



Vonnák Iván Péter nyá.okl.mk alezredes

A HAJTÓMŰVEK ÉS KÖZLŐMŰVEIK DIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATA ÉS ÁLLAPOT-PROGNÓZISA

A JELENLEG ELFOGADOTT DIAGNOSZTIKAI MÓDSZEREK

1. működést jellemző paraméterek vizsgálata;
2. vibráció;
3. tribológia; (a kenőolajokban megjelenő fémkopadék vizsgálata)
4. endoszkópia;

1. Repülőgép hajtóművek paraméteres diagnosztikája

A sugárhajtóművek műszaki állapotának meghatározása, üzemeltetés közben, a fő működési paraméterek mérési eredményeinek elemzésén alapul. Minden sugárhajtóműnél meghatározható mindazon paraméterek és ismertetőjelek sokasága, melyek jól jellemzik annak műszaki állapotát. A sugárhajtóművek műszaki állapotának paraméteres ellenőrzésének bonyolultsága abban áll, hogy nehéz matematikailag modellezni a sugárhajtóművekben lejátszódó folyamatokat, valamint nagy nehézségekbe ütközik, egy elfogadható időintervallumon belül, pontosan értékelni is azt.

A sugárhajtóművek műszaki paraméteres *diagnosztikájának* így az egyik alapvető kérdése azoknak a fő funkcionális paramétereknek a kiválasztása, amelyek a legnagyobb diagnosztikai értékkel bírnak.

Napjainkban a sugárhajtóművek *működőképességének* alapvető ellenőrzési módszere a műszeres ellenőrzés. Természetesen ennek az ellenőrzésnek is az objektivitása nagyban függ az ellenőrizendő paraméterek helyes kiválasztásától.

A paramétereket alapvetően két módszerrel mérik, ellenőrzik:

- Flight testing; (on-board)
- Ground testing.(on-ground)

A korszerű katonai repülőgépek és az azokra felszerelt sugárhajtóművek diagnosztikai rendszerei alig maradnak el a nagy szállító repülőgépektől. Az állandó, és a leggyakrabban ellenőrzés alatt álló működési paraméterek a következők:

- a sugárhajtóművek forgórészeinek fordulatszámai, N_1 ; N_2
- turbina utáni gázhőmérséklet, T_4 ;
- turbina vibrációs szint, V_{vibr} ;
- kompresszor előtti és mögötti levegőnyomások, P_1 ; P_2
- sugárhajtóműbe belépő levegő hőmérséklete, T_1 ;
- olajnyomás, P_{olaj} ;
- a sugárhajtóműből kilépő olaj hőmérséklete, T_{olaj} ;

- turbina utáni gáznyomás, P_4 ;
- hajtómű vezérlő kar (HVK) helyzete;
- gázsebesség fokozó (GSF) helyzete;
- üzemanyag nyomás a fő és az utánégető üzemanyag kollektorban, $P_{üza}$; $P_{utég}$;
- utánégetés be és kikapcsolása;
- pompázs üzemmód;
- olajrendszer fémforgács jelzése.

A fenti felsorolásból kiragadnám az olajkérdést, mivel a repülőgép sugárhajtóművek nagy fordulatszámokon működnek, így a csapágyainak és más súrlódó alkatrészeinek kenése folyamatosnak és hatásosnak kell hogy legyen. Néhány sugárhajtóműben a forgórészek fordulatszáma eléri akár a 45-75000 fordulatot is percenként, a forgórészek csapágyainak felületi terhelése pedig a 2000...3000 MPa értéket. A sugárhajtóművek gördülőcsapágyainak üzemi hőmérséklete általában 100...120°C, azonban a kompresszor csapágyak 120...200°C-ig, míg a turbinacsapágyak 250...400°C -ig is felmelegednek működés közben. A hajtóművek leállítása után, amikor megszűnik az olaj intenzív cirkulációja, hűtési hatásfoka leromlik, ezek az értékek jelentősen megemelkedhetnek.

A gördülőcsapágyak üzemi hőmérséklete a sugárhajtóművekben alapvetően a sugárhajtóművek típusától függ.

Így megkülönböztetnek:

- hangsebesség alatti;
- hangsebességű;
- hangsebesség feletti sugárhajtóműveket.

Sugárhajtómű típusa	Turbinacsapágy hőmérséklete (°C)	Olaj hőmérséklete (°C)
Hangsebesség alatti	175	90
Hangsebességű	175-300	90-150
Hangsebesség feletti	300-400	150-200

1. táblázat A turbinacsapágyak és az olaj hőmérséklete különböző repülési tartományokban

A sugárhajtóművek hőmérsékleti viszonyai repülés közben változnak, mégpedig a repülési sebesség növekedésével nő az üzemi hőmérséklet. Ebből következik, hogy a csapágyak hőmérsékletei is emelkednek. Egy angol vadászipülőgépen végzett kísérleti mérések eredményeit a 2 táblázat tartalmazza.

Hőmérséklet mérési helye	Repülési sebesség M		
	0,9	2,2	3,0
Olajtartály, °C	150	180	260
GSF környezete, °C	200	290	330
Labirint és levegő tömítések, °C	260	350	540
Csapágyak, °C	260	260	315

2.táblázat Az olaj hőmérséklete a hajtóműben az M^1 szám függvényében

¹ **Megjegyzés:** az M szám viszonyszám, a repülési sebesség és a hangsebesség hányadosa.

A sugárhajtóművek csapágypai, különböző támaszai kenéséhez szükséges olajmennyiséget a kenendő helyek hő és mechanikai terhelésének függvényében határozzák meg az olajfűvókák átmérőjének és az olajnyomás megfelelő kiválasztásával. A sugárhajtóművek minden üzemmódjához más-más olajnyomás érték tartozik. Az olajnyomásnak az előírt érték alá történő csökkenése megnöveli a súrlódó párok kopását valamint a súrlódó párok hőmérsékleti viszonyait, ami csökkenti azok mechanikai szilárdságát. Következésképpen az olajnyomás(P_{ola}) paraméter közvetve jellemzi a sugárhajtómű műszaki állapotát, de nem képes meghatározni a meghibásodás helyét, jellegét.

