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1999 (ISBN 963 16 30331; ISSN 1419-4376)
- [35] Dr Rohács József; Simon István Repülőgépek és Helikopterek üzemeltetési zsebkönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989 (ISBN: 963 10 714 7)
- [36] Shah Jivan B. Failure Analyses of Aircraft Accidents Part II. Metals Eng. Quart. 1974 №14p.4
- [37] Dr Szalay Béla FIZIKA Műszaki Könyvkiadó Budapest 1979 ISBN: 10 2661 2
- [38] Dr. Turcsányi Károly A fegyverzeti eszközök tervezői, üzemeltetői és fenntartói követelmények és feltételek rendszerének részletes elemzése Doktori (PhD) értekezés
- [39] Dr.Turcsányi Károly A haditechnikai biztosítás alapjai (I.) MH ZMKA 1995
- [40] Dr Valasek István, Tőrös Mihályné Tribológia Képzőművészeti Kiadó 2005 (ISBN 9789633370148)

- [41] „VÉGVÁR” Kutatás-fejlesztési program AID 250/996 (Olajok aktivációs analitikai, tribológiai vizsgálatai)
- [42] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Poisson-t%C3%A9nyez%C5%91> (2010. januári frissítés)
- [43] <http://mek.oszk.hu/01100/01183/01183.pdf> (1999)
- [44] <http://www.kfki.hu/~anyag/tartalom/2000/jul/aktualis/LukacsJanos-m.htm> (2000)
- [45] http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/anyagszerkezettan_es_anyagvizsgalat/gyakorlat/megoldott_feladatok.pdf
- [46] <http://free.x3.hu/turbowin/sze/info/BMEmech2.pdf> (2000)
- [47] <http://vmek.oszk.hu/01100/01177/01177.pdf> (1999)
- [48] <http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bhu/hun/02-applications/01-wear-tribology/indexW3DnavidW263.php> (2006-2010)
- [49] <http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/rontgen.pdf> (2003.02.10.)
- [50] <http://mek.oszk.hu/01100/01189/01189.pdf> (1999. 09. 20.)
- [51] http://www.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/tgyi/letoltesek/jegyzetek/minosegtervezes/hibamod_es_hatatelemzes2.pdf (2006. 12. 21.)
- [52] <http://wcs.oisz.hu/11675/tribologia-budapest/autotrib-tribologiai-kutato-es-fejlesztokft.html> (2010 június)
- [53] <http://www.autoipari-klaszter.hu/az-on-klasztere/tudasbazis/minosegtechnikak/fmea-hibamod-es-hataselemzes/> (2009. december)
- [54] http://www.met.uni-miskolc.hu/education/I_felev/Anyaginformatika/ea07/07.pdf (2010. márc.)
- [55] http://www.mtt.bme.hu/oktatas/segedanyagok/anyagismeret/eloadas/tores_ais_09.pdf (2010. márc.)
- [56] <http://www.t-services.ru/ru/solutions/modelirovanierazvitiyaellipticheskoytrewiny.html> (2010 márc.)
- [57] <http://free.x3.hu/turbowin/sze/info/BMEmech2.pdf> (2010 február Dr Kovács Ádám)
- [58] A Katonai Repülőgépek Üzemeltetésének, Kiszolgálás Korszerűsítésének Kérdései Dr Békési Bertold PhD értekezése (2006)

MELLÉKLETEK

1. számú melléklet:

A REPÜLŐGÉP FEDÉLZETEI RENDSZEREI MEGHIBÁSODÁSAINAK HATÁSA A REPÜLÉS BIZTONSÁGÁRA (KOCKÁZATELEMZÉS EREDMÉNYE)

VH, KH - a meghibásodás *vész*, vagy *katasztrófahelyzet* kialakulásához vezet;

BH - a meghibásodás *bonyolult repülési helyzet* kialakulásához vezet;

BF - a meghibásodás a *repülési feltételeket bonyolítja*, az alkalmazhatóságot ronthatja, különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára (**RB**) közvetlen, jelentős hatása nincs;

RB - a repülés biztonságára közvetlen, hatása nincs.

s.sz	A fedélzeti rendszerek meghibásodása, lehetséges sérülései:	Veszélyességi fok:
1. A hajtómű indítórendszere:		
1.1	Sikertelen indítás a földön.	RB
1.2	Indítóautomata meghibásodása a levegőben: - a hajtómű önmagától leáll (lefullad); - működő hajtóműnél.	BH RB
2. A hajtómű üzemmód vezérlése:		
2.1	A pompázsgátló rendszer meghibásodik: - nincs pompázs; - van pompázs.	RB BH
2.2	A hajtómű túlmelegedése.	BH
2.3	A hajtómű tartalék vezérlőrendszerére való áttérés.	BF
3. A repülőgép vezérlőrendszere:		
3.1.	Meghibásodások, melyek a vezérlő, diszkrét jelek hiányából fakadnak.	RB
3.2.	A pilótát(kat) figyelmeztető jelek elmaradásából adódó meghibásodások. - valamely alrendszer rendellenes működése során; - az alrendszerek normális működése esetén.	BH RB
4. Szívócsatorna vezérlőrendszere:		
4.1.	Mellső beömlőnyílás vezérlő rendszer meghibásodása.	BH
4.2.	Szabályozók rendszerének meghibásodása.	BH
5. Tűzoltórendszer:		
5.1.	Tűzjelző-rendszer meghibásodása: - valótlan „tűzjel” kiadása; - nem jelzi a tüzet.	BH VH
5.2	A tűzoltórendszert vezérlő automata meghibásodása tűz esetén.	VH
6. A fülke légkondicionáló rendszere:		
6.1.	A fülkében nem a megadott hőmérséklet uralkodik.	BF
6.2.	A fülke tereiben a megengedettnél magasabb a hőmérséklet.	BF
7. Levegőrendszer:		
7.1.	Nincs nyomás a Főrendszerben.	BF
7.2.	Nincs nyomás a Vészrendszerben.	BH
7.3.	A technológiai utasításokban (TU) meghatározott nyomásértéktől eltérő nyomás a Főrendszerben.	BF
8. Hidraulikarendszer:		
8.1.	A Főrendszerben a nyomás eltér a TU-ban meghatározottaktól.	BH
8.2.	A Másodrendszerben (BUSZTER) a nyomás eltér a TU-ban meghatározottaktól.	BH
8.3.	A hidraulika folyadék fogyása nem felel meg a TU-ban megadottaknak.	BH
8.4.	A repülőgép vezérlőrendszere végrehajtó-mechanizmus(a)(i) meghibásodása.	VH
8.5.	A hidraulika tartályok túlnyomásának megszűnése.	BF
8.6.	A hidraulika akkumulátorok „nitrogén” tere nyomásának leesése.	BF

s.sz	A fedélzeti rendszerek meghibásodása, lehetséges sérülései:	Veszélyességi fok:
9. A repülőgép vezérlőrendszere:		
9.1.	A kormányrendszer mechanikus elemei meghibásodása: (szakadás; beragadás; szorulás.) - bólintás szerinti vezérlés; - hossz tengely körüli vezérlés (csűrés); - útirányú vezérlés.	VH VH VH
9.2.	A kormánymozdulatokkal nem arányos növekedő, vagy csökkenő kormányrudazat kitérések: - bólintás szerinti vezérlés; - hossz tengely körüli vezérlés (csűrés); - útirányú vezérlés.	BH BH BH
9.3.	A kormánylapok felületeinek nem megfelelő hatékonysága: - bólintás szerinti vezérlés; - hossz tengely körüli vezérlés (csűrés); - útirányú vezérlés.	BH BH BH
9.4.	A repülőgép manőverező képességének jelentős csökkenése.	BH
10. Hajtómű vezérlőrendszer:		
10.1.	A hajtómű vezérlő rudazat sérülése. (szakadás; beragadás; szorulás.)	BH.
10.2.	Az adagolószivattyú kar állása nem felel meg a hajtóművezérlő kar állásának.	BF
10.3.	A tolóerő növelő rendszer nem kapcsol be.	BF
11. Váltóáramú energiarendszer:		
11.1.	A 115/200 V feszültségű generátor meghibásodásakor a „nagy” fogyasztók lekapcsolódnak, illetőleg a legfontosabb fogyasztók táplálása a tartalékrendszerrel megkezdődik (PTO 1000/1500M), a repülési feladatot meg kell szakítani.	BF
12. Egyenáramú energiarendszer:		
12.1.	A 27 V feszültségű generátor meghibásodásakor a „nagy” fogyasztók lekapcsolódnak, illetőleg a legfontosabb fogyasztók táplálása a tartalékrendszerrel (akkumulátorok) megkezdődik	BH
13. A fülke fénytechnikai berendezései:		
13.1.	A műszerek, pultok váltóáramú megvilágítása megszűnik, csak az egyenáramú háttérvilágítás dolgozik.	BF
14. A repülőgép külső fénytechnikai berendezései:		
14.1.	Az egyik leszálló és gurulóreflektor, éjszakai viszonyok között, nem dolgozik. (BANO)	BF
15. A fülke fényjelző rendszere:		
15.1.	Az automatikus fényerőszabályzás meghibásodása, a kézi-szabályozás dolgozik. A vészabló meghibásodik, de a hangos figyelmeztetőrendszer üzemképes.	BF
16. A féklapok elektromos rendszere:		
16.1.	A törzs-féklap nem megy ki.	BF
17. A le és felszálló berendezések visszajelző rendszere:		
17.1.	Nincs jelzés a futóművek, fékszárnyak, mozgatható orrész helyzetéről.	BF
18. Fékernyő-vezérlés elektromos rendszere:		
18.1.	A fékernyőt nem lehet kiengedni.	BF
19. A repülőgép földön történő kormányzását biztosító rendszer elektromos hálózata:		
19.1.	Az orrkerék elfordító mechanizmusa a „nagyobb” szögekre a futót nem fordítja el.	RB
20. A fékszárny és mozgatható orrész-vezérlés elektromos rendszere:		
20.1.	A fékszárnyak és a mozgatható orr nem mennek ki, vagy nem behúzhatók.	BF
21. Jégtelenítő elektromos rendszer:		
21.1.	A fülketető mellső üveg és a „Pitott”-cső fűtése nem működik.	BF
22. A „Trimmer” elektromechanizmus elektromos hálózata:		
22.1.	„Trimm”- hatásmechanizmus nem üzemképes.	BF
23. Kerekek „kifékező”rendszere: (ABS)		
23.1.	A kerekek (meg)csúsznak	BF
24. „Írány-függőleges”- rendszer információs egysége:		

s.sz	A fedélzeti rendszerek meghibásodása, lehetséges sérülései:	Veszélyességi fok:
24.1.	A műszerek által jelzett bedőlés, bólintás és irányszög nem felel meg a tényleges értékeknek. Jelez az „Arretálni” parancs és az „Irány-függőleges” lámpája.	BF
24.2.	A műszerek által jelzett bedőlés, bólintás és irányszög nem felel meg a tényleges értékeknek. Jelez az „Arretálni” parancs és az „Irány-függőleges” rendszert indítani lámpája.	BF
24.3.	A műszerek által jelzett bedőlés, bólintás és irányszög nem felel meg a tényleges értékeknek. 24. Jelez az „Arretálni” parancs és a két „Irány-függőleges” működik lámpája.	BF
25. Fedélzeti rádió-navigációs rendszer:		
25.1.	Az irány, azimut és távolságértékek nem felelnek meg a repülőgép tényleges helyzetének. Jelez az „Arretálni” és a „Navigációs-számítás” lámpája.	BF
25.2.	Leszállás üzemmódban az iránykiegyenlítés és a siklás szöge nem valós.	BH/VH (Bonyolult meteorológiai körülmények között)
26. Statikus és dinamikus levegőnyomás adó (Pitott-cső): (sebességmérő jeladó)		
26.1.	A kijelzett sebesség és „M”-szám nem felel meg a repülési és a hajtómű üzemmódjának.	BF
26.2.	A magasságkijelzés, a csúszás és dőlésadatok („Variométer”) nem egyeznek a navigációs „Parancs-műszer” adataival és nem felelnek meg a repülési üzemmódnak.	BF
26.3.	Instabillá válik a szívócsatorna ékvezérlés, a hajtóművezérlés, a kormányerő-terhelés és a robotpilóta működése.	BF

2. számú melléklet:
A FEDÉLZETI BERENDEZÉSEK MEGHIBÁSODÁSÁNAK HATÁSA A REPÜLÉS
BIZTONSÁGÁRA
(KOCKÁZATELEMZÉS EREDMÉNYE)

VH, KH - a meghibásodás *vész*, vagy *katasztrófahelyzet* kialakulásához vezet;

BH - a meghibásodás *bonyolult repülési helyzet* kialakulásához vezet;

BF - a meghibásodás a *repülési feltételeket bonyolítja*, az alkalmazhatóságot ronthatja (**AV**), különösebb következmények nélkül, azaz a repülés biztonságára (**RB**) közvetlen, jelentős hatása nincs;

RB - a repülés biztonságára közvetlen, hatása nincs.

