

# REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL

**Szaniszló Zsolt hallgató**  
**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Repülő sárkány-hajtómű tanszék**

**Burján Tamás tartalékos hadnagy**  
**A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft.**

*Napjainkban egyre nagyobb teret hódít a műszaki élet területén a rezgésvizsgálat. A rezgésdiagnosztika az állapottól függő karbantartási rendszerhez kapcsolódóan megteremti a repülőtechnika biztonságos kiszolgálásának és gazdaságos üzemeltetésének lehetőségét. Ennek a diagnosztikai módszernek a gyakorlati alkalmazását a Magyar Légierőben rendszerben álló Mi-2 típusú helikopter hibafeltáró vizsgálata alapján szándékozunk bemutatni.*

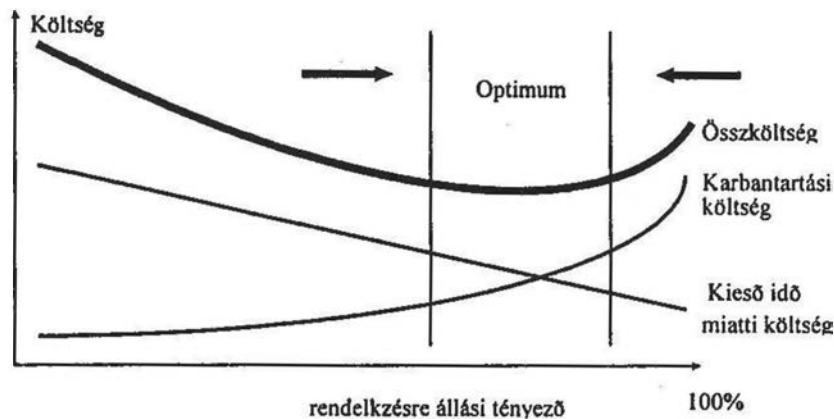
## BEVEZETÉS

A műszaki diagnosztika fogalma alatt egy adott gép állapotának meghatározását értjük. Ez a gépállapotnak megfelelő diagnosztikai jelek, illetve diagnosztikai paraméterek alapján történik, a gép szétszerelése nélkül. A gép karbantartási igényét a diagnosztikai eredmények alapján lehet megállapítani.

A karbantartás értékteremtő, termelési folyamat, mivel újra létrehozza az elhasználódás folytán elveszett értékeket, azaz javítással helyreállítja az előírt állapotot [3]. A karbantartásra vonatkozó elhatározás a vállalatok stratégiai döntése, mely rögzíti, hogy a karbantartást és a kapcsolódó tevékenységeket

- saját erővel, vagy külső szolgáltató bevonásával,
- központosítva, vagy decentralizálva,
- meghibásodás esetén, időszakosan, vagy állapot szerint végzik el.

A stratégia kialakítását az üzemzavar miatti állásidő, a megkövetelt üzembiztonság, az élettartam, valamint a karbantartás teljes költsége befolyásolja. A cél az, hogy egyensúly legyen a karbantartási költségek (közvetlen költségek) és az állásidők (közvetett költségek) között ahhoz, hogy optimális legyen az összköltség (1. ábra).



1. ábra

Az optimális összköltség a rendelkezésre állási tényező függvényében

Hadseregek esetén a gépek, a haditechnikai eszközök üzemképessége magát a hadrafoghatóságot jelenti. Bár az ország védelme elsődleges szempont, a szűkös honvédelmi költségvetést sem szabad figyelmen kívül hagyni, így az összköltség optimális értékének meghatározása a katonai szervezet szempontjából is fontos.

A NATO taggá vált Magyarország számára a Magyar Honvédség és a Magyar Légierő jövője különösen nagy jelentőséggel bír. A vadászrepülőgéptender elhalasztása miatt a helikopterek szerepe az elkövetkező időszakban jelentős mértékben megnövekedhet. Éppen ezért üzemképességükre, karbantartásukra is kiemelt figyelmet kell fordítani.