Az össztechnikai üzemidő ledolgozása folyamán a sugárhajtóművek műszaki állapotának megváltozása nem gyakorol különösebb hatást az olajnyomásra, mivel az olajbeszállító szivattyú szállítóképessége jelentősen felülmúlja a kenéshez szükséges olajmennyiséget. Ezért az „olajnyomás” paraméter nem nagy diagnosztikai jelentőségű. Ez a paraméter a sugárhajtómű kritikus állapotát képes jelezni, amikor a kenés elégtelensége következtében a súrlódó párok tönkremennek.

Több információt ad a „sugárhajtóműből kilépő olaj hőmérséklete”(T_{olaj}). Ez a paraméter jellemzi a kenendő helyek és csomópontok hőmérsékleti viszonyait. Tény azonban, hogy a sugárhajtóműből kilépő olaj hőmérséklete nagyban függ a sugárhajtóműbe belépő olaj hőmérsékletétől is, ezért ez sem alkalmas egymagában a sugárhajtómű műszaki állapotának értékelésére.

Jól meghatározott diagnosztikai értéke van viszont a sugárhajtóműbe be- és kilépő olaj hőmérsékletének különbsége a ΔT_{olaj} . A ΔT_{olaj} nagyságából meg lehet ítélni a sugárhajtómű belső súrlódási és hő-állapotát, ezért jól alkalmazható a sugárhajtóművek műszaki állapotának meghatározására, hibabehatárolásra.

A sugárhajtómű üzemképességének meghatározásának másik fontos módszere a forgórész kifutási idejének mérése. **(Forgórész kifutása: a forgórészek tehetetlenségi önforgása a sugárhajtómű kikapcsolása után)** Az üzemeltetési tapasztalatok azt mutatják, hogy az új sugárhajtóművekben a forgórészek kifutási ideje a technikai üzemidő ledolgozása során olyan mértékben nő, ahogy a súrlódó párok kopásának mértéke nő. A kifutási idő csökkenése a súrlódás növekedésével, növekedése, pedig a hajtómű forgórészének kiegyensúlyozatlanságának növekedésével arányos.

2. Vibráció

A repülőeszközök hajtóművei (közlőművei) nagyszámú és nagy tömegű, nagy fordulaton, dolgozó, változó gáznyomások és hőmérsékletek mellett üzemelő alkatrészekből áll. Ezért az összetevő részek külön-külön és egységben történő statikus és dinamikus kiegyensúlyozottsága a megbízható működés meghatározó tényezője.

A vibráció mérése, meghatározása meglehetősen költséges feladat, ha azonban az alaptörekvés arra irányul, hogy a már meglévő és felépített, vagy a fedélzeti rendszerekkel kompatibilissé tett eszközök kerüljenek alkalmazásra, akkor a módszer igen költséghatékony lehet.

Alapvetően két mérési rendszer ismeretes, amely egyben figyelőrendszer is:

- földi (on-ground);

➔ fedélzeti (on-board);

A jelenleg alkalmazott módszerek szerint mind két mérésfajta a hajtóművet, mint egységes rezgőrendszert tekinti. A kiegyensúlyozottság valamely oknál fogva történő megváltozása a rezgés nagyságának, intenzitásának, vagy frekvenciájának megváltozásához vezet, melynek indikálása és elektronikus rögzítése közvetlen információt ad az esetleges meghibásodásról, vagy annak bekövetkezése valószínűségéről. Lehetőséget ad a teljes meghibásodás, vagy akár egy katasztrófa elkerülésére is.

Egy fontos dolgot viszont nem tud: A meghibásodás abszoluth pontos helyét és okait meghatározni. Így a hajtómű kiépítése és teljes szétszerelése után lehet csak megtudni a valós okokat, ami a meghibásodást előidézhette.

Megítélésem szerint és az eddigi sikeres kísérleteink alapján állítom, hogy ha egy adott hajtómű rezgő- (al)rendszereit sikerül helyesen kiválasztani, rezgések megbízhatóan mérhetőek, akkor az egyes alrendszerek viselkedéséből az egésze nagyon jó következtetéseket lehet levonni. Könnyen lokalizálható a meghibásodás helye, tehát teljes kiépítés és szétszedés nélkül is van lehetőség a meghibásodás megszüntetésére.

Példaként álljanak itt, a **KFKI**- val közösen végrehajtott „**RÉVHÁZ**” program keretében, az RD-33 típusú hajtóműveken és közlőművén (KSZK) elért eredmények:

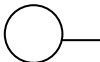
A kutatás során eredményt két mérési sorozat hozott. A végrehajtott két mérési sorozatnál az érzékelők elhelyezése átfedésben kerültek. A korábbi mérések során szerzett tapasztalatok alapján megállapítottuk, hogy az **első méréssorozatban** alkalmazott érzékelő elrendezés lehetővé teszi a megfelelő diagnosztikai információ elnyerését.

A második méréssorozatban alkalmazott kibővített érzékelő elrendezés célja pedig már annak megállapítása volt, hogy adott esetben csökkenthető-e és milyen mértékben az érzékelők száma. Ezt pedig úgy kell elérni, hogy a rendelkezésre álló csatornaszám mellett a MÍG-29-be beépített két hajtómű egyszerre mérhető legyen. Ennek esetleges megoldása jelentősen csökkentené a mérési és a ráfordított üzemidőt, valamint így a költségeket is.