s.sz	A berendezés megnevezése:	Veszélyességi fok:
1. A hajtómű indítórendszere:		
1.1.	Indítóautomata.	BH
1.2.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	BH/BF
1.3.	Magasságjelző berendezés.	BF
2. A hajtóművezérlő és „Pompázs” elleni védő berendezés:		
2.1.	Paraméterek határértékét szabályzó blokk.	BH
2.2.	Magasságjelző.	BF
2.3.	A hajtómű vezérlőkar helyzetét jelző berendezés.	RB
2.4.	„M-szám” jelző.	RB
2.5.	A hajtóműbe beáramló levegő hőmérsékletét jelző berendezés.	RB
2.6.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	BH/BF
3. Hajtómű ellenőrző berendezései:		
3.1.	Határoló blokk.	BH
3.2.	A hajtómű T ₄ gázhőmérséklet jelző.	BF
3.3.	Hajtómű fordulatszámjelző.	BF
3.4.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	BH/BF
4. Szívócsatorna vezérlés:		
4.1.	Automatika blokkja.	BH
4.2.	A szívócsatorna szabályzó „ék” helyzetét jelző berendezés.	BH
4.3.	Erősítő blokk.	BH
4.4.	Határsebesség (V _{hat}) jelző.	RB
4.5.	„M-szám” jelző.	RB
4.6.	Magasság jelző.	BH
4.7.	Levegő hőmérsékletadó.	BH
4.8.	Szívócsatorna mechanizmus vég helyzet kapcsolója.	BH
4.9.	Visszacsatolás adója.	BH
4.10.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	BH
5. Tűzoltó rendszer:		
5.1.	Tűzjelző blokk.	VH/BH
5.2.	A tűzjelző adója.	VH/BH
5.3.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	VH/BH
6. A fülke kondicionáló rendszere:		
6.1.	Hőmérséklet szabályzó blokk.	BF
6.2.	Hőmérsékleti jelek vevőberendezése.	BF
6.3.	Hőmérsékleti jelek adója.	BF
6.4.	Hőmérsékleti relé.	BF
7. Levegőrendszer:		
7.1.	Nyomásadó.	BF
7.2.	Nyomásmérő műszer.	RB
7.3.	Visszacsapó-szelep.	BH

s.sz	A berendezés megnevezése:	Veszélyességi fok:
7.4.	Feltöltő csonk.	RB
7.5.	Levegőszűrő.	RB
7.6.	Feltöltő szelep.	BH
7.7.	Levegőnyomás csökkentő.	RB
7.8.	„Gömb”- tartály.	BH
7.9.	„Hengeres”- tartály.	BH
7.10.	Tartály a főfűtő-szárakban.	BH
8. Hidraulika rendszer:		
8.1.	Visszacsapó szelep.	BF
8.2.	Csőcsatlakozó blokk.	BF
8.3.	Áteresztő (összekötő) elem fojtással.	RB
8.4.	Hidraulika tartály.	BF
8.5.	Túlnyomás-szelep.	BF
8.6.	Hidraulikafolyadék szintjelző adója.	RB
8.7.	Szűrőelem.	BF
8.8.	Vészszivattyú egység.	BH
8.9.	Hidraulikus nyomás-relé	BF
8.10.	Biztonsági szelep.	BF
8.11.	Nyomáshatároló.	BF
8.12.	Hidraulikus relé.	BF
8.13.	Hidraulika akkumulátor.	BF
8.14.	Nyomásadó.	BF
8.15.	Összekötő-elem a feltöltő szeleppel.	RB
8.16.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer szűrői.	BF
8.17.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer teflon nyomócsövei.	BH
8.18.	Fő-hidraulika rendszer dugattyús szivattyúja.	BH
8.19.	„Buszter”- hidraulika rendszer dugattyús szivattyúja.	BH
8.20.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer szívóág teflon csövei.	BH
8.21.	Fedélzeti szelep (Fő).	RB
8.22.	Fedélzeti szelep (Buszter).	RB
8.23.	Feltöltő csonk.	RB
8.24.	Levegőnyomás csökkentő szelep.	BF
8.25.	Tartály a jobb főfűtő forgástengelyében.	BF
8.26.	Tartály a bal főfűtő forgástengelyében.	BF
8.27.	Csűrő hidraulikus kormánygépe.	VH
8.28.	Stabilizátor hidraulikus kormánygépe (bal).	VH
8.29.	Stabilizátor hidraulikus kormánygépe (jobb).	VH
8.30.	Oldalkormány hidraulikus kormánygépe.	VH
8.31.	Lehajtható orrész munkahengerek.	VH
9. A repülőgép vezérlőrendszere:		
9.1.	„Botkormány”(ok)	VH
9.2.	A bólintás, csűrés és az útirányú kormányrendszer rudazatai.	VH
9.3.	Hermetikus kivezetések.	BH
9.4.	Rugós terhelő-mechanizmusok: - bólintás; - bedöntés; - irány.	BF
9.5.	A bólintás „nonlineáris” mechanizmusa	BF
9.6.	Kormányerő csökkentő mechanizmus.	BF
9.7.	„Trimm” végrehajtó elektromechanizmusok: - bólintás; - bedöntés; - irány.	BF
9.8.	A stabilizátor „ollózási” mechanizmusa.	VH
9.9.	Oldalkormány pedálok magasság szerinti állítómechanizmusa.	BF

s.sz	A berendezés megnevezése:	Veszélyességi fok:
10. Hajtómű vezérlőrendszer:		
10.1.	Hajtómű-vezérlőkar.	BH
10.2.	Vezérlőrudazat elemei.	BH
10.3.	Adó (hajtómű vezérlőrudazat helyzetét visszajelző)	BF
10.4.	Hermetikus ki(át)vezetők.	BH
11. Váltóáramú energiarendszer:		
11.1.	A váltóáramú generátor kihajtása.	BF
11.2.	Felerősítő keret.	BF
11.3.	Vezérlő és védelmi blokk.	BF
11.4.	Feszültség szabályzó blokk.	BF
11.5.	Fázissorrend meghatározó blokk.	RB
11.6.	Transzformátor.	RB
11.7.	Transzformátorvédő blokk.	RB
11.8.	Transzformátoráram blokk.	RB
11.9.	Földi áramforrás csatlakozó.	RB
11.10.	Áramátalakító (1000/1500 V).	RB
11.11.	Elosztókörök és áramátkapcsoló készülékek.	BF/BH
12. Egyenáramú energiarendszer:		
12.1.	Egyenáramú generátor.	BH
12.2.	Szabályzó és védelmi blokk.	BH
12.3.	Írányító és védőautomata.	BH
12.4.	Akkumulátor egység.	BH
12.5.	„Söntölt” amperóra számláló.	RB
12.6.	Akkumulátor egységek bekötésének kapcsolója.	RB
12.7.	Földi áramforrás csatlakozó.	
12.8.	Feszültségmérő műszer.	RB
12.9.	Elosztókörök és áramátkapcsoló készülékek.	BH
13. A fülke fénytechnikai berendezései:		
13.1.	Fehérfény megvilágító lámpák.	BF
13.2.	Fehér, háttér-megvilágítás lámpái.	BF
13.3.	Fényerő fokozatkapcsoló transzformátora.	BF
13.4.	A térkép-megvilágítás ellenállása (Ω -s).	BF
14. A repülőgép „külső” fénytechnikai berendezései:		
14.1.	A reflektor védő-automatája.	BF
14.2.	Guruló és leszállóhelyzet átkapcsoló.	BF
14.3.	A reflektorok áramköri mágnes-kapcsolói.	BF
14.4.	Leszálló reflektor.	BF
14.5.	Guruló reflektor.	BF
14.6.	Fedélzeti, légi-navigációs fény zöld fény szűrővel.	RB
14.7.	Fedélzeti, légi-navigációs fény piros fény szűrővel.	RB
14.8.	Hátsó fény.	RB
14.9.	Légi-navigációs fények vezérlőblokkja.	RB
14.10.	Légi-navigációs fények átkapcsolója (100%-10%)	RB
15. A fülke fényjelző rendszere:		
15.1	Vezérlőjelek blokkja.	BF
15.2	Vész és veszélyt jelző jelek blokkja.	BF
15.3.	Figyelmeztető jelek blokkja.	BF
15.4	Szabályzó-átkapcsoló.	BF
15.5	Külső megvilágítás adója.	BF
15.6.	Fényjelek tablója.	BF
16. A féklapok elektromos rendszere:		
16.1.	Közös védőautomata (Futók; Orrkerék elf.mech.; Féklapok.)	BF
16.2.	Fékszárnnyak „véghelyzet”- kapcsolói.	BF
16.3.	Hidraulikanyomás szerinti blokkoló relé.	BF
16.4.	„Buszter”- hidraulikanyomás szerinti blokkoló relé.	BF

s.sz	A berendezés megnevezése:	Veszélyességi fok:
17. A le és felszálló berendezések visszajelző rendszere:		
17.1.	Leszálló üzemmód kijelző indikátor.	BF
17.2.	Vezérlő és elosztóblokk.	BF
17.3	Vég helyzet-kapcsolók relés védő-automatái.	BF
18. Fékernyő-vezérlés elektromos rendszere:		
18.1.	Fékernyő védő-automatája.	BF
18.2.	Fékernyő „kiengedés” vezérlőgomb.	BF
18.3.	Fékernyő „ledobás” vezérlőgomb. (bal kezelőpult)	RB
18.4.	Fékernyő „ledobás” blokkoló relé.	BF
18.5.	Fékernyő „kiengedés” vezérlő-relé.	BF
18.6.	Fékernyő „ledobás” vezérlő-relé.	RB
19. A repülőgép földön történő kormányzását biztosító rendszer elektromos hálózata:		
19.1.	Bal fékszárny „behúzott” állapotának „véghelyzet”- kapcsolója.	RB
19.2.	Közös védőautomata (Futók; Orrkerék elf.mech.; Féklapok.)	RB
19.3.	Védő-automaták, relék, működtető-gombok.	RB
20. A fékszárny és mozgatható orr-rész-vezérlés elektromos rendszere:		
20.1.	A fékszárnyak és a mozgatható orr védőautomatái.	BF
20.2.	A bal és jobbszárny mozgatható orr-rész „behúzott” helyzetének „véghelyzet”- kapcsolója.	BF
20.3.	A bal és jobb fékszárnyak „behúzott” helyzetének „véghelyzet”- kapcsolói.	BF
20.4.	Fékszárny vezérlőpanel.	BF
21. Jégtelenítő elektromos rendszer:		
21.1.	A fülketető mellső üveg hőmérsékleti adója.	BF
21.2.	A fülketető mellső üveg hőmérséklet szabályzó.	BF
21.3.	A fülketető mellső üveg fűtésáramkör mágnes-kapcsolója.	BF
21.4.	A fülketető mellső üveg fűtésátkapcsoló.	BF
21.5.	A fülketető mellső üveg és a „Pitott”-cső fűteskapcsolói.	BF
21.6.	A fülketető mellső üveg fűtőelem.	BF
22. A „Trimmer” elektromechanizmus elektromos hálózata:		
22.1.	„Trimm”- hatás elektromechanizmus.	BF
22.2.	„Trimm”- hatásmechanizmus átkapcsoló (jobb és bal)	BF
22.3.	„Bedöntés-Bólintás” működtető gomb.	BF
22.4.	„Trimm”- hatásmechanizmus védőautomata.	BF
22.5.	„Trimm”- hatásmechanizmus visszajelző lámpa.	BF
23. Kerekek „kifékező”rendszere: (ABS)		
23.1.	Relék, „kifékező”- automaták és védő-automaták.	BF
24. „Irány-függőleges”- rendszer információs egysége:		
24.1.	Fő „Irány-függőleges”- rendszer.	BF/AV
24.2.	Tartalék (vész) „Irány-függőleges”- rendszer.	BF
24.3.	Csatolóblokk.	BF/AV
24.4.	Ellenőrzőblokk.	BF
24.5.	„Szélességi korrekció” blokkja.	BF
24.6.	Indukciósadó.	BF
24.7.	A „mágneses elhajlás” meghatározó (megadó).	BF
24.8.	Elosztóblokk.	BF
25. Fedélzeti rádió-navigációs rendszer:		
25.1.	„Azimut” szerinti távolságvevő.	BH/VH (Bonyolult meteorológiai körülmények között)
25.2	Fedélzeti távolság lekérdező.	BF

s.sz	A berendezés megnevezése:	Veszélyességi fok:
25.3.	Mérőblokk.	BH/VH (Bonyolult meteorológiai körülmények között)
25.4.	Digitális számító-berendezés.	BF/AV
25.5.	„Bevezetés és kivezetés” berendezése.	BF/AV
25.6.	Tápblokk.	BH/AV
25.7.	Keret.	BF
25.8	A rendszertáplálás védőberendezése.	BH/AV (Bonyolult meteorológiai körülmények között)
25.9.	Kódátalakító blokk.	BF/AV
25.10.	Vezérlőblokk.	BH/AV
25.11.	Vezérlőpanel.	BF/AV
25.12.	Programbevitel pult.	RB
26. Statikus és dinamikus levegőnyomás rendszer: (sebesség; magasság)		
26.1.	Fő levegőnyomás vevő.	BF
26.2.	Pneumatikus átkapcsoló.	BF
26.3.	Vízleválasztók.	BF
26.4.	Tartalék levegőnyomás vevő . (vészrendszer)	BF
26.5.	Statikus és dinamikus rendszer levegőnyomás csatlakozói.	BF
26.6.	Csap (levegőnyomások adója)	BF
26.7	Gumicsövek, összekötők.	BF
26.8.	A főrendszer levegőcső hálózata. (Teflon; Fém.)	BF
26.9.	A tartalékrendszer levegőcső hálózata. (Teflon; Fém.)	BH

3. számú melléklet: A FEDÉLZETI RENDSZEREK, BERENDEZÉSEI, REPÜLŐGÉP SZERKEZETI ELEMEIRE KIVÁLASZTOTT TECHNIKAI KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIÁK

Technikai Kiszolgálási Stratégiák: (TKS)
Állapot meghatározás a paraméterek ellenőrzése útján: TKSPE
Állapot meghatározás a megbízhatósági szint ellenőrzése útján: TKSMSZE
A ledolgozott (össz.)üzemidő alapján: TKSÜ

s.sz. 1	Berendezések megnevezése: 2	Ellenőriz- hetősége: 3	KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIA: 4	Kritikus állapot: 5	Az ellenőrzés módszere és eszközei: 6	Az ellenőrzések periódusa: 7
1. A hajtómű indítórendszere:						
1.1.	Indítóautomata.	+ (Viszonylag könnyen)	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
1.2.	Hajtómű indítási sorrendkapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	H.mű próba
1.3.	Hajtómű Földiindítás nyomógomb.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
1.4.	Hajtómű indítási üzemmód választókapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	Hajtóműcsere
1.5.	Légindítás kapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
1.6.	Magasságjelző berendezés.(H=6000m)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
1.7.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
2. A hajtóművezérlő és „Pompázs” elleni védő berendezés:						
2.1.	Paraméterek határértékét szabályzó blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.