Nagyon jó elméleti és gyakorlati tapasztalatokból indulhatunk ki A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft. segítségével köszönhetően. Egy dolgot azonban nem szabad figyelmen kívül hagynunk! A helikopter a forgó gépek speciális területét jelenti. Az eddig összegyűjtött ismeretanyag azonban lerögzített turbinák, ventilátorok, centrifugál szivattyúk rezgési rendellenességeinek vizsgálatán alapul. Helikopter esetében viszont nem hanyagolhatjuk el azt a tényt, hogy teljes szerkezete még lenyűgözött

*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

állapotban is képes átvenni a hajtómű rezgését, például hajtóművezés közben. Így a meglévő tapasztalatok egyszerű adaptációjával történő mérés is bonyolultabbá, összetettebbé válik.

Az elgondolás azonban nem haszontalan, ha figyelembe vesszük, hogy a NATO tagországok hadseregeiben az a fejlődési irányvonal tapasztalható, hogy egységesítik a polgári és a katonai repülőterek kiszolgálását, növelik kölcsönös kompatibilitásukat. A repülőterek üzemeltetését a lehető legbiztonságosabban és leggazdaságosabban kell megoldani. Ezeknek a feltételeknek csak akkor lehet megfelelni, ha a repülőterek gépészeti berendezéseit állapot szerint üzemeltetik [4]. Az állapot szerinti karbantartás gerincét a gépek saját műszereitől nyert információk, a kenőanyagok időszakos elemzése, és egy jól felépített rezgésdiagnosztikai adatgyűjtés alkotja. Ezt alkalmazza a Légiforgalmi és Repülőtéri Igazgatóság is a Ferihegyi Repülőtér esetében.

A Mi-2 típusú helikopter rezgésvizsgálata csak egy, napjaink diagnosztikai rendszereinek alkalmazási lehetőségei közül, amelyet a Magyar Honvédségen belül meg lehet valósítani.

## **Mi-2 TÍPUSÚ HELIKOPTEREK LEGGYAKORIBB MEGHIBÁSODÁSAI**

A MH. 89. Vegyes Szállító Repülő Ezred Mi-2 századánál az 1998. év során az alábbi műszaki hibák jelentkeztek:

- a bal hajtómű egyik kompresszorlapátjának kotyogása (E)
- vízszintes repülésnél a helikopter balra csúszása (LMH)
- a bal hajtómű szabadonfutójának kopogása (RE)
- jobb oldali pedál kotyogása (RE)
- hajtómű fordulatszámának 91% alatt maradása (LMH)
- a hajtómű vezérlőkar vezetőszerének csapágyberágódása (IDV)
- a forgószárny fordulatszám értéke rotáláskor kevés (LMH)
- az orrfutó rugóstagjának beragadása (RE)
- a bal oldaltartály megrepedése (E)
- a bal hajtómű forgórésze nem forgatható (E)
- a faroklégcsavar axiális kotyogása (E)
- a bal hajtómű olajhője kevés (RE)
- a jobb hajtómű indítási ideje sok (RE)

A zárójelben álló betűk az adott hibák felderítésének körülményeit jelölik.

Ahol:

- **E** – ellenőrzés
- **IDV** – időszakos vizsgálat
- **RE** – repülőesemény
- **LMH** – légi meghibásodás

A légi meghibásodások nagyon könnyen katasztrófát okozhatnak. Rezgésvizsgálatok alkalmazásával ezen hibák közül:

- a hajtómű kompresszorlapát kotyogása
  - a hajtómű szabadonfutójának kopogása
  - a faroklégszavár axiális kotyogása
- felderíthetővé és elkerülhetővé válhatott volna.