Az alábbiakban vázlatosan bemutatásra kerül a hajtómű és közlőműházának (KSZA) analízisének alkalmazott érzékelő elrendezés.

A vizsgálatok során 10 kijelölt mérési pontban vizsgáltuk a hajtóműveket. Ezek közül kettő kapcsolódik közvetlenül a közlőműházhoz. Az érzékelők elhelyezését és a mérési irányokat a **3.táblázat** tartalmazza.

Pozíció	Érzékelő pozíció	Érzékelő elhelyezés leírása	Mérési irány
1		Jobb oldal 1. Csapágytámasz borda kikötés	Radiális
2		Ventilátor 2. fokozat	Radiális
3		Főbekötési csomópont	Radiális

4		Turbina csapágytámasz	Radiális
5		Első csapágytámasz alul	Radiális
6		Főbekötési csomópont	Radiális
7		Főbekötési csomópont alatt	Radiális
8		Hajtómű hátsó bekötési csomópont	Radiális
9		1. csapágytámasz	Axiális
10		Közlőműház, hajtómű felőli emelőszem helye	Függőleges
11		Tüzelőanyag szivattyú gyártási szám helye	Függőleges

3. táblázat Érzékelők elrendezése.

Az RD-33 típusú hajtómű közlőműház analízisének célja annak megállapítása, hogy a benne található és kapcsolódó gépészeti elemek rezgésdiagnosztikai szempontból milyen szinten érzékelhetők, illetve diagnosztizálhatók.

Az elemzés magába foglalja a közlőműház által gerjesztett várható rezgések „spektrális” jellemzőinek meghatározását és ezek alapján a gépészeti elemek azonosítását a mért rezgésekben.

A közlőműház által gerjesztett rezgések szempontjából a következő jelenségeket kell figyelembe venni:

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

Az említett jelenségeknél felsorolt diagnosztikai sajátosságok csak példaként szolgálnak. A valóságban az egyes hibák szinte valamennyi jellemzővel észlelhetők, természetesen más érzékenységi szinten.

Gépészeti berendezéseknél általában szokásos valamilyen csapágy diagnosztikát is alkalmazni. Ebben az esetben, a korábbi mérések tapasztalatai alapján, erre közvetlen mód nincs. Ennek okai a következők:

- A csapágyra jellemző rezgésekép frekvenciatartománya általában olyan magas (kb. 20kHz felett), amely érdemleges mérést csak közvetlen a csapágyon tesz lehetővé. Ez a jelen esetben nem biztosítható.
- Az alkalmazható érzékelők, és a közlőműház szerkezetéből adódó elérhető frekvenciatartomány messze elmarad a szükségéstől.

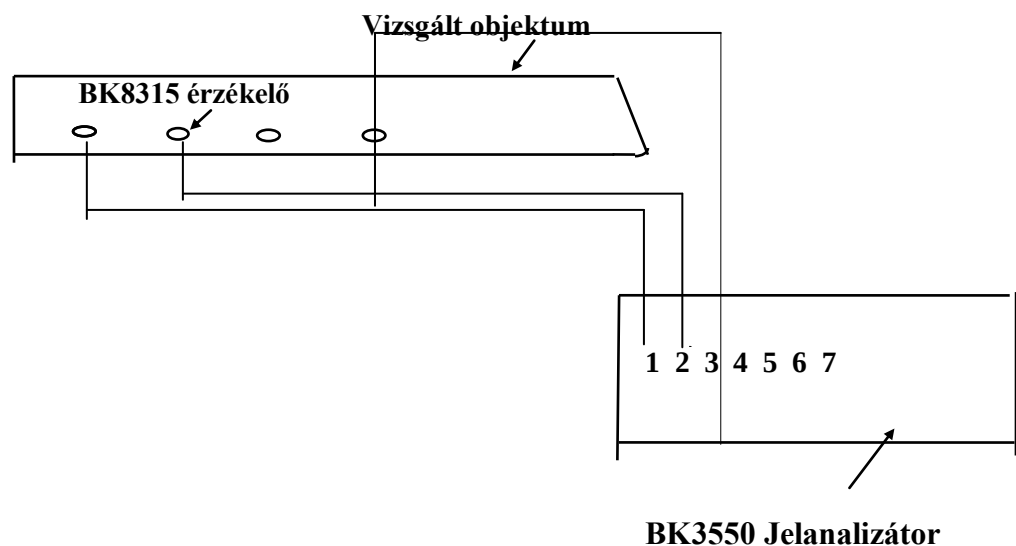
Mindezek figyelembevételével a csapágyak állapota csak közvetett módon mérhető. Általános tapasztalat az, hogy a csapágyhézagok növekedés és a kopások olyan szerkezeti merevségi változásokat eredményeznek, melyek érzékelhetők a fogütközési jelenségek körében leírtakkal.

Az közlőműház mechanikai szerkezete, annak viselkedése, jelentős mértékben befolyásolhatja a forgó egységek által okozott vibrációs jelenségeket és ezért az átviteli jellemzőinek mérése a következő okok miatt szükséges:

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

Alkalmazott mérési elrendezések:

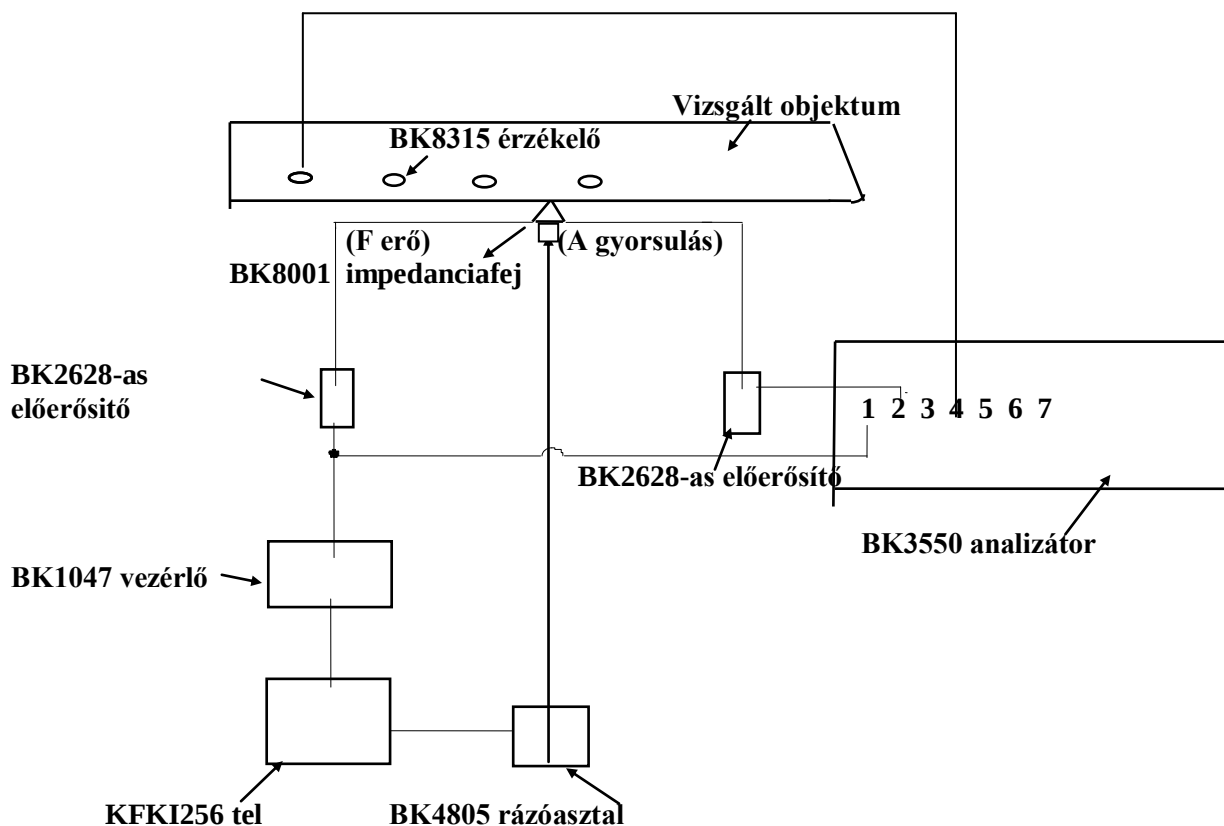
Az **első méréssorozat** esetében a hajtómű és közlőműház különböző pontjaiban vizsgáltuk a keletkezett rezgések spektrális eloszlását. Ennek megfelelő mérési összeállítás sematikus vázlatát a **1. ábra** szemlélteti.



1. ábra Rezgések spektrális eloszlásának mérésére alkalmazott összeállítás blokkvázlata

Az **második méréssorozat** esetében az elsőben alkalmazott mérések mellett vizsgáltuk a statikus alkatrészek (pl. hajtóműház, közlőműház) átviteli jellemzőit. Erre a rezgésdiagnosztikában szokásos lassú frekvenciaváltozású gerjesztéses vizsgálati módszer alkalmaztuk, melynek lényege az, hogy a

vizsgált objektum adott pontjának gerjesztés mellett a szerkezet különböző pontjai között mérhető átviteli jellemzők meghatározhatók. Az alkalmazott mérési összeállítás vázlatát a **2. ábrán** látható.



2. ábra Átviteli jellemzők meghatározására szolgáló mérési összeállítás

Az eredményesség érdekében a beépítésre kerülő hajtóművekről és közlőművekről, az első beépítéskor részletes rezgéstérképeket kell készíteni, amit aztán a megfelelő számítógépes támogatás segítségével mindig össze lehet hasonlítani az aktuális rezgéstérképekkel. Így az üzemeltető nyomon tudja követni a hajtómű állapota változásait, és elkerüli a fölösleges berendezéscseréket, hajtómű ki és beépítéseket, ezzel egyben jelentős üzemidőt is megtakarítva.

Az eredményesség garantálható mind az **on-ground**, mint az **on-board** rendszer alkalmazása esetében, de a legnagyobb eredményesség a két rendszer összehangolt, együttes alkalmazása esetén érhető el. Az effektivitás még nagyobb lehet, ha mindezen lehetőségeket már gyári felszerelések is biztosítják, de a Magyar Honvédség keretében elvégzett kísérleteink azt valószínűsítik, hogy nagyon jó eredmények érhetők el az utólagos beépítésekkel is.

Ebben az előadásban nem kívánom részletesen tárgyalni, de belátható, hogy a hajtómű egyéb paramétereivel történő együttes analízis (égőtér, turbina előtti-utáni hőmérsékletek, nyomásviszonyok, üzemanyagnyomás változásai, fordulatszámok stb) nagyon jó alapot ad a hajtómű állapotszerinti üzemeltetésre történő átállításához.

Tribológia

Meghibásodások feltárása a sugárhajtómű olajrendszerében lévő olaj tulajdonságainak megváltozása alapján

A sugárhajtóművek olajjal kent alkatrészei műszaki állapotának ellenőrzésére egyre szélesebb körben alkalmazzák az üzemeltetés során leváló fémrészecskék megfigyelésének, összegyűjtésének, analizálásának módszerét. Hosszú ideig az alkatrészek állapotának meghatározása az üzemeltetés során levált fémrészecskék összegyűjtéséből állt csak. A fémkopadékokat különböző szerkezetű szűrőkön fogták fel. *(Ez az eljárás bonyolult, a kiértékelés hosszadalmas. A mechanikai részecskék tanulmányozása vizuálisan történik 10...20 szoros mikroszkóp-nagyító segítségével, amit mágnesezési próba követet.)*

Ilyen módszerrel a meghibásodásoknak csupán a 30%-át lehetett feltárni. Mindezen túl a meghibásodások gyorslefordulás kifejlődése a nagy fordulatszámú hajtóművek elterjedése, és a bonyolult felületi érintkezési terhelések megkövetelték a diagnosztikai rendszer korszerűsítését.