1	2	3	4	5	6	7
2.2.	Magasságjelző. (H=3000;6000;14500m)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
2.3.	A hajtómű vezérlőkar helyzetét jelző berendezés.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
2.4.	„M-szám” jelző. (M=1,15;1,5)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
2.5.	A hajtóműbe beáramló levegő hőmérsékletét jelző berendezés.(T ₁)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
2.6.	Utánégetés vészátkapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
2.7.	„Pompázs”elleni rendszer kapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	Repülés előtti előkészítés
2.8.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
3. Hajtómű ellenőrző berendezései:						
3.1.	Határoló blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
3.2.	A hajtómű T ₄ gáz hőmérséklet jelző.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
3.3.	Hajtómű fordulatszámjelző.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
3.4.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
4. Szívócsatorna vezérlés:						
4.1.	Automatika blokkja.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
4.2.	Visszacsatolás adója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
4.3.	A szívócsatorna szabályzó „ék” helyzetét jelző berendezés.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.

1	2	3	4	5	6	7
4.4.	Erősítő blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
4.5.	Levegő hőmérsékletadó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	1.Rep.feladatok előtt. 2. H.mű próbák.
4.6.	Szabályzóékek vészüzemmód kapcsolója	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
4.7.	Műszer szerinti sebesség ($V_{m\ddot{u}s}$) jelző.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
4.8.	„M-szám” jelző. (M=1,15;1,5)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
4.9.	Magasság jelző.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
4.10.	Szívócsatorna mechanizmus véghelyzet kapcsolója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
4.11.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	24 hónap/200 óra
5. Tűzoltó rendszer:						
5.1.	Tűzjelző blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
s.sz.	Berendezések megnevezése:	Ellenőriz- hetősége:	KISZOLGÁLÁSI STRATÉGIA:	Kritikus állapot:	Az ellenőrzés módszere és eszközei:	Az ellenőrzések periódusa:
5.2.	A tűzjelző adója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
5.3.	Védő, elosztó és kapcsoló berendezések.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
5.4.	Tűzoltórendszer kapcsolója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
5.5.	Relé.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fedélzeti és Földi ell.eszközök	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
6. A fülke kondicionáló rendszere:						
6.1.	Hőmérséklet szabályzó blokk.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
6.2.	Hőmérsékleti jelek vevőberendezése.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
6.3.	Hőmérsékleti jelek adója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
6.4.	Hőmérsékleti relé.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
7. Levegőrendszer:						
7.1.	Nyomásadó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
7.2.	Nyomásmérő műszer.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
7.3.	Visszacsapó-szelep.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
7.4.	Feltöltő csonk.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
7.5.	Levegőszűrő.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
7.6.	Feltöltő szelep.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
7.7.	Levegőnyomás csökkentő.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
7.8.	„Gömb”- tartály.	+	TKSMSZE	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. (heggeszt.varr.)	24 hónap/200 óra
7.9.	„Hengeres”- tartály.	+	TKSMSZE	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. (heggeszt.varr.)	24 hónap/200 óra
7.10.	Tartály a főfutó-szárakban.	+	TKSMSZE	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. (heggeszt.varr.)	24 hónap/200 óra
8. Hidraulika rendszer:						
8.1.	Visszacsapó szelep.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.2.	Csőcsatlakozó blokk.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.3.	Áteresztő (összekötő) elem fojtással.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.4.	Hidraulika tartály.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.5.	Túlnyomás-szelep.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.6.	Hidraulikafolyadék szintjelző adója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.7.	Szűrőelem.	+	TKSPE	Hermet.elveszt. Hidr.ell.áll.növ. Szűrőelem éps.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.8.	Vészhivattyú egység.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.9.	Hidraulikus nyomás-relé	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
8.10.	Biztonsági szelep.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.11.	Nyomáshatároló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.12.	Hidraulikus relé.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
8.13.	Hidraulika akkumulátor.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.14.	Nyomásadó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.15.	Összekötő-elem a feltöltő szeleppel.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.16.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer szűrői.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. Hidr.ell.áll.növ. Szűrőelem éps.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.17.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer teflon nyomócsövei.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.18.	Fő-hidraulika rendszer dugattyús szivattyúja.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra Üz.idő ledolg.
8.19.	„Buszter”- hidraulika rendszer dugattyús szivattyúja.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.20.	Fő és „Buszter”- hidraulika rendszer szívóág teflon csövei.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.21.	Fedélzeti szelep (Fő).	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.22.	Fedélzeti szelep (Buszter).	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.23.	Feltöltő csonk.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
8.24.	Levegőnyomás csökkentő szelep.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.25.	Tartály a jobb főfutó forgástengelyében.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.26.	Tartály a bal főfutó forgástengelyében.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.27.	Csűrő hidraulikus kormánygépe.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.28.	Stabilizátor hidraulikus kormánygépe (bal).	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
8.29.	Stabilizátor hidraulikus kormánygépe (jobb).	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.30.	Oldalkormány hidraulikus kormánygépe.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
8.31	Lehajtható orrész munkahengerek.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig Hermet.elveszt.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9. A repülőgép vezérlőrendszere:						
9.1.	„Botkormány”(ok)	+	TKSMSZE	Korróziós és mech. sérülések hiánya, könnyű mozgathatóság.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9.2.	A bólintás, csűrés és az útirányú kormányrendszer rudazatai.	+	TKSMSZE	Korróziós és mech. sérülések hiánya, könnyű mozgathatóság, biztosítások megléte, nincs kotyogás stb	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9.3.	Hermetikus kivezetések.	+	TKSMSZE	Gumiharmonikák épsége stb.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
9.4.	Rugós terhelő-mechanizmusok: - bólintás; - bedöntés; - irány.	+	TKSMSZE	Korróziós és mech. sérülések hiánya, könnyű mozgathatóság.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9.5.	A bólintás „nonlineáris” mechanizmusa	+	TKSMSZE	Korróziós és mech. sérülések hiánya, könnyű mozgathatóság.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
9.6.	Kormányerő csökkentő mechanizmus.	+	TKSMSZE	A rudazatok megfelelő elmozd.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9.7.	„Trim” végrehajtó elektromechanizmusok: - bólintás; - bedöntés; - irány.	+	TKSMSZE	A megfelelő kimozdulás és szögelhajlások.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
9.8.	A stabilizátor „ollózási” mechanizmusa.	+	TKSMSZE	Program szerinti működés.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
9.9.	Oldalkormány pedálok magasság szerinti állítómechanizmusa.	+	TKSMSZE	A beállított helyzetek rögzíthetősége.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
10. Hajtómű vezérlőrendszer:						
10.1.	Hajtómű-vezérlőkar.	+	TKSMSZE	Hézagmentes, sima járat.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
10.2.	Vezérlőrudazat elemei.		TKSMSZE	Korróziós és mech. sérülések, repedések hiánya, könnyű mozgathatóság, biztosítások megléte, nincs kotyogás stb	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
10.3.	Adó (hajtómű vezérlőrudazat helyzetét visszajelző)		TKSMSZE	Nem megfelelő kapcsolások.	Vizuális ell. Műszeres ell.	24 hónap/200 óra
10.4.	Hermetikus ki(át)vezetők.		TKSMSZE	Gumiharmonikák épsége stb.	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
11. Váltóáramú energiarendszer:						
11.1.	A váltóáramú generátor és kihajtása.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
11.2.	Felerősítő keret.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
11.3.	Vezérlő és védelmi blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
11.4.	Feszültség szabályzó blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
11.5.	Fázissorrend meghatározó blokk.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
11.6.	Transzformátor.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
11.7.	Transzformátorvédő blokk.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
11.8.	Transzformátoráram blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	24 hónap/200 óra
11.9.	Földi áramforrás csatlakozó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
11.10.	Áramátalakító (1000/1500 V).		TKSÜ	Üz.idő ledolg. Fésús kollektor kikopása.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
11.11.	Elosztókörök és áramátkapcsoló készülékek.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
12. Egyenáramú energiarendszer:						
12.1.	Egyenáramú generátor.	+	TKSÜ	Meghibásodásig. Fésűs kollektor kikopása.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
12.2.	Szabályzó és védelmi blokk.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
12.3.	Írányító és védőautomata.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
12.4.	Akkumulátor egység.	+	TKSÜ	Üz.idő ledolg. Kapacitás csökk.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
12.5.	„Söntölt” amperóra számláló.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Vizuális ell.	24 hónap/200 óra
12.6.	Akkumulátor egységek bekötésének kapcsolója.		TKSMSZE	Meghibásodásig	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
12.7.	Földi áramforrás csatlakozó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Heti rep.elők.
12.8.	Feszültségmérő műszer.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Heti rep.elők.
12.9.	Elosztókörök és áramátkapcsoló készülékek.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
13. A fülke fénytechnikai berendezései:						
13.1.	Fehérfény megvilágító lámpák.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Heti rep.elők.
13.2.	Fehér, háttér-megvilágítás lámpái.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Heti rep.elők. 24 hónap/200 óra
13.3.	Fényerő fokozatkapcsoló transzformátora.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Heti rep.elők. 24 hónap/200 óra
13.4.	A térkép-megvilágítás ellenállása (Ω -s).		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Heti rep.elők. 24 hónap/200 óra
14. A repülőgép „külső” fénytechnikai berendezései:						
14.1.	A reflektor védő-automatája.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.2.	Guruló és leszállóhelyzet átkapcsoló.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.3.	A reflektorok áramköri mágneskapcsolói.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.4.	Leszálló reflektor.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
14.5.	Guruló reflektor.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.6.	Fedélzeti, légi-navigációs fény zöld fényzűrővel.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.7.	Fedélzeti, légi-navigációs fény piros fényzűrővel.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.8.	Hátsó fény.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.9.	Légi-navigációs fények vezérlőblokkja.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
14.10.	Légi-navigációs fények átkapcsolója (100%-10%)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15. A fülke fényjelző rendszere:						
15.1	Vezérlőjelek blokkja.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15.2	Vész és veszélyt jelző jelek blokkja.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15.3.	Figyelmeztető jelek blokkja.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15.4	Szabályzó-átkapcsoló.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15.5	Külső megvilágítás adója.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
15.6.	Fényjelek tablója.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
16. . A féklapok elektromos rendszere:						
16.1.	Közös védőautomata (Futók; Orrkerék elf.mech.; Féklapok.)		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
16.2.	Fékszárnyak „véghelyzet”- kapcsolói.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
16.3.	Hidraulikanyomás szerinti blokkoló relé.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
16.4.	„Buszter”- hidraulikanyomás szerinti blokkoló relé.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	24 hónap/200 óra
17. A le és felszálló berendezések visszajelző rendszere:						
17.1.	Leszálló üzemmód kijelző indikátor.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
17.2.	Vezérlő és elosztóblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
17.3	Vég helyzet-kapcsolók relés védő-automatái.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18. Fékernyő-vezérlés elektromos rendszere:						
18.1.	Fékernyő védő-automatája.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18.2.	Fékernyő „kiengedés” vezérlőgomb.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18.3.	Fékernyő „ledobás” vezérlőgomb. (bal kezelőpult)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18.4.	Fékernyő „ledobás” blokkoló relé.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18.5.	Fékernyő „kiengedés” vezérlő-relé.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
18.6.	Fékernyő „ledobás” vezérlő-relé.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
19. A repülőgép földön történő kormányzását biztosító rendszer elektromos hálózata:						
19.1.	Bal fékszárny „behúzott” állapotának „vég helyzet”- kapcsolója.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
19.2.	Közös védőautomata (Futók; Orrkerék elf.mech.; Féklapok.)		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
19.3.	Védő-automaták, relék, működtető-gombok.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
20. A fékszárny és mozgatható orr rész-vezérlés elektromos rendszere:						
20.1.	A fékszárnyak és a mozgatható orr védőautomatái.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
20.2.	A bal és jobbszárny mozgatható orr-rész „behúzott” helyzetének „vég helyzet”- kapcsolója.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
20.3.	A bal és jobb fékszárnyak „behúzott” helyzetének „vég helyzet”- kapcsolói.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
20.4.	Fékszárny vezérlőpanel.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Vizuális ell. Műk.ell.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
21. Jégtelenítő elektromos rendszer:						
21.1.	A fülketető mellső üveg hőmérsékleti adója.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
21.2.	A fülketető mellső üveg hőmérséklet szabályzó.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
21.3.	A fülketető mellső üveg fűtésáramkör mágnes-kapcsolója.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
21.4.	A fülketető mellső üveg fűtésátkapcsoló.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
21.5.	A fülketető mellső üveg és a „Pitott”-cső fűteskapcsolói.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
21.6.	A fülketető mellső üveg fűtőelem.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
22. A „Trimmer” elektromechanizmus elektromos hálózata:						
22.1.	„Trimm”- hatás elektromechanizmus.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
22.2.	„Trimm”- hatásmechanizmus átkapcsoló (jobb és bal)	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
22.3.	„Bedöntés-Bólintás” működtető gomb.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
22.4.	„Trimm”- hatásmechanizmus védőautomata.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
22.5.	„Trimm”- hatásmechanizmus visszajelző lámpa.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
23. Kerekek „kifékező”rendszere: (ABS)						
23.1.	Relék, „kifékező”- automaták és védő-automaták.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell.	24 hónap/200 óra
24. „Irány-függőleges”- rendszer információs egysége:						
24.1.	Fő „Irány-függőleges”- rendszer.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig. Megeng.ért.eltér.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.2.	Tartalék (vész) „Irány-függőleges”- rendszer.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.3.	Csatolóblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.4.	Ellenőrzőblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.5.	„Szélességi korrekció” blokkja.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.6.	Indukciósadó.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
24.7.	A „mágneses elhajlás” meghatározó (megadó).	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra

