

A VIBRÁCIÓ MÉRÉS ÚJ LEHETŐSÉGEI A HELIKOPTEREKEN

A korábban és jelenleg is alkalmazott módszer, vagyis a ún. „egykúponfutás” ellenőrzése mindenki számára ismert. A módszer előnye, hogy egyszerűen megvalósítható, könnyen kiértékelhető eredményt ad a különböző színű lapátvégek csapátása. Nagy hátránya, hogy a forgószárny lapátoknak csak egy körülfordulását veszi figyelembe, tehát pillanatnyi eredményből vonunk le ekkor általános következtetést, illetve ez a módszer megfelelő visszajelzést csak a földi próbánál ad, repülés közben nem. Ekkor már csupán szubjektív, számokkal nem mérhető benyomásunk van a repüléskor fellépő rezgésszintről. Mindezek figyelembevételével az „egykúponfutás” vizsgálata adta eddig a legjobb beállítási lehetőséget a helikopter vibrációs szintjének minimalizálására.

Az esetek többségében a gyakorlati tapasztalat azt mutatja, ha az „egykúponfutás” eredménye az üzemeltetési technológiában előírtaknak megfelel, akkor a helikopteren a vibráció szintje alacsonynak tekinthető. Nehéz objektív mérési lehetőség nélkül megfogalmazni azt, hogy mi az a rezgésszint, amelyet még elfogadhatónak tekintünk. Ha a hajózók és az utasok rövidebb-hosszabb repülési idő után sem fáradnak el nagy mértékben, illetve a repülőtechnikán az üzemelés során sem jelentkezik pl.: fáradásos törés, vibrációra visszavezethető meghibásodás, akkor valószínűleg a rezgés szintje elfogadhatóan alacsony értéket mutat. Sajnos azonban többször előfordult már, hogy hiába volt megfelelő az „egykúpozás” eredménye, a helikopter nagyon rázott, a személyzet rövid idő alatt elfáradt, a technikán a kötések lazultak, az alkatrészek meghibásodási rátája megnőtt, vagyis a repülésbiztonság csökkent, a pénzügyi költség emelkedett. Ha az ún. hagyományos módszerekkel csődöt mondtunk, akkor eddig nem volt megfelelő más beállítási és mérési lehetőség mindezek kiküszöbölésére.

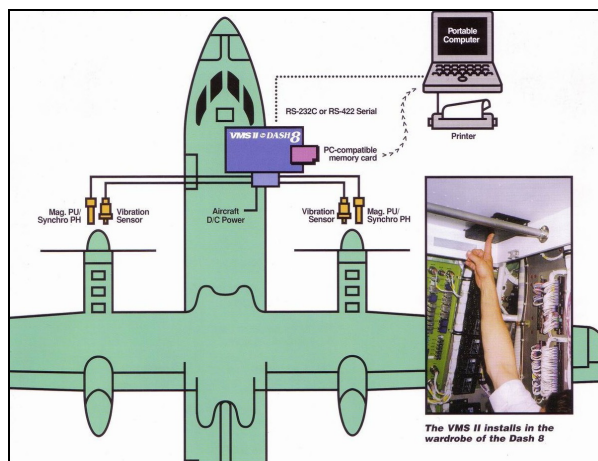
2002 második felében megkezdődött egy új, talán mindezekre a problémákra megoldási lehetőséget biztosító módszer bevezetése és az ehhez szükséges technikai eszközök beszerzése. A Chadwick-Helmuth nevű cég évtizedek óta foglalkozik vibráció méréssel, ennek az eredménye a VXP nevű rendszer, amely alkalmas helikopter forgószárny és faroklégsavar lapátok, hajtóművek, forgó alkatrészek vibrációjának mérésére, analízisére. A digitális technika segítségével könnyen, gyorsan képes nem csak mérésre, repülés közben is, hanem a mért eredmények analizálására. A kívánt célok ismeretében ajánlásokat tesz, kritikus paraméter elérésekor figyelmeztetést ad, stb. Ezeket az új lehetőségeket szeretném ismertetni a következőkben.

Előzetesen megjegyzem, hogy a Magyar Honvédségben hadrendjében üzemelő Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopterek esetében az eddigi kísérleti mérési eredmények arra utalnak, hogy a rendszer alkalmas lehet a közeljövőben a jelenlegi ellenőrzési módszerek felváltására, illetve kiegészítésére, de még igen sok elvégzendő munka van vissza, hiszen ez valóban radikális változásokat követel meg az üzemeltetési technológiában a „keleti” technikán.

A VXP rendszer segítségével a MH 87. Bakony Helikopter Ezrednél és a MH 89. Szolnok Vegyes Szállító Repülő Ezrednél ténylegesen 2003-ban kezdődtek az alakulatok szakembereinek részvételével a felkészítő tréningek és a próba mérések a Chadwick-Helmuth cég képviselőjének segítségével. Jelenleg két komplett forgószárny lapát mérő készlet és egy készlet hajtómű mérésre áll rendelkezésre Szolnokon. Természetesen kezdeti nehézségek itt is felmerültek, ezek orvoslása folyamatosan történt. A jelenlegi helyzetet tovább nehezíti az átszervezés miatt kialakult szituáció, ugyanis sok jól képzett szakember távozott a honvédségtől.