A technika fejlődésével, a kifinomult 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:

- ➔ abrazív kopás; (kemény részecske kerül a súrlódó felületek közé, karcolást. Rovátkát okoz)
- ➔ adhéziós kopás; (száraz futás, kenési elégtelenség hideg felkenődést, berágódást okoz)
- ➔ felületi kifáradás; (változó felületi erőhatások kereszt és fésűs repedéseket okoz)
- ➔ tribooxidáció; (a hőmérséklet em., vagy korrózió köv. kémiai reakció, ami a kopás növekedését okozza)
- ➔ korrózió;

Alkalmazott módszerek:

- ➔ mágneses dugók;
- ➔ a fémrészecskék által működtetett elektromos érzékelők;
- ➔ az olaj spektrumanalízis;
- ➔ a felületi részecskék formaváltozásának analízise;
- ➔ az olaj viszkozitás változásának elemzése.

Mágnes dugós diagnosztikai módszer

Amennyiben jól belegondolunk a repülőgépek, de különösen a nagy terhelésekkel repülő vadászgépek esetében, már 40-45 éve alkalmazzák a tribológiai méréseket. Ezt úgy hívták, hogy „fémforgácsjelző” **(pl: VSZ-1)**. A finomszűrők ellenőrzése, az itt megengedhető, vagy nem megengedhető szennyeződés mértéke, illetőleg anyaga, szintén egy sajátos tribológiai ellenőrzésnek tekinthető. Különösebb előrejelzésre, vagy állapot meghatározásra ez nem volt alkalmas, de repülésbiztonsági szempontból nagy jelentőséggel bírt.

Az olajrendszerben található szűrők 73...75 µm-nél nagyobb méretű fémrészecskéket képesek csak felfogni. Az ennél kisebb mechanikus kopástermékek a szűrőn akadálytalanul áthaladnak, csökkentve a diagnosztika teljes értékűségét. A fenti hiányosság kiküszöbölésére a sugárhajtóművek olajrendszerében mágneses dugókat vagy részecske detektorokat helyeznek el.

A mágneses részecske detektorok hatékonyan alkalmazhatók a csapágyak és más alkatrészek tönkremenetele kezdeti fázisának meghatározására figyelmeztető fényjelzéssel egybekötve. A módszer hatékonyságát jól mutatja az **UH-1** és az **AH-1G** helikopterek hajtóműveire felszerelt mágneses részecske analizátor kétévi üzemeltetési adatai. (4. táblázat)

MUTATÓK	CSERÉK ÉS TÉVES JELZÉSEK SZÁMA	
	MENNYISÉG	%
Berendezéscserék a mágneses részecske-detektor jelzése alapján:	75	100
	66	88
	9	12
Közlőmű berendezéseinek cseréje:	40	100
	39	97,5
	1	2,5

4. táblázat A részecske analizátor üzemeltetési adatai

Diagnosztika jelzőszűrő segítségével

A mágneses detektorok összes típusának alapvető hibája, hogy korlátozottan alkalmazhatók a vasat tartalmazó anyagokhoz is. Új megoldásként széles körben alkalmazzák a mágneses részecske detektorokat jelzőszűrőkkel egybeépítve. A szűrő a sugárhajtóműből kilépő olaj 10%-t szűri meg és eltömődése esetén elektromos jelet ad ki a repülőgép fedélzetére. Hátránya, hogy viszonylag nagy mennyiségű és méretű fémkopadék (forgács) esetén jelez, amikor a roncsolódási folyamat már a kifejlődési stádiumában van.

Többelemes olajanalizátor (MOA)

A **Multielement Oil Analyzer (MOA)** készülék segítségével meghatározható a használatban lévő kenőolajokban és hidraulikaolajokban lévő fémrészecskék fajtája és mennyisége. Az olajban megtalálható fém nyomok az u.n. „kopásból eredő fémkopadékok” felderítése és mérése fontos részét képezi a hajtóművek és berendezései preventív üzemeltetési programjainak valamint diagnosztikájában.

Egy fémelem szokatlan nagyságú koncentrációjának megjelenése egy üzemen lévő olaj mintában rendellenes kopást jelent a vizsgált berendezésben, illetőleg a hajtóműben. Bizonyos mennyiségű, a hajtómű természetes elhasználódásából eredő fém részecske mindig található a használt olajban, vagy hidraulika folyadékban.

Amennyiben a mennyiség növekedési üteme a szokásosnál gyorsabb, vagy egy hirtelen mennyiségváltozás tapasztalható, ez mindig valamilyen meghibásodásra utal, vagy kopást jelez.

A **MOA** a hajtóműből meghatározott időközönként vett olajminták elemzésével, lehetővé teszi a rendellenesen elhasználódott szerkezeti elemek meghatározását, bekövetkező meghibásodások prognosztizálását.

A fokozott mértékű kopás észlelése (olajanalizálás) után a berendezés kijavítható, vagy kivonható az üzemeltetésből még az előtt, mielőtt egy nagyobb meghibásodás bekövetkezne a hajtóműben. Ezzel megakadályozható a hajtómű idő előtti nagyjavításba küldése, azaz üzemidőt lehet nyerni.

A MOA működése egy olyan analitikus technikai eljárás, amely atomemissziós spektroszkópia elvén alapul. Az eljárás lényege, hogy egy kis mennyiségű olajmintát nagyfeszültségű elektromos szikra felhasználásával „eléget”. A szikra a mintában lévő elemek atomjait fénysugárzási energia kibocsátására gerjeszti. A gerjesztett atomokból kibocsátott fényt a MOA optikai rendszerében (a spektrométerben) szétválasszuk hullámhosszúság szerinti összetevőire, azaz a spektrumaira.