1	2	3	4	5	6	7
24.8.	Elosztóblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Elők.során. 24 hónap/200 óra
25. Fedélzeti rádió-navigációs rendszer:						
25.1.	„Azimut” szerinti távolságvevő.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig. Megeng.ért.eltér.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.2.	Fedélzeti távolság lekérdező.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig. Megeng.ért.eltér.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.3.	Mérőblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig. Megeng.ért.eltér.	Műk.ell. Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.4.	Digitális számító-berendezés.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.5.	„Bevezetés és kivezetés” berendezése.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.6.	Tápblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.7.	Keret.		TKSMSZE	Meghibásodásig.		24 hónap/200 óra
25.8.	A rendszertáplálás védőberendezése.		TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.9.	Kódátalakító blokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.10.	Vezérlőblokk.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.11.	Vezérlőpanel.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
25.12.	Programbevitel pult.	+	TKSMSZE	Meghibásodásig.	Fed. Földi ell.eszk.	Heti rep.elők. és 24 hónap/200 óra
26. Statikus és dinamikus levegőnyomás rendszer: (sebesség; magasság)						
26.1.	Fő levegőnyomás vevő.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendsz.eltöm.	Vizuális ell. Fűtés. műk.ell. Hermet. Ell.	Heti rep.elők.
26.2.	Pneumatikus átkapcsoló.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendsz.eltöm.	Hermet. Ell.	Heti rep.elők.
26.3.	Vízleválasztók.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendsz.eltöm.	Vizuális ell.	Rep.utáni ell. 200 órás id.ell.

1	2	3	4	5	6	7
26.4.	Tartalék levegőnyomás vevő . (vészrendszer)	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.A rendszereltöm.	Vizuális ell. Fűtés.műk.ell.Hermet . Ell.	Kéthavonta a heti rep.elők.keretében.
26.5.	Statikus és dinamikus rendszer levegőnyomás csatlakozói.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt.A rendszereltöm.	Vizuális ell.	Heti rep.elők. 200 órás id.ell.
26.6.	Csap (levegőnyomások adója)	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendszereltöm.	Vizuális ell.	Heti rep.elők.
26.7.	Gumicsövek, összekötők.	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendszereltöm.	Vizuális ell. Hermet. Ell.	Heti rep.elők.
26.8.	A főrendszer levegőcső hálózata. (Teflon; Fém.)	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendszereltöm.	Vizuális ell. Hermet. Ell.	Heti rep.elők.
26.9.	A tartalékrendszer levegőcső hálózata. (Teflon; Fém.)	+	TKSMSZE	Hermet.elveszt. A rendszereltöm.	Vizuális ell. Hermet. Ell.	Heti rep.elők.
27. A TÖRZS ERŐÁTVITELI CSOMÓPONTJAI, SZERKEZETI RÉSZEGYSÉGEI és BERENDEZÉSEI:						
27.1.	№ 2 számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.2.	№ 3 számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.3.	№ 6V-7 számú törzskeretek közötti „futómű” tartóelem.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.4.	№ 6V számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.5.	A H.mű és futómű műk. munkahenger bekötése.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.6.	Hermetikus fülke(ék).	+	TKSPE	Hermetikusság megszűnése.	Kiszolg.techn. szerint.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.7.	1; 2; 3; 3A számú üzemanyagtartályok.	+	TKSPE	Herm. Megsz. Űza. Folyás. Szivárgás.	Vizuális ell.	200 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.8.	Szárnybekötés a № 5A számú törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés.
27.9.	Szárnybekötés a № 6 számú törzskeretnél.	+	TSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	200 óránkénti techn.áll. felmérés

1	2	3	4	5	6	7
27.10.	Szárnybekötés a № 6V számú törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Vizuális és mágnesporos	200 óránkénti techn.áll. felmérés
27.11.	Szárnybekötés a № 7 számú törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	200 óránkénti techn.áll. felmérés
27.12.	Szárnybekötés a № 7B számú törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések, átvezetések sérül.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	200 óránkénti techn.áll. felmérés
27.13.	Szárny csatlakozási csavarok a № 5 sz. törzsk.	+	TKSPE	Repedések, elváltozások	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.14.	№ 6 számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.15.	№ 6V számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.16.	№ 7 számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.17.	№ 7B számú törzskeret.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.18.	H.mű beköt. csomópont a № 1 sz. tartónál.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.19.	KSZA alsó bekötési csomópontjai.	+	TKSPE	Repedések; Mech.sérülések.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.20.	Függ.vezérsík felépítmény a № 9 sz. törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.21.	Függőleges vezérsík felép. (beép. csomópont).	+	TKSPE	Elfordulás észlelése.	Hitelesített „erőkulcs” alk.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.22.	Függ.v.s felép. tartó a №7;8 sz. törzskeretek között.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.23.	Vizsz. vezérsík beer. cs.p. a № 9 sz. törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.24.	Vizsz. vezérsík beer. cs.p. a № 10 sz. törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.25.	Felső féklap bekötése a № 1 számú hossztartón.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.26.	Alsó féklap bekötési csomópontja.	+	TKSPE	Repedések; mech.elvált.	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll. felmérés
27.27.	Gépágyú mellső bekötési csomópontja.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	3000 lövésenkénti techn.áll. felmérés

1	2	3	4	5	6	7
27.28.	A szívócsatorna beerősítés a № 3B sz. törzskeretnél.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
27.29.	Szívócsatorna mellső szab. ék műk. m.h. bekötés tartó.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. nagyító; mágnesporos.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
27.30.	Szívócsatorna mech.szerk. szegecselése.	+	TKSPE	Szegecslazulás, elfordulás.	Vizuális ell.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
27.31.	Szerelőnyílás fedelek „gyors-zárai”.	+	TKSPE	Műk.képtelenség	Vizuális ell. Műk.ell.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
27.32.	Szívócsatorna hátsó „ék-panel”	+	TKSPE	Ragasztott fel. Elválás nem több 10%-nál.	Ultrahangos, műszeres ell.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
27.33.	KSZA beer.keret hátsó, a № 1 sz. tartó hosszanti eleméhez csatl. Pontja.	+	TKSPE	Repedések	Átvizsg. Nagyító; megfestés.	600 óránkénti techn.áll.felmérés
28. Szárnyak						
28.1.	Szárny külsőrész.	+	TKSPE	Repedés, sérülés	Átvizsg. Nagyító; megfestés. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell.	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes - csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				Kopás nagyobb a megengedettnél. Csapszegeken, hüvelyeken bemaródás, berágódás.	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellenőrzés.	Ellenőrző-helyreállító munkálatok
				Függesztési csomópontokon .repedések,.	Átvizsg. Nagyító;. Észlel. után: ultrahangos,	Repülés utáni ellenőrzés

1	2	3	4	5	6	7
28.1 Folyt.				bemaródások, berágódások	Műszeres ellenőrzés	
28.2.	„Szerkezeti” tartály.	+	TKSPE	Repedések, sérülések, üzemanyag szivárg. csepegés, folyás.	Átvizsg. Nagyító; megfestés. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
28.3.	Szárny hátsórész.	+	TKSPE	Repedés, sérülés	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell.	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó	200 órás időszakos ellenőrzés
				Függesztési csomópontokon repedések, bemaródások, berágódások.	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell.	Repülés utáni ellenőrzés
				Kopás nagyobb a megengedettnél. Csapszegeken, hüvelyeken bemaródás, berágódás.	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellenőrzés.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
				Csavarok lazulása.	Csavarhúzó	200 órás időszakos ellenőrzés
				Repedések, bemaródások a beerősítési füleken. A bekötő csapokon kopás, bemaródás, berágódás.	Vizuális ell. Nagyító;. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v. megfestés.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
28.4.	Szárny orrész.	+	TKSPE	Repedés, sérülés	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műsz.ell. v.megfestés	Repülés utáni ellenőrzés

1	2	3	4	5	6	7
28.4. Folyt.				Anyás és fejes csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%-nál, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				Repedések, bemaródások a beerősítési füleken.	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés.	Ellenőrző-helyreállító munkálatok
				Kopás nagyobb a megengedettnél. Csapszegeken, hüvelyeken bemaródás, berágódás.	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellenőrzés.	Ellenőrző-helyreállító munkálatok
28.5.	A szárny orr és hátsóész a № 14 sz bordánál	+	TKSPE	Repedés, sérülések, leverődések, a szögidomokon. Réteges felválás a panelokon, szögidomokon, üvegszálás felületeken 100 mm-ént, 3 cm ² nél nem nagyobb felületen.	Vizuális és műszeres (nagyító) ellenőrzés.	Repülés utáni ellenőrzés
28.6.	Lehajtható orrész.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, beverődések a borításon, fedeleken.	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes - csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				Kopás nagyobb a megengedettnél:	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellen..	Ellenőrző-helyreállító munkálat.

1	2	3	4	5	6	7
28.6 Folyt.				Csapszegeken, hüvelyeken bemaródás, berágódás.		
28.7.	Fékszárnyak.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, beverődések a borításon. 4 cm ² -nél nem nagyobb méhsejtes szerkezet felületen max. 3 db, 100 mm-ént, 0,5 mm mélységű benyomódás.	Vizuális ell. nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v. megfestés. A méhsejtes szerk. felválása esetén impedanciás akusztikus műszer alk.	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes - csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				Repedések, bemaródások a beerősítési csomópontokon.	Átvizsg. nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v. megfestés.	Repülés utáni ellenőrzés
				A méhsejtes szerk blokkokon felválás.	Impedanciás akusztikus műszer alk.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
28.8.	Csűrő kormánylapok.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, beverődések a borításon. 4 cm ² -nél nem nagyobb. Méhsejtes szerkezet felületen max. 3 db, 100 mm-ént, 0,5 mm mélységű benyomódás.	Vizuális ell. nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v. megfestés. A méhsejtes szerk. felválása esetén impedanciás akusztikus műszer alk.	Repülés utáni ellenőrzés

1	2	3	4	5	6	7
28.8. Folyt.				Anyás és fejes -csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				Repedések, bemaródások a beerősítési csomópontokon.	Átvizsg. Nagyító;. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés.	Repülés utáni ellenőrzés
				A méhsejtes szerk blokkokon felválás.	Impedanciás akusztikus műszer alk.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
29. Fügőleges vezérsík						
29.1.	Fügőleges vezérsík beerősítő dobozszerkezete.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, leverődések, a szögidomokon. Réteges felválás a panelokon, szögidomok felületekén max. 3db. 100 mm-ént, 3 cm ² nél nem nagyobb felületen. Üvegszálás felületeken max. 2db. 100 mm-ént, 5 cm ² nél nem nagyobb felületen.	Átvizsg. Nagyító;. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés.	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes -csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
29.2.	Fügőleges vezérsík lezáró kontúrelemei.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, beverődések, eróziós nyomok a belépőélen. Réteges felválás az üvegszálás elemeken.	Vizuális átvizsg. (nagyító)	Repülés utáni ellenőrzés