## A REZGÉSVIZSGÁLATOK ALKALMAZÁSA

### A REZGÉSVIZSGÁLAT ALAPELVEI

- ⇒ Minden gép összetett rezgéseket kelt
  - ⇒ Az egyes rezgésösszetevők frekvenciája rámutat egy-egy gépelemre, vagy hibára
  - ⇒ Az egyes rezgésösszetevők amplitúdója utal a hiba súlyosságára
  - ⇒ Az emelkedő rezgésszint romló gépállapotra utal
  - ⇒ Az a frekvencia, amelyen a rezgésszint emelkedik, megmutatja a romló állapotú gépelemet
- Azonban egy gépelem rezgési frekvenciájának megjelenése nem jelent feltétlenül hibát!
- Az alapelvek összefoglalása a [3] alapján készült.

## IPARI REZGÉSVIZSGÁLATOK ELMÉLETI HÁTTERE

### Alapfogalmak

**Periodikus rezgés:** egy részecske vagy test oszcilláló mozgása egy nyugalmi helyzet körül, oly módon, hogy a mozgás önmagát ismétli pontosan azonos periódusidővel.

**Harmonikus rezgés:** esetében a tömegpontra ható rugóerő arányos a kitérés nagyságával, de vele ellentétes értelmű, ezért a tömegpont gyorsulása is arányos lesz a kitéréssel.



REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL

**Frekvencia:** az egy másodperc alatt megtett mozgási ciklusok száma.

**Harmonikus (vagy alapharmonikus):** a forgórész üzemi fordulatszámának megfelelő frekvencia. (Másodpercenkénti fordulatszám vagy ciklusszám.)

**Felharmonikus:** az alapharmonikus egész-számú többszöröse.

**Amplitúdó:** a tömegközépponthoz képest megtett legnagyobb kitérés (5.ábra). Szokás még sebesség (6.ábra) és gyorsulás (7.ábra) amplitúdóról is beszélni.

A sebesség egy negyed, a gyorsulás pedig egy fél hullámhosszhoz tartozó idővel előresiet a kitéréshez képest. A harmonikus rezgőmozgás kitérése:

$$r = A * \sin(\omega * t)$$

Ahol:

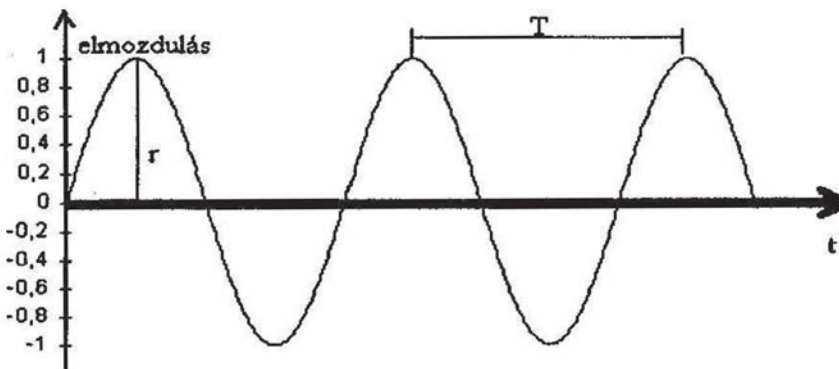
- $r$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett kitérése
- $A$  – a legnagyobb kitérés, azaz a harmonikus rezgés amplitúdója
- $\omega$  – a lengőrendszer saját lengésének a körfrekvenciája

A harmonikus rezgőmozgás  $r = A * \sin(\omega * t)$  kitérésének a sebesség az első, a gyorsulás pedig a második idő szerinti differenciálhányadosa:

$$v = dr/dt = \omega * A * \cos(\omega * t)$$
$$a = d^2r/dt^2 = -\omega^2 * A * \sin(\omega * t)$$