Minden egyes elem egy specifikus és csak rá jellemző hullámhosszágon bocsát ki fényt. A MOA spektrométerét úgy tervezték, hogy mindegyik elem részére a legstabilabb hullámhosszúságot méri, a háttérhez viszonyított jel formájában.

Az emissziós spektroszkópiában egy elem spektrumvonalának intenzitása arányos az elemeknek a mért mintában lévő koncentrációjával.

A minta spektrumvonalainak ismert szabványok spektrumvonaláival történő összehasonlításával meghatározható az elemek koncentrációja ppm egységekben.

Bár a MOA képes 30 elem koncentrációját mérni, azonban az RD-33 típusú sugárhajtóműben használatos IPM-10 olaj vizsgálatokor csupán az alábbi 10 elemet vizsgáltunk:

Alumínium (Al), Cink (Zn), Kadmium (Cd), Króm (Cr), Vas (Fe), Ólom (Pb), Nikkel (Ni), Ón (Sn), Réz (Cu), Titán (Ti).

Az adatok feldolgozása és rögzítése számítógépen történik.

Tribológiai vizsgálat eredménye:	
Repülőgép oldalszáma:	19/bal
Hajtómű gyári száma:	87...149
A hajtómű összüzemideje:	170h 59p
Vizsgált olaj:	IPM-10
Az olaj ledolgozott ideje:	87h 20p
A vizsgálat időpontja:	10.Febr. 2007.14614p
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

Oilchek kézi ellenőrző berendezés

Az Oilchek szintetikus és kőolaj alapú olajok használati minőségének megállapítására alkalmas hordozható készülék.

Az olaj-ellenőrző méri az összes szennyeződés és elektrokémiai változás hatását, amely a szintetikus és kőolaj alapú olajokban következik be használat során.

Ezt az olajok dielektromos állandójának a kimutatásával és mérésével éri el. Az ugyanolyan márkájú és fokozatú használt és friss, még nem használt olajokból nyert mérések összehasonlításával az olajellenőrző képes meghatározni az olaj dielektromos állandójában bekövetkező változások mértékét.

A dielektromos változás közvetlen kapcsolatban van az olaj szennyezettségi szintjével és degradációjával. Lehetővé teszi a felhasználó számára az olajcserék közötti idő meghosszabbítását, azonnal felfedi a mechanikai elhasználódás növekedését és az olajok kenési tulajdonságainak elvesztését.

Ferrográfia

A ferrográfia a kopásdiagnosztika legösszetettebb módszere a kopásrészecskék mennyiségének, méreteinek, alakjának, felületi morfológiájának meghatározására.

A ferrográfiai vizsgálatok során mágneses tér segítségével választják le a kenőolajok kopásfém és egyéb szilárd szennyezőanyag tartalmát. A ferrogram készítésének klasszikus módja szerint a szilárd részecskéket tartalmazó kenőolaj a gravitációs erőter hatására halad végig a ferde tárgylemezen. A tárgylemez anyaga speciális üveg, amely a későbbiek során lehetővé teszi a részecskék áteső fényben történő tanulmányozását.

A mágneses erőter a részecskéket méretük és mágneses tulajdonságaik alapján osztályozza. A nagyméretű - 5µm feletti - ferromágneses részecskék a leválasztó mező belépő szakaszán rögzülnek. A részecskék mérete folyamatosan csökken a leválasztási nyomvonal mentén.

A ferrogram készítésének befejező szakaszaként a lerakódások vizuális értékelését akadályozó kenőanyagot oldószerrel eltávolítják oly módon, hogy a mágneses erőter által befogott részecskék a helyükön maradnak.

Az eredményt egyszerű mennyiségi értékeléssel meghatározható oly módon, hogy a leválasztási útvonalon két helyen meg kell mérni a leválasztott részecskék koncentrációját például az árnyékoló hatásuk segítségével. A két számérték nagysága a szilárd részecskék mennyiségével lesz arányos.

A ferrográfia módszere előnyösen alkalmazható a kopási folyamatok teljes körű megfigyelésére.

A magyar légierő csak a MOA és az Oilchek típusú olajellenőrző berendezésekkel rendelkezik.

3. Endoszkópos vizsgálatok

Ez ideig leggyorsabban és legtöbb és a legkézzelfoghatóbb eredményt az endoszkópos hajtómű vizsgálatok eredménye képen nyertünk. A nagyjavító vállalat által nem megfelelő minőségben elvégzett nagyjavítások miatti meghibásodásokat időben sikerült előre jelezni, vagy megakadályozni, illetőleg ezek anyagi vonzatát teljes egészében a javítóvállalatra áthárítani. Ezt úgy kell érteni, hogy az ellenőrzésekhez, gyártó által előírt