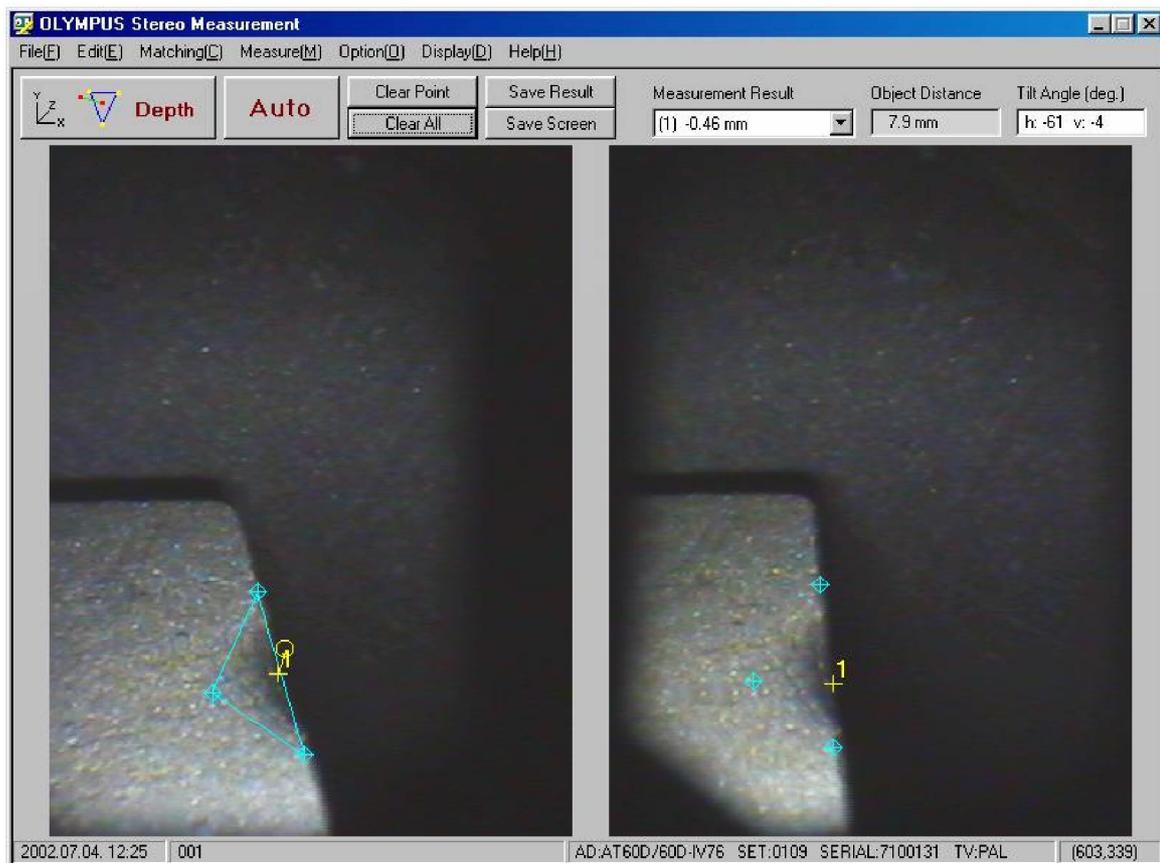
1	2	3	4	5	6	7
29.3.	Függőleges vezérsík (általában)	+	TKSPE	A vez.sík beerősítés csatlak. csav. lazulása	Vizuális átvizsg. A csavarbej elől. Alapján.	Repülés utáni ellenőrzés
				A vez.sík kontúrelemek csatlak. csav. lazulása		
				Kopás nagyobb a megengedettnél a függ.v.s. mellső és hátsó hossztartók csatlak. csavarjain.	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellenőrzés.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
				Repedések, bemaródások a beerősítési csomópontokon.	Átvizsg. nagyító;. Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés.	Repülés utáni ellenőrzés
				Kopás nagyobb a megengedettnél. Csapszegeken, hüvelyeken bemaródás, berágódás.	Vizuális és műszeres (mikrométer) ellenőrzés.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok
29.4.	Oldalkormány.	+	TKSPE	Repedés, sérülések, beverődések, felválások a borításon 4 cm ² -nél nem nagyobb. Méhsejtes szerkezet felületén max. 3 db, 100 mm-ént, 0,5 mm mélységű benyomódás.	Vizuális ell. nagyító;.Észlel. után:ultrahangos műszeres ell. v. megfestés. A méhsejtes szerk. felválása esetén impedanciás akusztikus műszer alk.	Repülés utáni ellenőrzés
				Anyás és fejes -csavarok lazulása. Egy sorban nem több 20%, össz. 10%-nál.	Kalibrált erőkulcs és csavarhúzó.	200 órás időszakos ellenőrzés
				A méhsejtes szerk blokkokon felválás.	Impedanciás akusztikus műszer alk.	Ellenőrző- helyreállító munkálatok

1	2	3	4	5	6	7
29.4. Folyt.				Repedések, bemaródások a beerősítési csomópontokon.	Átvizsg. Nagyító; Észlel. után: ultrahangos, műszeres ell. v.megfestés.	Repülés utáni ellenőrzés
				Sérülések a lengéscsill. beerősítésén, csavarok és biztosításaik lazulása.	Vizuális ell. és csavarhúzó.	Repülés utáni ellenőrzés
30. Stabilizátor (magassági-kormány)						
30.1.	Stabilizátor lapok (felületek)	+	TKSÜ	2000 repült óra.	Átvizsg. nagyító; Észlel. után: ultrahangos, v. mágneses műszeres ell. Mikrométeres mérés.	Repülés utáni ellenőrzés. 200 órás időszakos ellenőrzés. Tech.áll. felmérés.

4. számú melléklet: A MIG-29 TÍPUSÚ REPÜLŐGÉPEN ALKALMAZOTT RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK ISMERTETÉSE

4.1. SZEMREVÉTELEZÉSSSEL TÖRTÉNŐ VIZSGÁLATOK (VIZUÁLIS)

Egyedi, vagy előzetes állapotfelmérésekhez leggyakrabban alkalmazott roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás a szemrevételezés. Ez a legegyszerűbb és legolcsóbb vizsgálati módszer, amely a felületi eltérések kimutatására kiválóan alkalmas. Az esetek többségében valamilyen egyéb vizsgálat kiegészítőjeként is alkalmazzák, mivel az emberi szem felbontó képessége korlátozott, így a különböző egyéb diagnosztikai eszközök megerősíthetik vagy elvethetik a felfedezett elváltozásokat. A hagyományos szemrevételezéssel nehéz rögzíteni a tényleges állapotokat, valamint nagy a szubjektivitása. Ezért ez követeli meg a legnagyobb gyakorlatot, és a vizsgált szerkezet és igénybevételeinek alapos ismeretét. Tisztában kell lennie az anyagszerkezet tulajdonságaival, a gyártástechnológiájával, az eltérések várható helyeivel, irányával. Ezért követelmény, hogy az ilyen vizsgálatokat csak a legjobban felkészült és nagy tapasztalattal rendelkező vizsgálók végezzék. Ezt a hiányosságot küszöböli ki az általam javasolt és alkalmazott, számítástechnikával támogatott **endoszkópos** vizsgáló műszer. Az ellenőrzés időpontját, az akkor meglévő sérülést, elváltozást, annak méreteit és kiterjedését a gép memóriájában rögzíteni lehet, amit aztán a későbbi ellenőrzések adataival össze tudunk hasonlítani. Ez lehetőséget ad a repedések kifejlődésének követésére, a szerkezeti elem állapotprognózisának felállítására. Ezt szemléletesen az 1. ábra:

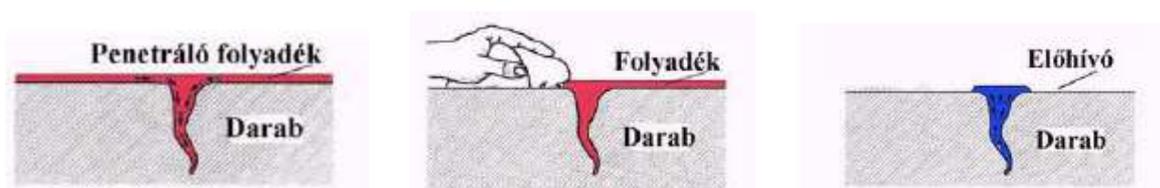


1.ábra Kompresszor lapát beverődés mélységének mérése az OLYMPOS iPlex (ENDOSZKÓP) készülékkel

4.2. FESTÉKPENETRÁCIÓS VIZSGÁLAT

Ezt a módszert 1943-ban szabadalmaztatták petróleum és mész-krépor vizsgálóanyagok használatával. A II. Világháborúban már tömegesen alkalmazták

A vizsgálat a kapilláris hatást használja ki, melynek során a vizsgálandó felületre - annak megfelelő megtisztítása után – szabad szemmel jól látható színű (vagy fluoreszkáló) folyadékot juttatunk fel. Meghatározott idő elteltével (amíg a jelző anyag a felületi repedésbe behatol) a festékanyagot eltávolítjuk a munkadarab felszínéről. Ezután az "előhívó" anyag felhordása következik, ami a repedésekbe beszívargott jelzőanyag felszínre emelését végzi el. A repedésekben megmaradt és onnan visszaszívott festék az előhívó rétegen éles kontraszttal mutatja meg a repedés helyét. 2. ábra. [29]¹⁰⁴



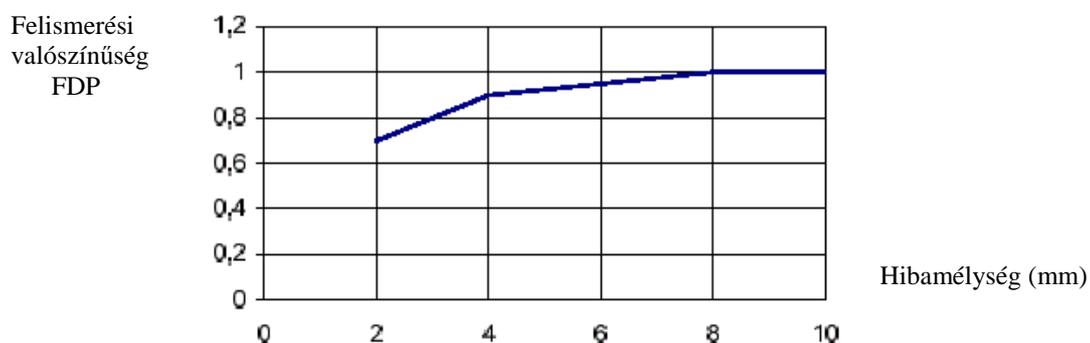
2. ábra A penetrációs vizsgálat elve

Az eljárás hátránya hogy csak bizonyos méretet meghaladó felületi vagy az azon lévő nyitott repedések kimutatására alkalmas. Porózus felületű munkadarabok nem vizsgálhatók, mert a pórusok hibaként jelennek meg.

A kimutatható legkisebb repedés körülbelül 5 µm szélességű és 10 µm mélységű lehet. Az érzékenységet meghatározó tényezők:

- a nedvesítés mértéke;
- a repedés geometriai alakja;
- a felület tisztasága;
- a vizsgálat elvégzésére rendelkezésre álló idő;
- a vizsgáló személy felkészültsége;
- a vizsgáló és előhívó folyadék minősége;
- az értékelés során a megvilágítás mértéke.

A „NORDEST” és „ICONE” Az Európai Közösség által koordinált vizsgálati project eredménye az **Flaw Detection Probability** (a továbbiakban **FDP**) azaz a **hiba felismerésének valószínűsége** az 3. ábrán látható. [50]¹⁰⁵



3. ábra Hiba-felismerési valószínűség folyadék penetrációs módszer esetén

¹⁰⁴ 4. oldal

¹⁰⁵ 16. oldal[]

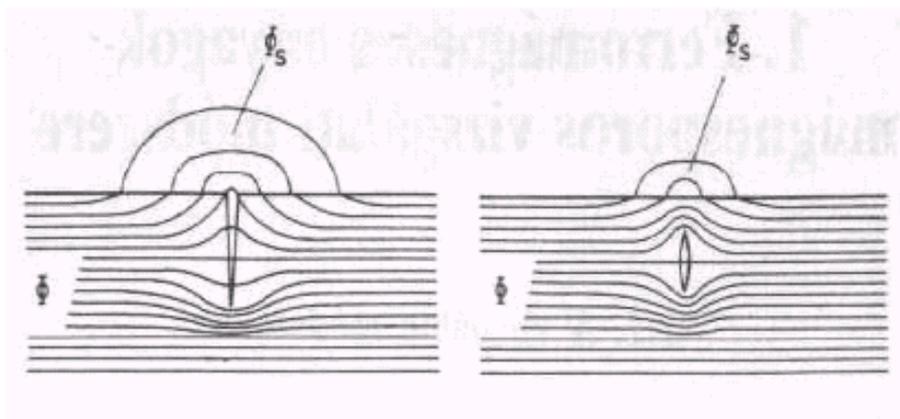
Folyadékbehatolásos vizsgálati módszerre láthatunk példát a 4. ábrán (Saját felvétel)



4. ábra Repedés kimutatása MiG-29 típusú repülőgép törzstartályán

4.3. MÁGNESES REPEDÉSVIZSGÁLAT

A mágneses erővonalak irányát a vizsgálandó anyagban található eltérő anyagú és mágneses permeabilitású részek eltérítik. Ezen erővonalak láthatóvá tétele révén a hiba helye meghatározható 5. ábra.[29]¹⁰⁶



5. ábra A mágneses vizsgálat elve

¹⁰⁶ 5. oldal

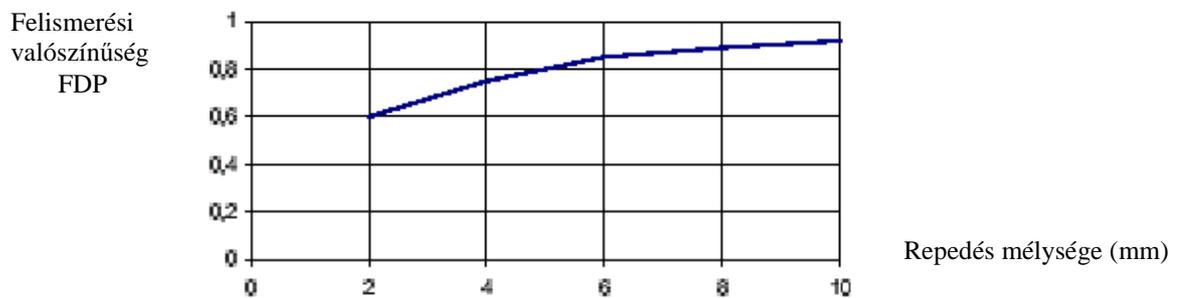
A vizsgálatot csak ferromágneses anyagokon lehet elvégezni.