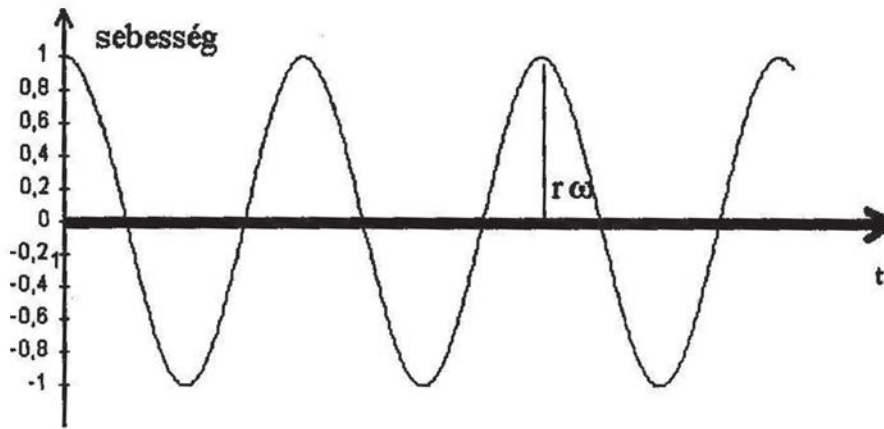
Ahol:

- $v$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett sebessége
- $a$  – a tömegpont  $t$  időpontban vett gyorsulása



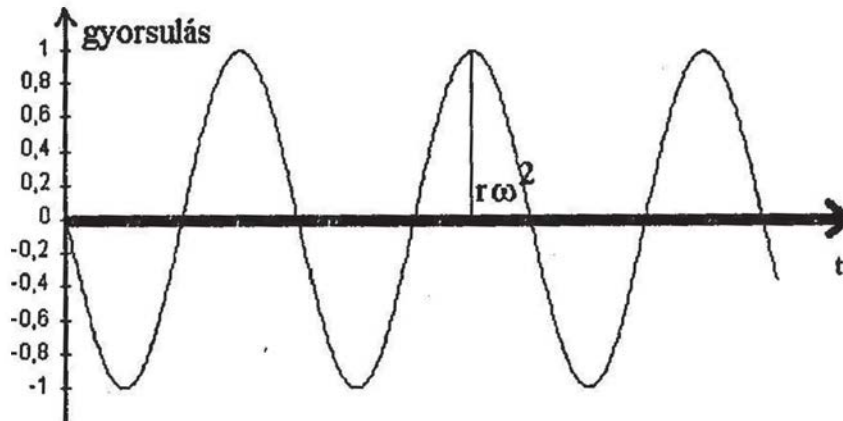
5. ábra

A kitérés változása az idő függvényében



6. ábra

A sebesség változása az idő függvényében

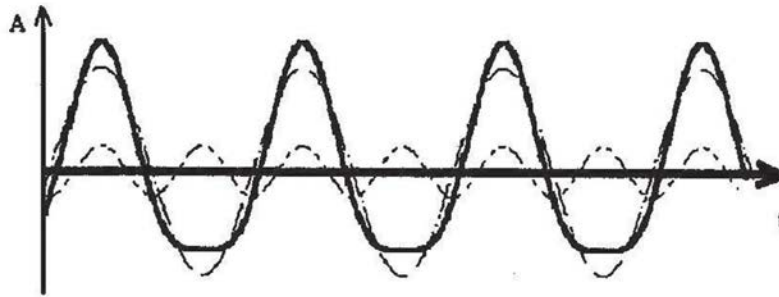


7. ábra

A gyorsulás változása az idő függvényében

**Időjel:** az egyes rezgésösszetevők ábrázolása idő-amplitúdó dimenzióban (8.ábra két szinuszos összetevő időjelét ábrázolja).

REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL



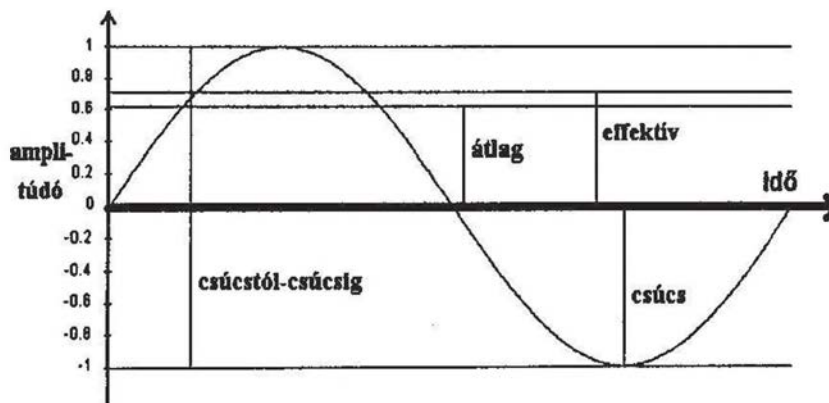
8. ábra

Két szinuszos összetevő összegzése

**Csúcs, csúcstól csúcsig, átlag és effektív érték:** a rezgés szintjének számszerűsítésére néhány eltérő lehetőség van.

A csúcs (vagy maximális) érték egyszerű harmonikus rezgés esetében hasznos, azonban egyéb típusú rezgések esetében kevésbé előnyös, mivel csak egy pillanatnyi rezgés nagyságától függ és nem veszi figyelembe az azt létrehozó időszakot.

Általánosan a csúcstól-csúcsig, vagyis a mozgás pozitív és negatív szélső helyzete közötti értéket használják. Egy szimmetrikus jel esetében (rendszerint ez az eset áll fenn) ez általában a csúcserték kétszerese (9.ábra).



9. ábra

A rezgésszintre jellemző értékek

Egy másik mennyiség, mely figyelembe veszi az időlefolyást is, az átlagos abszolút érték, melyet a következőképpen definiálunk:

$$x_{\text{átlag}} = \frac{1}{T} * \int x * dt$$

Bár ez a mennyiség egy T periódusra vonatkoztatott időszakot vesz figyelembe, úgy találták, hogy gyakorlati jelentősége korlátozott, mivel nincs közvetlen összefüggésben semmilyen hasznos fizikai mennyiséggel. Egy sokkal hasznosabb leíró mennyiség, amely figyelembe veszi az időlefolyást is az RMS (négyzetes átlag gyöke), más néven effektív érték, melyet a következőképpen definiálunk:

$$a_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T a^2(t) * dt}$$

Az RMS érték jelentőségének fő oka az, hogy közvetlenül összefügg a rezgés energiataralmával.

Az átlag és RMS értékek közötti összefüggés a következő:

$$x_{\text{RMS}} = a_1 * x_{\text{átlag}} = \frac{x_{\text{csúcs}}}{a_2}$$

Ahol: az  $a_1$ -t és  $a_2$ -t alaktényezőnek, illetve csúcstényezőnek hívják, és a tanulmányozott rezgések hullám-alakjáról adnak felvilágosítást.

Tisztán szinuszos-hullám esetében:  $a_1 \approx 1,11$  és  $a_2 \approx 1,41$ .

A legtöbb rezgés nem tiszta harmonikus hullámformákból tevődik össze, és így általában az RMS mérés előnyös.

A vonatkozó szabványok és javaslatok (pl. ISO 2372 vagy VDI 2056 és az ezeken alapuló magyar szabványok) a 10...1000 Hz között mért effektív rezgésebességre vonatkoznak.

**Időjelből spektrum:** a Fourier analízis segítségével a tetszőleges  $y(t)$  periodikus rezgés harmonikus összetevőkre bontható:

$$y_{(t)} = y_0 + \sum_{i=1}^{\infty} y_i * \sin(2\pi * i * f_0 * t + \Phi_i)$$



*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

Ahol:

- $y_0$  – a jel aritmetikai középértéke (többnyire zérus)
- $y_i$  – a harmonikus összetevő amplitúdója
- $\Phi_i$  – a  $t=0$  pillanathoz tartozó fázishelyzet
- $f_0$  – a periodikus jel alaphfrekvenciája

A többi összetevő frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egészszámú többszöröse. A periodikus jelet rendszerint véges ( $n$ ) számú összetevővel közelítik meg. Az összetett periodikus rezgés tehát összetevőkkel is megadható, ami a frekvenciaspektrummal ábrázolható.