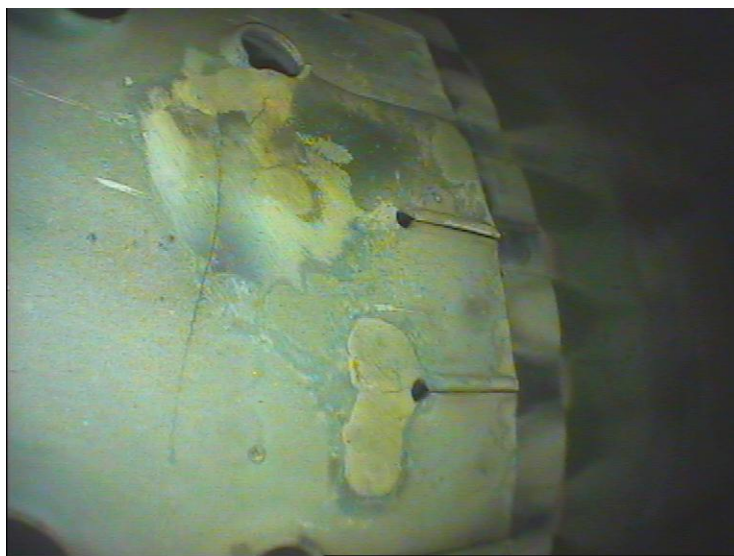
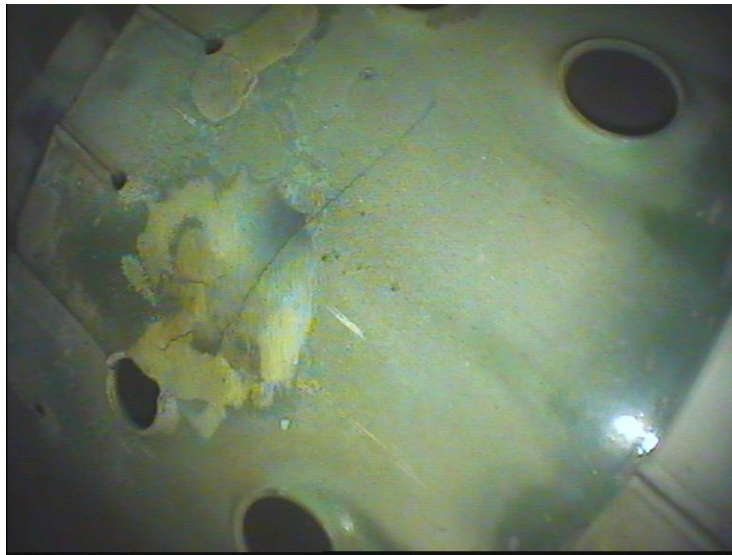
műszerek még messze nem mutatták ki azokat a repedéseket, elváltozásokat, amit az itthon beszerzett, jó nevű cég által gyártott endoszkóp már kimutatott, illetőleg az elektronikusan rögzített adatok alapján a meghibásodás, elváltozás teljes folyamata ismertté lett, a hajtómű üzemképtelensége nagy pontossággal prognosztizálhatóvá vált.

Az endoszkóp repülőgépen történő alkalmazására a szakállomány szintén felkészült.

Néhány gyakorlati példa (csak hajtóművekről)

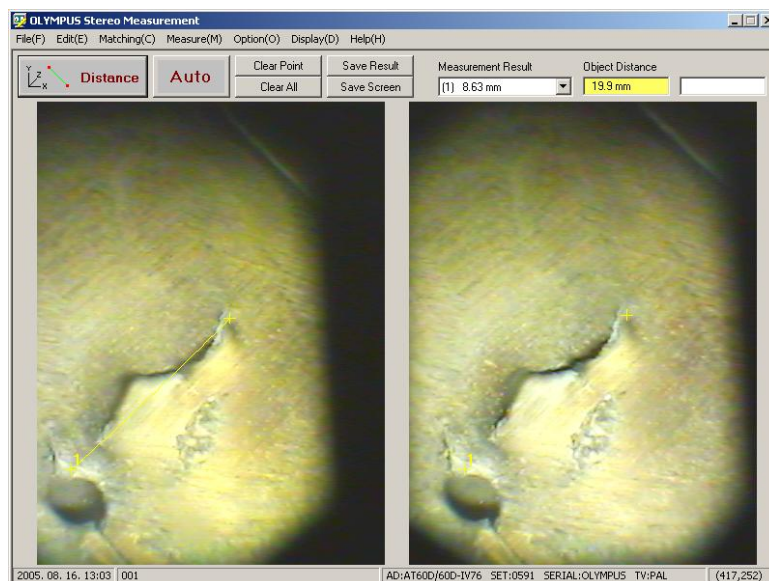
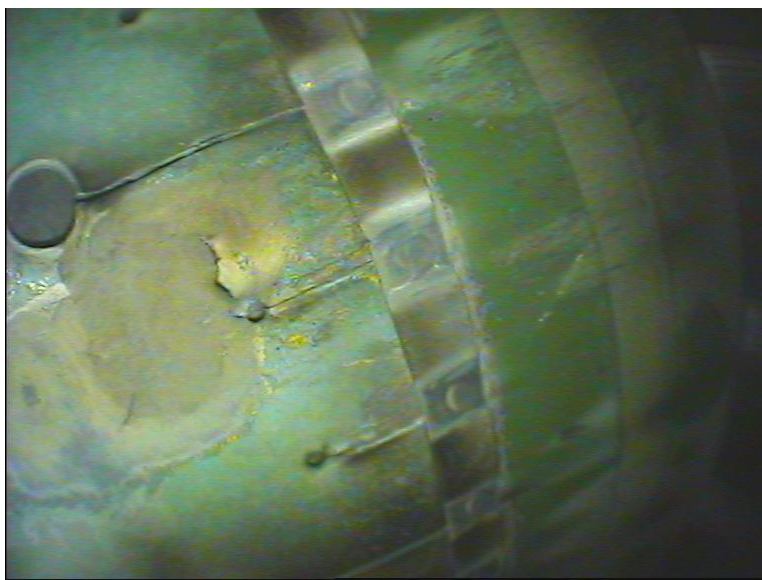
→ **870881272167** gyári számú RD-33 típusú hajtómű égőtér sérülése.

Az égőtér repedése a nagyjavítás után indult el, és 31 óra ledolgozott üzemidő után 32 mm-t érte el. A repedésnövekedési sebességéből valószínűsíthető, hogy a garanciális időn belül a repedés hossza meghaladta volna a Technológiai Utasításokban (*továbbiakban: TU-ban*) megengedettet (35 mm), de a hajtómű madárral való ütközés és a ventilátor sérülése miatt üzemképtelenné vált.