Az eljárásnak két fő változata létezik, a száraz poros valamint a nedves vizsgálati módszer. A száraz változat egyszerűbb és a felülethez közel eső hibák esetében pontosabb, míg a nedves mágneses eljárás kisebb repedésméret esetében is nagyobb felismerési pontosságot tesz lehetővé.

A vizsgálat jellegzetességei:

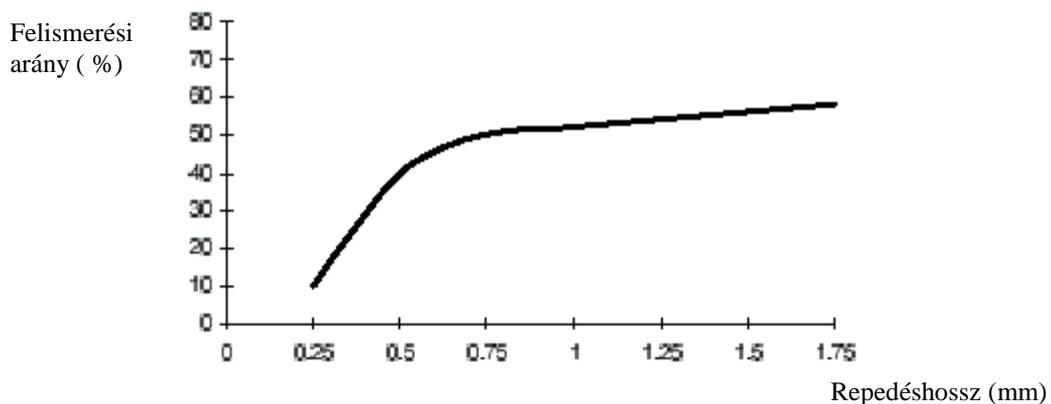
Általánosságban megállapítható, hogy olyan hibák felderítésére alkalmas ahol a hiba hossza legalább háromszorosa a szélességének. A repedésnek közel kell elhelyezkednie a felülethez (6 mm-nél mélyebben fekvő hibák kimutatásához speciális eljárás szükséges). A vizsgálat során alkalmazott mágneses mező erővonalai 45-90 fok közötti szöveget zárjon be a repedés hossz tengelyével. A felületen lévő nem mágnesezhető bevonat, maximum 0,075 mm vastagságban, nem befolyásolja a vizsgálat hatékonyságát. Ferromágneses anyagú bevonat esetében csak 0,025 mm-ig engedhető meg.

A módszerre jellemző általános hatékonyságot az 6. ábra jellemzi.[56]¹⁰⁷



6. ábra Hiba-felismerési valószínűség mágneses repedésvizsgálatnál

Speciális alkatrészek vizsgálatára kifejleszhető célkészülék, mellyel a vizsgálati hatékonyság, érzékenység jelentősen megnövelhető (7. ábra) [50]¹⁰⁸.

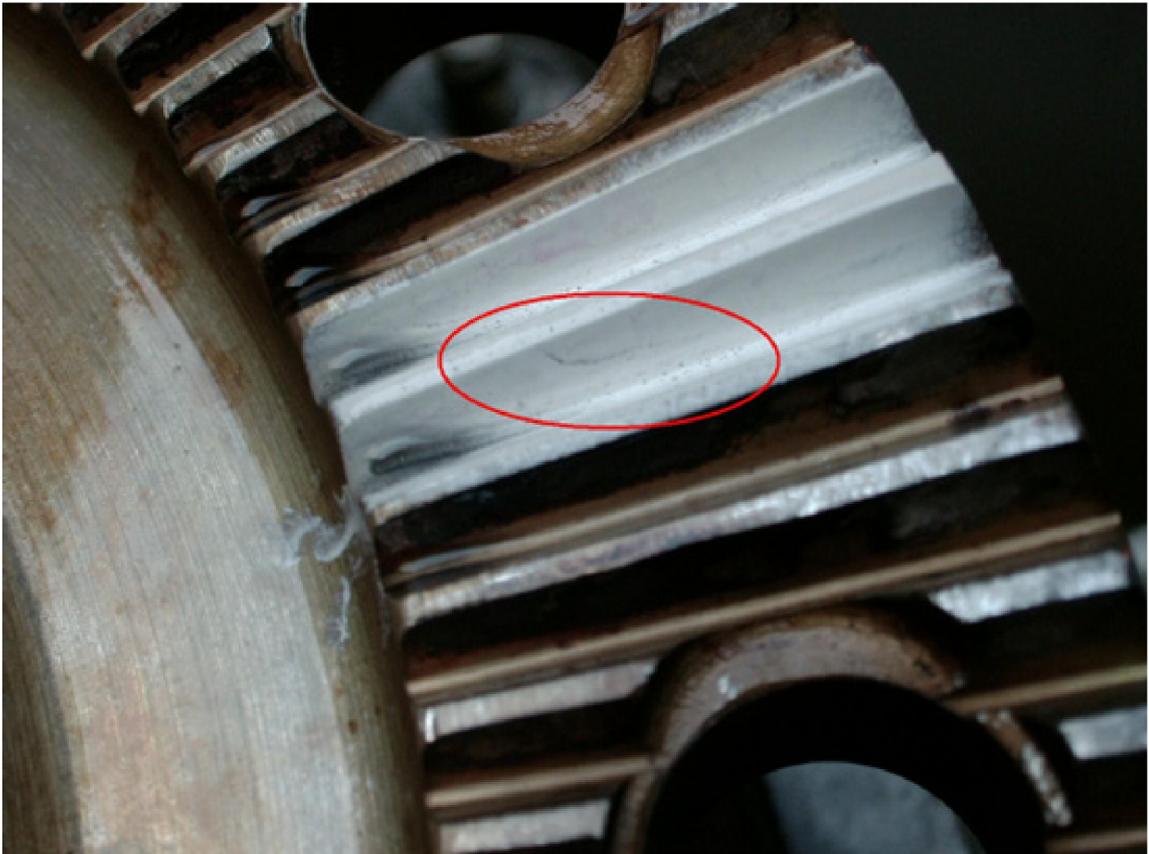


7. ábra Turbinalapát vizsgálatára alkalmazott készülék hiba felismerési értéke

¹⁰⁷ 26. oldal

¹⁰⁸ 25. oldal

Mágnesezhető poros alkalmazásra láthatunk példát a 8. ábrán:



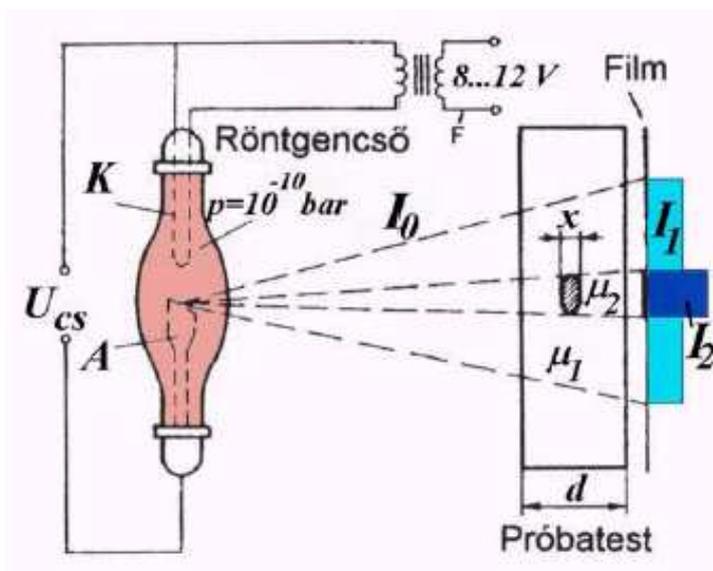
8. ábra Repedés kimutatása An-26 típusú repülőgép légcsavar tengely Hírt-fogazatú tárcsáján (MH LÉ..Jü-ben készített felvételem)

4.4. RÖNTGEN VIZSGÁLAT

A működés lényege az, hogy egy légritkított üvegcsőbe két elektródát behelyeznek el. Az egyik az „Anód”, a másik pedig a „Katód” lesz, melyekre nagyfeszültségű egyenáramot kapcsolnak. (U_{cs}). Az alacsony nyomású térben a 8-12 V fűtőfeszültség hatására az izzó katódból elektronok lépnek ki, melyek a csőfeszültség hatására felgyorsulnak és nagysebességgel az anódnak ütköznek. A becsapódó elektronok mozgási energiájának több mint 99 százaléka hővé alakul, a megmaradó részből azonban röntgensugárzás keletkezik. A sugárzás áthatolóképességét, egyéb jellemzőit fizikai tanulmányainkból ismerjük.

A vizsgálat elvi működést a 9. ábrán keresztül mutatom be [29]¹⁰⁹:

¹⁰⁹ 6. oldal



9. ábra A röntgensugaras vizsgálat elve

Anyagvizsgálati célokra a sugárzás azon tulajdonságát használhatjuk fel, hogy valamely tárgyon való áthaladás során, az anyagra jellemző elnyelési együttható függvényében, a sugárzás intenzitása csökken.

$$I_1 = I_0 e^{-\mu d}$$

Ahol a μ - sugárgyengítési tényező (az elnyelés és a szórás hatását együttesen jellemzi);
 d – a vizsgált anyag vastagsága.

A vizsgálat során az I_0 kezdeti intenzitású röntgensugarak egy része az ellenőrzendő alkatrész d anyagvastagságán áthaladva I_1 intenzitásúra, míg azok a sugarak, amelyek az x vastagsági mérettel jellemezhető hibás részen haladnak át I_2 intenzitásúra csökkennek. A $d > x$ így az $I_2 > I_1$. Ebből következően a munkadarab ellentétes oldalán elhelyezett film különböző mértékben feketedik el, azaz a nagyobb intenzitású (I_2) erősebb feketedést okoz, mint a kisebb intenzitású (I_1) sugárzás [49]¹¹⁰.

A röntgensugárzás sokféleképpen kimutatható (Geiger-Müller számláló, ionizációs kamra, stb.) anyagvizsgálatra azonban a fényérzékeny filmes eljárást alkalmazzák, így a film egyben dokumentációként is szerepel. Mivel az elkészített felvétel a vizsgált alkatrész egy adott irányú vetülete, ezért a hibának is vetületi képét nyerjük ki. A pontos hiba-meghatározáshoz többirányú felvételt készítés szükséges.

A felvétel minősége döntő jelentőségű a vizsgálat pontossága tekintetében! Az elkészített felvétel minőségét befolyásoló tényezők:

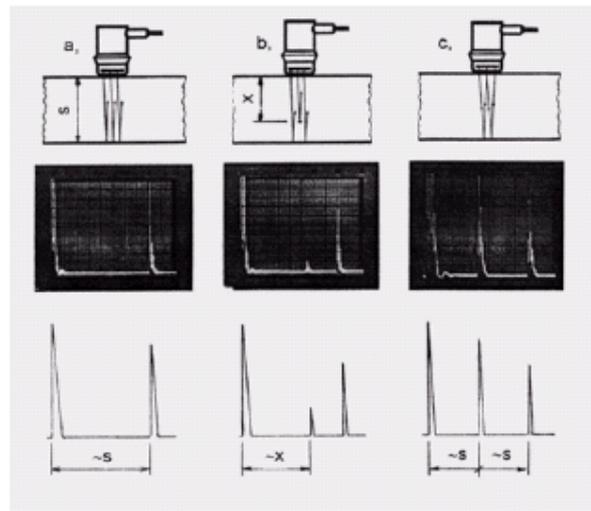
- a vizsgált anyag minősége;
- az expozíciós idő;
- a röntgencső feszültsége és a fűtőáram nagysága;
- a film és a sugárforrás egymástól való távolsága;
- a vizsgált tárgy és a film távolsága;
- az ezüst-halogenid szemcsék nagysága (a film minősége).

¹¹⁰ 4. oldal

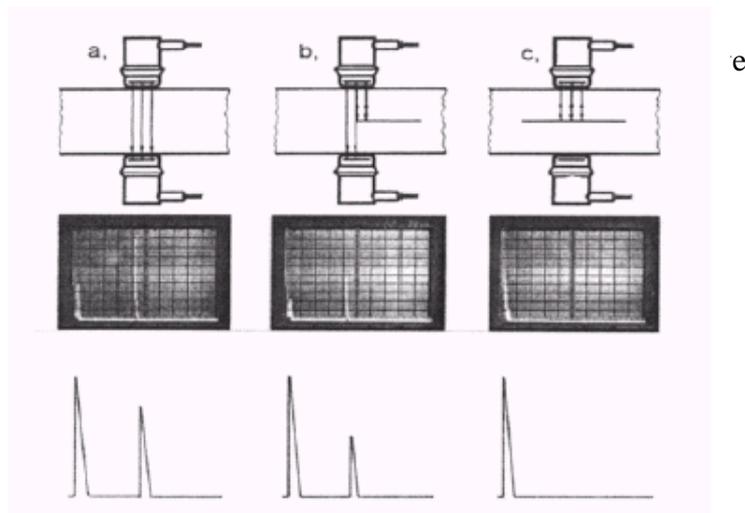
4.5. ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT

Az ultrahangos vizsgálat során az ultrahang azon tulajdonságát használjuk fel, hogy különböző közegekben eltérő sebességgel halad. A különböző akusztikai sűrűségű anyagok határához érve a hangnyaláb elhajlik, illetve visszaverődik. Ilyen eltérő akusztikai tulajdonságú anyag lehet a hegesztési varratban található esetleges zárvány, (gáz vagy salak) illetve repedés. A hibátlan alkatrészekenél csak a darab határfelületéről verődik vissza az ultrahang, amennyiben hibás részeket is tartalmaz az alkatrész, úgy a hiba felületéről is tapasztalhatunk visszaverődést.