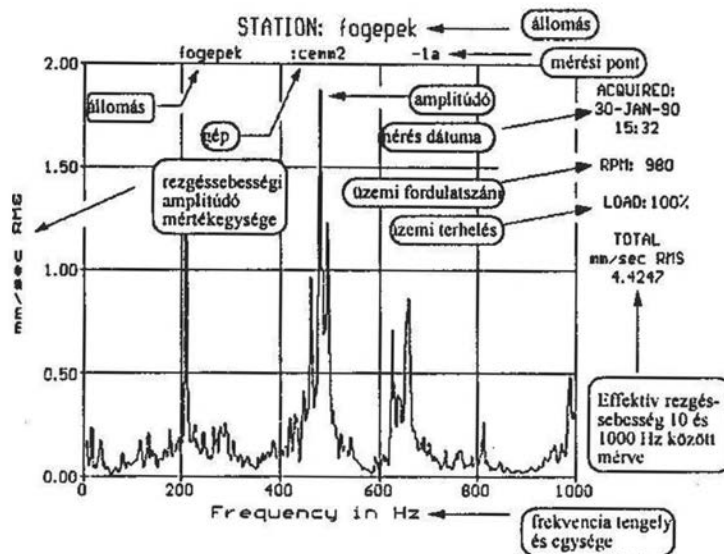
**Spektrum:** rezgési folyamat különböző frekvenciájú összetevőinek összessége. A spektrumban a derékszögű koordinátarendszer abszcisszájára a frekvenciát (vagy a percenkénti ciklusszámot), ordinátájára pedig az összetevők amplitúdóját vagy effektív értékét mérik. Periodikus jel esetén vonalas szinképet kapunk.

Sok esetben a mért jel nem periodikus. Ha az összetevők száma  $n$ , akkor:

$$y_{(t)} = \sum_{i=1}^n y_i * \sin(2\pi * i * f_i * t + \Phi_i)$$

Ahol: az  $f_i$  a rezgéskeverék egyes összetevőinek frekvenciája. Sztochasztikus rezgéskeverékek frekvenciaspektruma többnyire folytonos.

A frekvenciaanalízis a diagnosztikai rezgésvizsgálat fontos eszköze, ugyanis ezzel a módszerrel lehet felismerni a különféle frekvenciájú rezgésforrásokból származó jeleket. A következő ábrán a bemutatott spektrumokon látható információk magyarázata látható (10.ábra).



10. ábra

Spektrumfelvétel részei

Az alapfogalmak ismertetése a [1], [2] és [3] felhasználásával történt.

## A REZGÉSDIAGNOSZTIKA GYAKORLATI ALKALMAZÁSA A MI-2 TÍPUSÚ HELIKOPTER FÖLDI ELLENŐRZÉSÉNÉL

### Az alkalmazott műszerek bemutatása

A mérés végrehajtásához az alábbi típusú gyorsulásérzékelőket alkalmaztuk:

- 1951/930L SN 3652
- TEC MOD-196 S/N 904
- Brüel & Kjaer 4384

A fenti gyorsulásérzékelők kis tömegűek, pontosak, széles frekvenciatartományban alkalmazhatóak és tartósak. Ezért döntöttünk ezen típusok alkalmazása mellett.

*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

A fenti gyorsulásérzékelők kis tömegűek, pontosak, széles frekvenciatartományban alkalmazhatóak és tartósak. Ezért döntöttünk ezen típusok alkalmazása mellett.

A mérést az alábbi típusú előerősítő is segítette:

- Brüel & Kjaer 2635

A mérés kiértékelésére az alábbi típusú adatgyűjtő spektrumanalizátort választottuk:

- TEC 1330A

A műszer kétféle szoftverrel rendelkezik:

Az „A” szoftver az alábbi funkciókat tartalmazza:

- adatállomány létrehozása
- adatkommunikáció a műszerrel
- kiértékelési funkció
- frekvencia-számítás
- gördülőcsapágy adatbázis
- hibakereső program
- géprajzoló program

A „B” fejlesztett változat a fentiekén kívül még az alábbi funkciókat is teljesíti:

- egyensúlyozás
- minta adatbázis gépparkra és elemzési funkció
- tengelybeállítás

A műszer tartozékai:

telep, tartaléktelep, teleptöltő, RS232 kábel, RS232 9-25 fordító stb.