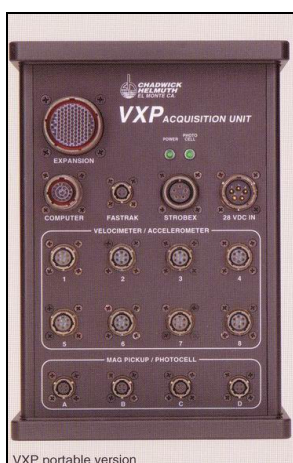
A VXP (Vibration eXPert) RENDSZER ISMERTETÉSE

A rendszer részeit a helikopterre rövid idő (2-3 óra) alatt lehet telepíteni. Későbbiekben ezt az időt tovább lehet mérsékelni bizonyos összetevők (pl: kábelek) fedélzetre történő állandó elhelyezésével. Csupán az érzékelők, kábelek elhelyezése függ a mérési céltól (forgószárnyak, hajtóművek, faroklégcsvár) a hardver többi része ugyanazon berendezésekből áll. A megfelelő szoftver betöltése, hardveres rész elhelyezése után a mérésre a rendszer készen áll. További egyszerűsítési lehetőséget kínál az, hogy a komplett rendszer állandó jelleggel fedélzetre telepíthető.



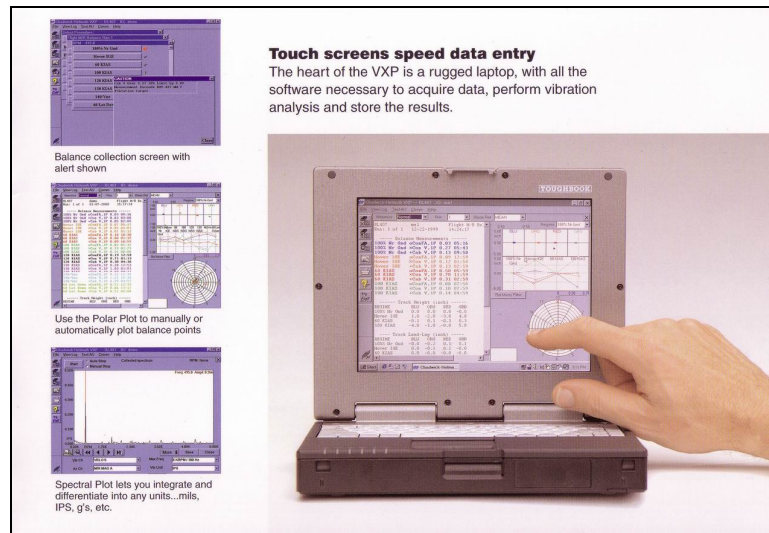
1.ábra: Állandó jelleggel fedélzetre telepített VXP rendszer

A rendszer „lelke” az ún. „Acquisition Unit” (AU), amely gyűjti és feldolgozza a szenzoroktól kábeleken érkező jeleket. Saját processzora, operációs rendszere, interfészei vannak.

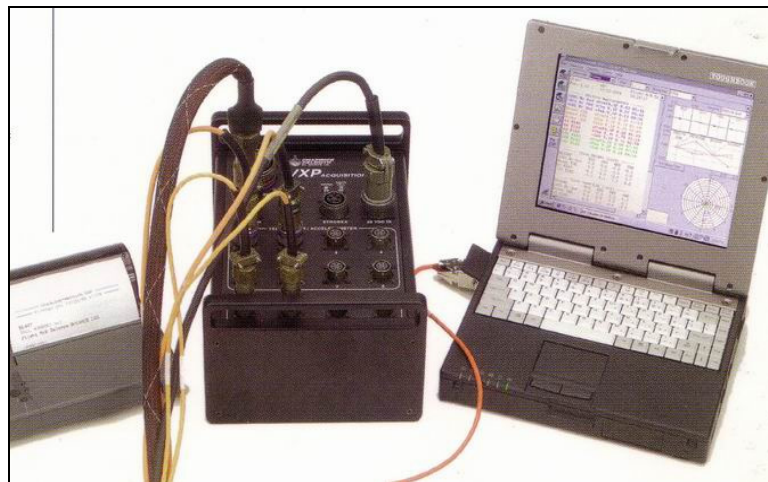


2.ábra: „Acquisition Unit” (Gyűjtő, elemző egység)

A mérés után a vizuális megjelenítés, kiértékelés a „Display Unit”-ban (DU) történik, az AU-ból áttöltött információk itt válnak életszerűvé. A DU egy Pentium III (400 Mhz) processzorral felszerelt, katonai célokra tervezett masszív érintőképernyős laptop. Megjeleníti a menü (cél) lehetőségeket, az összegyűjtött adatokból ennek megfelelően számított megoldási javaslatokat, egyéb más információkat. Adattárolást végez, hagyományos Windows operációs rendszere kompatibilitást biztosít, egyéb standard perifériák csatlakoztathatók hozzá (pl. nyomtató).