A vizsgálatok két fő módszer szerint végezhetők el, impulzus – visszaverődéses eljárással, 10. ábra [29]¹¹¹ vagy az átbocsátás elvén működő eljárással 11. ábra [29]¹¹².



10. ábra Impulzus-visszaverődés eljárás elve



11. ábra Hangátsugárzásos eljárás elvén működő vizsgálat

¹¹¹ 8. oldal

¹¹² 8. oldal

A kijelzőn tapasztalható visszaverődési jelek és a hiba nagysága között nincs egyértelmű összefüggés, a jel amplitúdójának nagysága sok tényezőtől függ. A legfontosabb befolyásoló hatások:

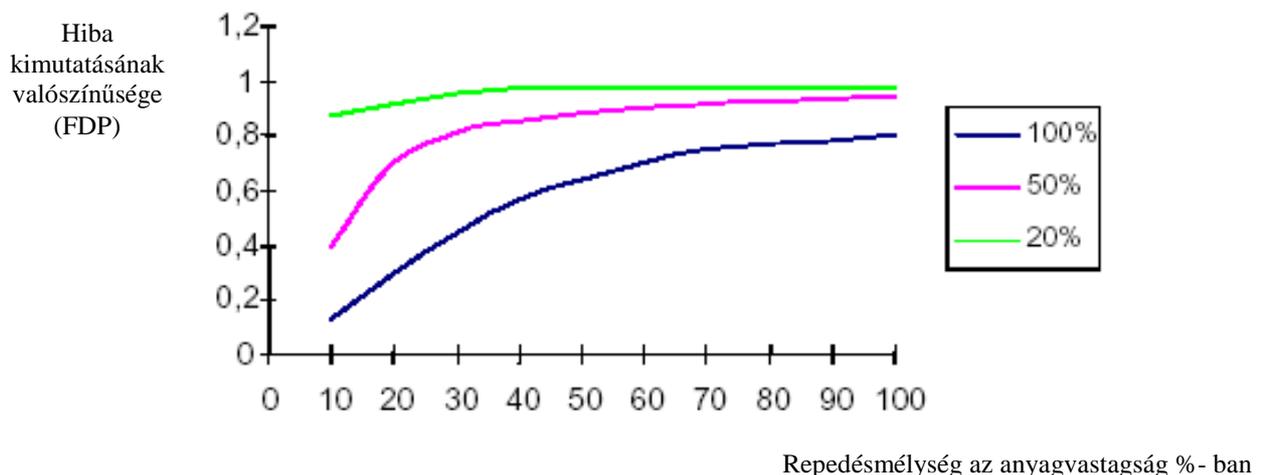
- a munkadarab mikro-szerkezete;
- szemcseméret;
- a hiba távolsága a felülettől;
- a hiba alakja;
- a hiba orientációja;
- mérési impedanciák különbsége, hullámforma (transzverzális, longitudinális).

A mérések során esetenként előfordulhat hamis „hibajel”. Ezeket a következő tényezők okozhatják:

- mérőkészülék elektromos részeinek meghibásodása;
- adófej törése;
- légbuborék a vizsgált felület és az érzéklőfej között alkalmazott anyagban;
- a munkadarab bonyolult alakja;
- különböző szemcseméretű anyagrétegek határfelületeinek hatása;
- hullámforma változás;
- hegesztési varrat készítése során az anyag szerkezetében a hőhatások által kiváltott változások övezete.

Az ultrahangos vizsgálatok megbízhatósága a digitális technológia fejlődésével egyre nő. További előnyei, hogy az adatok jól és megbízhatóan tárolhatók, reprodukálhatók, korábbi adatokkal összehasonlíthatók és az adatok továbbítása egyszerű.

Az eljárás hatékonyságát legjobban a **DAC** (**D**istance **A**mplitude **C**orrection) görbe jellemzi, ami az azonos visszaverődő felületről, különböző mélységből visszavert sugarak amplitúdójának és mélységének kapcsolatát fejezi ki (12. ábra).[50]¹¹³



12. ábra Hibakimutatás valószínűsége a **DAC** figyelembe vételével

¹¹³ 19 .oldal

4.6. ÖRVÉNYÁRAMOS REPEDÉSVIZSGÁLAT

Ha egy tekercsben váltakozó áram folyik (I_1) akkor a tekercs körüli térben váltakozó mágneses mező indukálódik (H_1). Ebben a mágneses térben, az odahelyezett elektromos vezetőben a változó mágneses mező hatására, váltakozó áram indukálódik (I_2 örvényáram). A keletkezett örvényáram iránya olyan, hogy az általa létrehozott mágneses mező (H_2) a (H_1) mágneses mezőt gyengíteni igyekszik. Repedések, egyéb felületi hibák megváltoztatják a felületen indukálódó örvényáram nagyságát és ez a változás, megmutatkozik a H_2 mágneses mező nagyságában is. Az anyagvizsgálat során érzékeny elektronikus készülékkel mérjük az említett változást [50]¹¹⁴13. ábra [29]¹¹⁵.

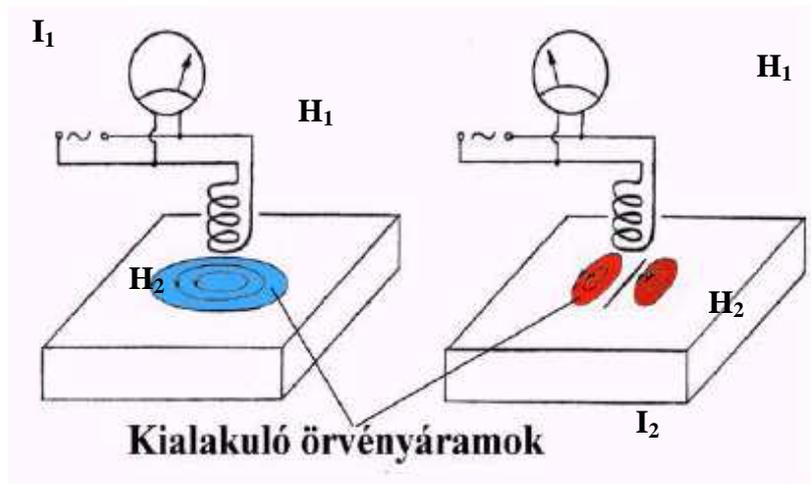
$$H = IN \cdot (l)^{-1}$$

Ahol H - mágneses térerősség (gerjesztés) [37]¹¹⁶;

I - áramerősség;

N - a tekercs meneteinek száma;

l - a tekercs hossza.



13. ábra Az örvényáramos repedésvizsgálat elve

Mivel az anyagvizsgálat során a vizsgált tárgyban haladó áram komplex impedanciájának változását mérjük, a mérőkészülék kijelzőjén a Z impedancia érték vektora a kétdimenziós kijelzőn egy pont képében jelenik meg. Repedés érzékelése esetén a Z_0 pontba mutató vektor helyzete Z_1 pontba mutatóra változik.

A módszer legfontosabb sajátossága, hogy csak elektromos vezető anyagok esetében használható és a "skin-effektus"(bőr-effektus, azaz felületi vezetés)¹¹⁷ jelentkezése miatt az ellenőrizhető anyagmélység csak korlátozott mértékű.

¹¹⁴ 27. oldal

¹¹⁵ 10. oldal

¹¹⁶ 707. oldal

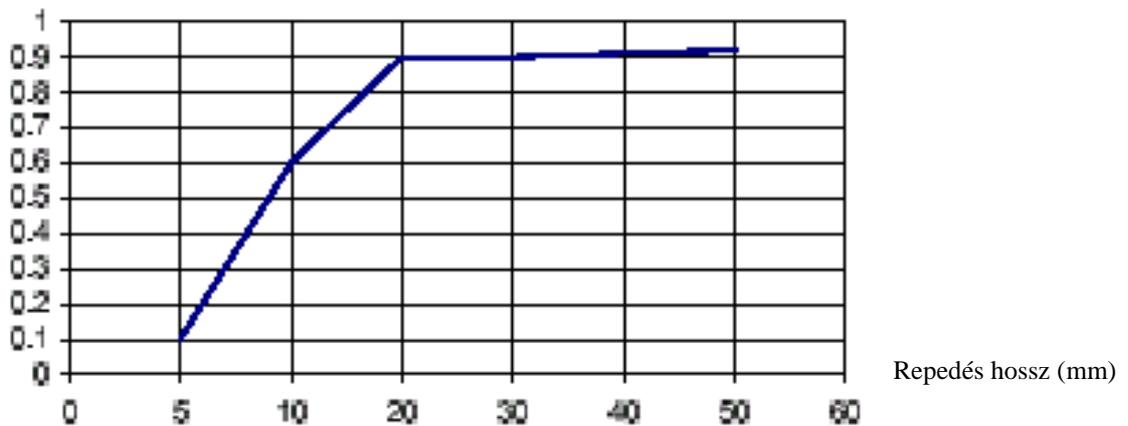
¹¹⁷ **Lord Kevin 1887** „Of Temperature Fame”: A váltóáramnál fellépő hatás, amelynek lényege az, hogy az áram döntő része a vezető külső felülete mentén halad, míg az egyenáramnál az áram a vezető teljes keresztmetszetében eloszlik. Kiváltó oka az, hogy a vezető belsejében gerjesztett örvényáramokat, elsősorban a vezető belsejében gátolják az áram folyását. A *skin-effektus* magasabb frekvenciáknál jobban érvényesül. Ennek

Az ellenőrzések, mérések során rendkívül sok - a mérés hatékonyságát és pontosságát - befolyásoló tényezőt kell figyelembe venni. Ezek:

- a vizsgálati frekvencia;
- a vizsgáló szonda mérete, alakja, kialakítása;
- a környezeti hőmérséklet, illetve annak változása;
- a mérő elektronika minősége,
- a vizsgált anyag vezetőképessége;
- a felderítendő hiba fajtája;
- a munkadarab felületének állapota;
- a vizsgált alkatrész alakja, mérete;
- az alkatrész anyagának állapota,
- más vezető anyag jelenléte, közelsége.

Az általános anyagvizsgálatra vonatkozó projectek alapján az eljárás hatékonyságát a 14. ábra szemlélteti. [50]¹¹⁸

Kimutatási
valószínűség
FDP



14. ábra Hiba felismerésének valószínűsége örvényáramos eljárás esetén

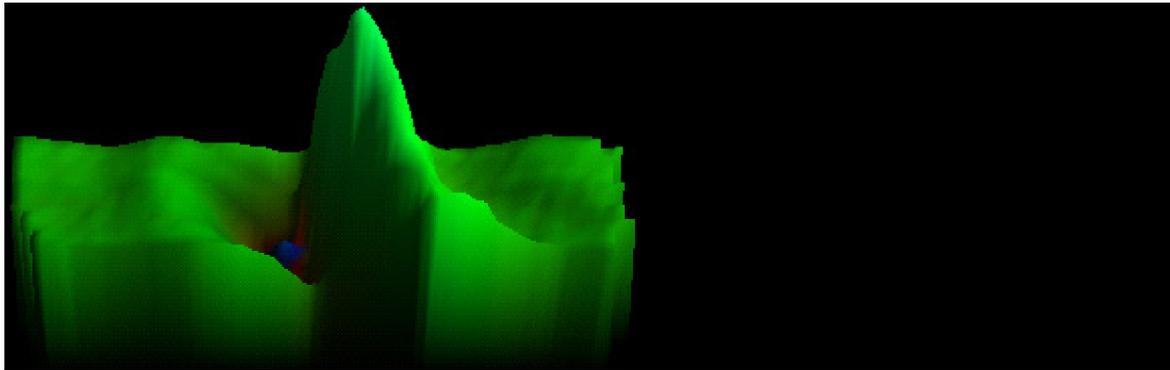


15. ábra Egy repülőgép szárny vizsgálata az MH Lé.Jü.-ben.

következménye, hogy a áram vezetéséhez inkább üreges csövek, mintsem tömör rudak vagy huzalok szükségesek. (hmika.freeweb.hu)

¹¹⁸ 29. oldal

Az MH Lé.Jü.-ben alkalmazott készülék működési elvét és alkalmazhatóságát tekintve több vizsgálati módszer előnyös tulajdonságát egyesíti. A vizsgáló program szoftvere egy hordozható személyi számítógépen van. A vizsgáló fej vagy vizsgáló szonda a „laptop” egereként funkcionál. A vizsgálati eredmények a képernyőn megjeleníthetők (16. ábra) két vagy háromdimenziós formában. A vizsgálat minden eredménye elektronikusan dokumentált és naplózott. Az archiválás miatt a későbbi elemzésekben az adatok felhasználhatóságának szinte nincsenek határai.



16. ábra Az „AN25Kek” etalonon kapott eredmények Mag-Fi háromdimenziós nézete

Az ábrán jól látható a repedés körül kialakuló mágneses tértorzulás. Megállapítható az is, hogy a tértorzulás nagysága jelentős a repedéstől távol megfigyelhető zajhoz képest, így a rendszer ezt a hibát kiváló jel/zaj viszony mellett detektálta.