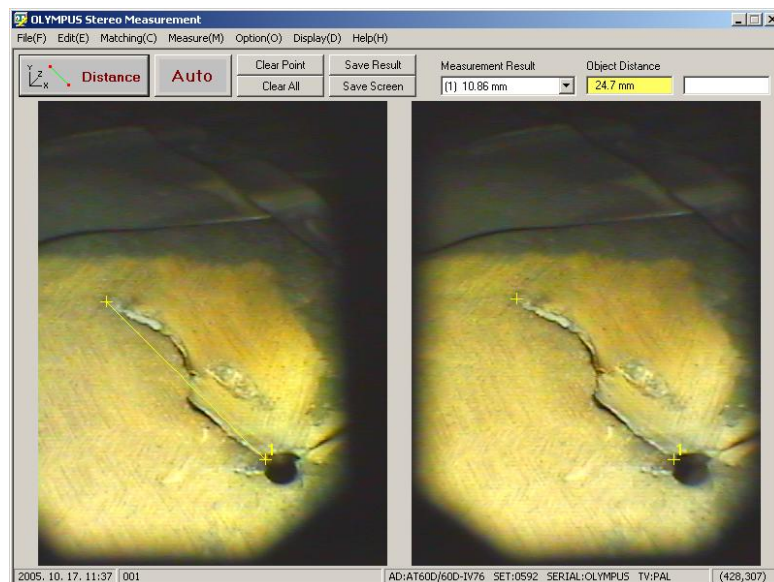
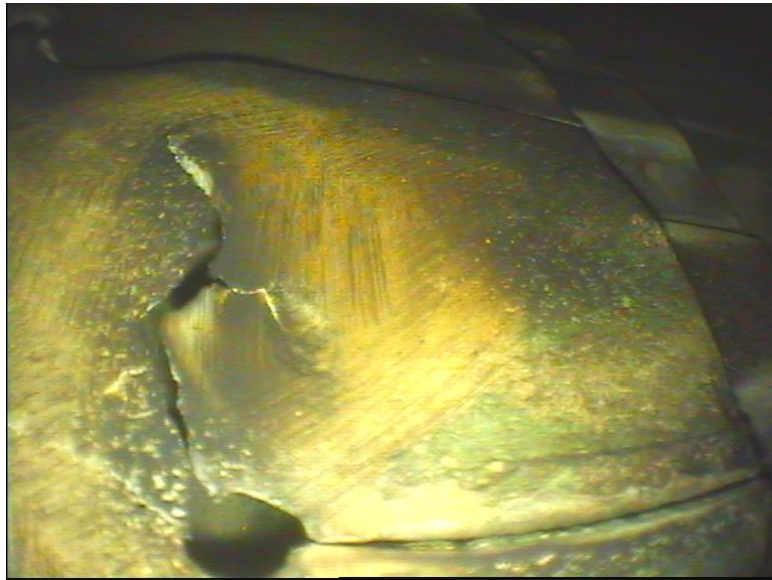


→ **870881672005** gyári számú RD-33 típusú hajtómű garanciális javítás utáni égőtér sérülése

A garanciális javítás utáni első hajtómű beépítés előtti ellenőrzés során feltárták az égőtér TU szerint megengedett repedését (hossza= 8,63 mm), melyet a javítás során nem javítottak ki. Az üzemeltetés során a repedés tovább növekedett, 47 óra 26 perc ledolgozott üzemidő után a repedés hossza elérte a 10,26 mm-t. A repedés hossza a garanciális időn belül valószínűleg még nem haladja meg a TU- ban megengedett 15 mm-t, de a tendenciából látszik, hogy a hajtómű nem tudja ledolgozni a javításközi üzemidejét.



0óra 00 perc



47 óra 26 perc

Összefoglalva

A fentiekben tárgyalt eredmények, valamint a repülőgép sárkánya üzemeltetési filozófiája területén a gyártóval közösen elért sikerek, melyeket az **általunk üzemeltetett repülőgép típussal rendelkező országok közül elsőnek a világon vezettünk be**, jó esély adnak arra, hogy a még **MA** meglévő magas szintű üzemeltetési kultúránk, szellemi kapacitásunk révén úrrá legyünk azon az objektív „hátrányon” hogy importált repülőgépeinket, csak importon alapuló beszerzésből tarthatunk fenn. A magas és állandóan növekvő költségek mellett, élnünk kell a saját szellemi és humán kapacitásunkból adódó előnyökkel, amivel jelentős költségmegtakarítást érhetünk el. (ez 30-40%- t is kitehet) Nem szabad elfelejteni, hogy ezen eredmények, a költségek csökkentése, bármely jelenlegi, vagy jövőbeni repülőgép típus esetében is elérhetők, realizálhatók.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Structural health monitoring methodology for aircraft condition-based maintenance (MC Gowan; Reither Livier; Depuis Jean Pierre; Takeda Nobuo stb)
- [2] On Condition Maintenance (FMW Sveden; Deouis Jean Pierre stb)
- [3] Engine Vibration Monitoring and Diagnosis Based on ON-Board Captured Data (Dr Jorge A. Moreno Barragán Germany)
- [4] Tribológia (BME Dr Tóth Lajos; Dr Kiss Gyula; Cerlikon Balzers Coating)
- [5] Кеба И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей, Москва „Транспорт”,1980. 104-153 с.
- [6] Multielement oil analyzer (MOA). Használati utasítás. Magyar Honvédség Repülőműszaki Intézet. Budapest.
- [7] Tóth András okl.mk.ezredes szakmérnöki szakdolgozat 1999. 05. 14.
- [8] RÉVHÁZ Program CEAT Kft Endrőczy Gábor Rezgésdiagnosztikai MÉRŐ és ELEMZŐ Rendszer