A rendszer műszakonkénti mérési kapacitása kb. 350...400 spektrumfelvétel.

A kiegyensúlyozó program alkalmas 5 síkban való és több sebességen működő forgórészek egyensúlyozására.

Az egyensúlyozáshoz szükséges tachométer a fordulatszámot 0,1 1/min pontossággal képes meghatározni, akár 15 méterről is ad fázisjelet a rezgésvizsgálónak, ami a turbó gépek, szivattyúk vizsgálatánál és a többsíkú egyensúlyozásnál elengedhetetlen.

A műszer számítógépes háttérrel, HP 486, SVGA color monitor stb. kiegészíthető.

## Műszerrögzítési lehetőségek

A gyorsulásérzékelők rögzítését mágneses, illetve ragasztásos módszerrel oldottuk meg, a mérési hely kínálta lehetőségek alapján.

Azért alkalmaztuk ezeket a módszereket, mivel a mérés végrehajtásához tökéletes stabilitást biztosítottak, illetve a repülőeszköz szerkezeti elemeiben sem okoztunk vele semmiféle károsodást.

## A mérés elvégzése és értékelése

A Mi-2 típusú helikopter mérését a szolnoki repülőtér egyik nyugőzhelyén hajtottuk végre 1999.március 24-én.

Mivel a mérést földön álló, lenyűgözött repülőtechnikán alkalmaztuk, illetve az érzékelők felszerelése nem járt a szerkezet károsodásával, ezért nem volt szükségünk a gyártó cég engedélyére a mérés lefolytatásához.

A mérés során megvizsgáltuk a helikopter teljes sárkányszerkezetét, a hajtóművét és a mechanizmusok csoportját, különös figyelmet fordítva a Mi-2 típusú helikopterekre jellemző meghibásodásokra.

A rezgésmérő műszereknek a rezgésdiagnosztikai szakemberek által kijelölt mérési helyekre történő rögzítése után, a helikopter hajtómű indítása biztosította a méréshez szükséges fordulatszám értékét.

Az adatgyűjtő spektrum analízátort kezelő személyek a helikopter utasterében foglaltak helyet.

A rögzített adatok kiértékelés folyamatban van. Elképzeléseink szerint a konferencia időpontjáig ez elkészül, a hajtómű adott mérési helyeinek referencia adatai alapján, így lehetőségünk lesz ezt előadni a mérés végrehajtását bemutató videó felvétellel együtt.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Dömötör Ferenc: A rezgésdiagnosztika elemei  
SKF Svéd Golyóscsapágy Rt. 1996, Budaörs
- [2] Lipovszky György-Sólyomvári Károly-Varga Gábor: Gépek  
rezgésvizsgálata és a karbantartás  
Műszaki Könyvkiadó 1981, Budapest
- [3] Dr. Péczely György: Forgó gépek, gépalapok és kompresszorok



*REZGÉSVIZSGÁLAT GYAKORLATI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A MAGYAR  
HONVÉDSÉG REPÜLŐCSAPATAINÁL*

csővezetékeinek rezgésvizsgálata

(Karbantartás az ezredfordulóhoz közeledve-válogatás)

A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft. 1977, Szeged

[4] Terpó György: Szükséges és elégséges rezgésdiagnosztikai  
információk a karbantartás megszervezéséhez

Karbantartás & Diagnosztika II. évfolyam 4. Szám (37. oldal)

*Research on vibration has become of great importance in technical fields recently. Vibration diagnostics, in connection with the servicing system depending on the state of repair of different aircraft, can provide the opportunity of their safe maintenance and economical operation. We would like to demonstrate a kind of practical implementation of this diagnostic theory based on our fault detection research on the Mi-2 helicopter being in service in the Hungarian Air Force.*