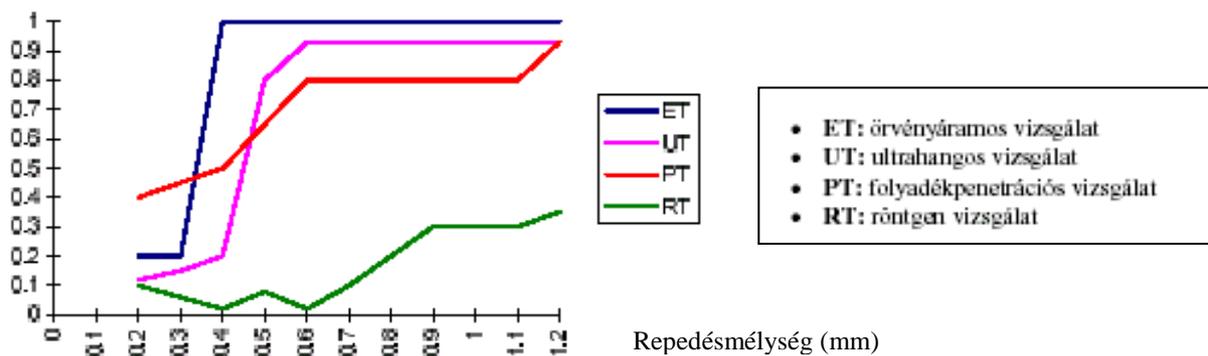
4.7. A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A különböző említett vizsgálati eljárások közül egyik sem alkalmazható tökéletes felderítési eredményességgel, és várhatóan nem is fogják a fejlesztők elérni ezt a szintet soha. Így az üzemeltetőknek egyetlen lehetősége van, hogy a tények és tapasztalataik figyelembe vételével, a legnagyobb megbízhatóságra törekedve végezzék az ellenőrzéseiket. A gyártás és működés közbeni vizsgálat fontos eszköz a megbízhatóság növelésére. A pontos vizsgálatok érdekében a helyes vizsgálati módszer kiválasztása döntő, bár ezt sok esetben az anyagi lehetőségek jelentősen befolyásolhatják.

Az üzemeltetett repülőeszközök szerkezeti integritásának megítélésében a vizsgálatok eredményei alapvetők, de ezeket az eredményeket a vizsgáló személy felkészültsége döntően befolyásolja. Elmondható tehát, hogy a valóban pontos vizsgálati végeredmény nem egyszerűen egy mérési eredmény, hanem az ELJÁRÁS-ESZKÖZ-VIZSGÁLÓSZEMÉLY mint rendszer helyes összeállításának eredménye.

A vizsgálati módszerek összehasonlítását szemléltetem a következő 17. ábrán.[50]¹¹⁹

¹¹⁹ 30. oldal



17. ábra A különböző roncsolásmentes anyagvizsgálatok megbízhatósága

A megfelelő NDE módszer kiválasztása, alkalmazása különös jelentőségű a repülőgépek állapot szerinti üzemeltetésre történő átállása, illetőleg az üzemeltetés során.

Az általunk alkalmazott módszerek érzékenységet az 1. táblázatban mutatom be.

A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek (NDE)¹²⁰ érzékenysége:

1. táblázat

Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer (Non Destructive Evaluations)	A megfigyelhető repedések legkisebb mérete [mm]		
	A repedés szélessége a felületen:	A repedés mélysége az anyagban:	A repedés hosszúsága a felületen:
Mágneses (poros)	0,001	0,1	0,5-1
Festékpenetrációs	0,001-0,05	0,1	0,1-0,3
Ultrahangos (impulzus, visszaverődéses)	• Felületi hullámok (lapátok élein)	0,001	0,3
	• Normál hullámok	0,001	0,1
Ultrahangos (Akusztikus, hangáthatolósos, impedanciás)	25mm ² felületű el(fel)válás		
Örvényáramos	0,001	0,3-0,5	1,5-5
Optikai (vizuális)	• műszeres	0,1	-
	• műszer nélkül	0,010,1	2-3
Röntgensugaras	0,1	A besugárzott anyagvastagság 1,5-3%-a	2-3

¹²⁰ non-destructive evaluations

¹²² 18; 19. oldalak

FOGALMAK MAGYARÁZATA

Üzemeltetési stratégia – Üzemeltetési módszerek előírásrendszere, amely lehetővé teszi a műszaki üzemeltetés folyamatának, s azon keresztül a légi jármű üzemállapot-változási folyamatának olyan irányítását, hogy a légi járműnek, mint az üzemeltetés tárgyának üzemi megbízhatósága, repülésbiztonsága az előírt szinten maradjon [35]¹²².

Üzemeltetés - A haditechnikai eszköz rendeltetésének megfelelő használata, alkalmazása [39]¹²³.

- A légi-jármű létezési formájának összessége, és minden olyan tevékenység, amelyet ezekben a létezési formákban végeznek. Ide tartozik a légi-jármű tárolása, szállítása rendeltetésének megfelelő használata, karbantartása, javítása és e helyzetek bármelyikére való várakozása. (Vagyis mindaz, ami a légi-járművel előállítása után történik.) A légi-jármű létezési formáit üzemeltetési állapotoknak nevezzük [35]¹²⁴.

Üzembentartás – Az üzemképes haditechnikai eszközökre irányuló üzemfenntartási tevékenységek együttese.[39]¹²⁵(Üzemfenntartás nem más, mint állagmegóvás, folyamatos üzemképesség és a megfelelő technikai állapot fenntartása, üzemeltetési tartalék visszaállítása, illetve az eredeti állapotot megközelítő helyreállítása.)

Tervszerű megelőző karbantartás -Tervszerűen, adott üzemidő ciklusonként olyan karbantartási és javítási munkákat végeznek, amelyek célja a meghibásodások feltárása, elhárítása és megelőzése [35].¹²⁶

Karbantartási stratégia – Műszaki karbantartási módozat, ami minimális összköltséggel jár és kielégíti az alábbi célkitűzéseket:

- a berendezésben a tervezés eredményeként rejlő megbízhatósági szint fenntartása. Ennél a belső szintnél magasabbat karbantartással elérni nem lehet;
- a megbízhatóság visszaállítása a berendezésben a tervezés eredményeként rejlő szintre, ha romlás következne be. Más szóval, javításnak kell alávetni az egységeket, hogy az eredeti, tervezett megbízhatósági szint helyreállítható legyen;
- annak megállapítása, hogy mely egységekben nem kielégítő a megbízhatóság, és a szükséges információ összegyűjtése a gyártó részére, hogy a nagyobb megbízhatóság céljából áttervezhesse ezeket az egységeket. [35]¹²⁷

Megbízhatóság – A légi jármű szerkezetének (rendszerének, berendezésének, elemének vagy akár az egész üzemeltetés rendszerének) azon tulajdonságát, hogy előírt funkcióit teljesíti, miközben meghatározott üzemeltetési mutatók értékeit az üzemeltetés, a műszaki karbantartás, a javítás, a tárolás és a szállítás előre megadott üzemmódjai feltételeinek megfelelő, előírt határok között az időben megőrzi. A megbízhatóság összetett tulajdonság, mely magába foglalja a hibamentességet, a tartósságot, a meghibásodások elleni érzéketlenséget, az ellenőrizhetőséget, az üzemeltethetőséget, karbantarthatóságot, a tárolhatóságot stb. [35]¹²⁸

Repülésbiztonság – A légi jármű rendeltetésének megfelelő használatra való alkalmassága.

Azaz a légi jármű maradék üzemideje a tervezett repülési feladat végrehajtására elegendő, amelyen minden előírt karbantartási, javítási és utómunkákat maradéktalanul elvégeztek, amelyet a repülésre megfelelően előkészítettek, amelyen a repülés megkezdése előtt minden elem, berendezés, rendszer üzemképes, hibátlan állapotban volt, s az előírt követelmények (pl. légköri viszonyok) között fog repülni, milyen valószínűséggel képes maradéktalanul

¹²³ 50. oldal

¹²⁴ 13. oldal

¹²⁵ 53. oldal

¹²⁶ 318. oldal.

¹²⁷ 319. oldal

¹²⁸ 98. oldal

teljesíteni a kitűzött repülési feladatot. Ezt a tulajdonságot egyébként gyakran a repülőgépbe „*betervezett repülésbiztonságnak*” is nevezik [35]¹²⁹.

Meghibásodás - esemény, amely a hajtóműegység, berendezés, szerkezet előírásos, működőképes állapotának elvesztését jelenti. [35]¹³⁰

Üzemképesség - a hajtómű azon állapota, amikor rajta minden előírt karbantartási, javítási és közlőmunkákat elvégeztek. Rendszerei, berendezései, elemei hibátlanul működnek, üzemállapotuk műszaki jellemzői az előírt határok között vannak, s a hajtómű nem érte még el határállapotát, (olyan állapot, melynek elérése után a hajtómű további rendeltetészerű használatra alkalmatlan) és annak eléréséig hátralévő idő lehetővé teszi a repülési feladat végrehajtását. A hajtómű az előírásoknak megfelelően a repülésre elő van készítve [35]¹³¹.

Üzemidő - a hajtóművek technikai dokumentációjában rögzített és meghatározott határállapotáig történő üzemidő. [nagyjavításig; javítások közötti (kis; közép; profilaktikus); össztechnikai]. [6]¹³²

Össztechnikai üzemidő (valós műszaki élettartam) – Az üzemeltetés (üzembeállítás) kezdetétől számított működési idő, amely alatt légi jármű (hajtómű) eléri azon határállapotát, amikor már semmilyen körülmények között nem üzemeltethető tovább, és nem javítható [35]¹³³. Ezt az üzemidő értéket alapvetően a repülésbiztonsági követelmények, elvárások határozzák meg, de döntően befolyásolják az üzemeltetés gazdaságossági tényezői is. [6]¹³⁴. Megjegyzés: Az üzemidőt lehet a **Repült idő, Naptári üzemidő, és a Működési szám** (pl.: leszállások száma; lövések száma stb.) szerint meghatározni, illetőleg korlátozni.

Garantált technikai üzemidő (garantált élettartam) - Az üzemeltetés (üzembeállítás) kezdetétől számított működési idő, amelynek leteltéig a tervező és gyártó cégek garantálják (de nem garanciát vállalnak arra), hogy az üzemeltetés tárgya az előírt üzemeltetési körülmények és feltételek mellett biztonságosan használható. A tervező és gyártó cégek az élettartam garانتálásakor előírják az általuk jóváhagyott üzemeltetési stratégia kötelező alkalmazását, és fenntartják maguknak a jogot az üzemeltetési rendszer, a stratégia ellenőrzésére, az egyes üzemeltető szervezetek által bevezetendő változtatások felülbírálására [35]¹³⁵. Megjegyzés: A repülőeszközök dokumentációjában gyakran ezt az üzemidőt tüntetik fel össztechnikai üzemidőként. Ez a repülőeszköz élete során növekszik, és közelít a valós műszaki élettartamhoz, ami az üzemeltetési tapasztalatok, és a diagnosztikai eszközök fejlődésével szintén növekedhet.

Az előző két meghatározásnak megfelelően létezik **Karbantartások közötti (időszakos), Javításközi és Garanciális üzemidő**.

Műszaki üzemeltetés – A légi járművek üzemeltetési rendszerének egy alrendszere, amely hivatott biztosítani a légi járművek megfelelő műszaki színvonalát sajátos, szigorúan szabályozott műszaki tevékenységi rendszerével (ellenőrzések, alkatrészcsere, karbantartások, felújítások, szerkezeti módosítások végrehajtását stb.) [35]¹³⁶.

M szám (Mach-szám) - A repülő test sebessége és a közeg sűrűsége által megszabott hangsebesség hányadosa. (E. Mach osztrák fizikus nevééről)

Légiközlekedési baleset – „A légi jármű eltűnése, vagy súlyos személyi sérülés, vagy haláleset, továbbá a légi jármű olyan szerkezeti hibája, illetőleg károsodása, amely veszélyezteti a légiközlekedés biztonságát”. (1995. évi XCVII törvény a légi közlekedésről)

¹²⁹ 90-91. oldal

¹³⁰ 100. és 319. oldalak

¹³¹ 99. oldal

¹³² 10. oldal

¹³³ 100. oldal

¹³⁴ 10. oldal

¹³⁵ 100. oldal

¹³⁶ 14. oldal

Tribológia – az egymáson elmozduló alkatrészek kölcsönhatásának, azaz súrlódásának, kopásának és kenésének tudománya [40]¹³⁷. Megjegyzés: A nemzetközi tudományos világban az 1970-es évektől számít önálló ágazatnak. A gépek élettartamát csökkentő kopás ellen alkalmazott kenőanyagok és szűrők fejlesztése ma már csak a legfejlettebb tudományos és technológiai ismeretek birtokában lehetséges [48;52.].

Endoszkópia jelentése a görög nyelvből – benézés, ami általában az emberi test belsejébe való betekintést jelenti annak megfigyelése céljából, mégpedig egy diagnosztikai műszer, az endoszkóp¹³⁸ segítségével. Az endoszkóp ipari/technikai (merev) változata a boreszkóp, ami az ipari termékek, zárt szerkezetek belső tereinek megtekintésére szolgál olyan esetekben, amikor a közvetlen megfigyelésre nincs lehetőség¹³⁹.

¹³⁷ 1.1. Fejezet

¹³⁸ Endoszkóp - optikai üvegszálak elmélete alapján készített hajlékony fényvezető cső megvilágítással.

¹³⁹ <http://hu.wikipedia.org/wiki/Endoszk%C3%B3pia>