3.ábra: Display Unit (Megjelenítő egység)



4.ábra: Összeállított rendszer

Egyéb fontos kiegészítők:

- érzékelők: gyorsulás és sebességmérők, (nagy hőmérsékletű helyekre is),
- optikai nyomkövető, amely biztosítja a lapátél és lapátvég mozgásának követését, fel- és lecsapás, sietés, késés nyomon követését repülés közben is!

Az optikai fej minden lapátra minden körülfordulás során megadja a fenti paramétereket „real-time” információként, fent a fedélzeten.



5.ábra: Optical tracker (Optikai nyomkövető)

A legfontosabb kérdés, amit el kell döntenünk a forgószárny lapát vizsgálatánál, hogy mi is a célunk?

- 1.-„Hagyományos” értelemben az „egyúponfutás beállítása?
- 2.-Az „új” elgondolás alapján a vibráció minimalizálása, szinte függetlenül az „egyúponfutás” eredményétől? (Természetesen fizikai korlátai vannak a lapátok mozgásának, ezeket határértékeket a szoftver típusra vonatkozó alapbeállításában rögzíteni kell.)
- 3.-A szoftver megenged egy ún. vegyes célt is, ahol ajánlásokat ad mindkét előbb említett cél egyidejű kielégítésére.

Arra kell törekedni, hogy a repülőeszközön a vibráció szintje legyen a minimális, akár az „egyúponfutás” elengedésével is. A tapasztalat azt mutatja, hogy ezt többször kell tudatosítani, megértetni az üzemeltetői állománnyal is, mivel nem minden esetben van hajlam új, korszerű eljárások elsajátítására, megismerésére. A mindennapi üzemeltetésre még nincs kidolgozva és életbe léptetve a technológia, ugyanakkor az MH RMSZF engedélyével egyedi esetben olyan helikopteren sikerrel került alkalmazásra, ahol a korábbi eljárással nem tudtunk megfelelően alacsony vibrációs szintet biztosítani.

A VXP használata a helikoptereken

Előnyök:

- automatikus adatgyűjtés minden repülési feladatkor
- kritikus alkatrészek vibrációjának ellenőrzése
- meghibásodások detektálása korai szakaszban
- üzemeltetési költségek csökkentése

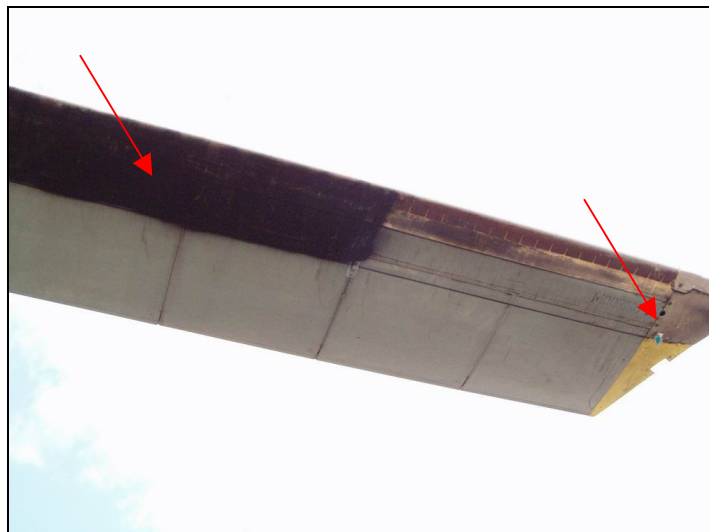
Alkalmazási lehetőségek:

- forgószárnylapátok nyomkövetése, kiegyensúlyozása
- faroklégcsoncsavarok dinamikus kiegyensúlyozása
- meghajtástengelyek dinamikus kiegyensúlyozása
- vibrációs spektrum analízis és monitoring a hajtóműveknél

Fontos tudatosítani, hogy minden típus (helikopter, hajtómű) különböző szoftvert igényel, amely jellemzi a különböző fizikai korlátokat, beállítási határértékeket, működési folyamatokat. A megfelelő szoftvert a gyártó cég fejleszti ki a típusokat üzemeltető szervezetekkel konzultálva, a program csapatszintű használata, betöltése nem igényel komoly számítástechnikai ismereteket.

Helikopteren történő elhelyezés lépései

1.Minden forgószárny lapát belépő élét „feketíteni” kell a környezettől való erősebb kontraszt elérése érdekében, valamint a lapátok törővégeinél különböző színű fémlapok rögzítése szükséges az azonosítás miatt.



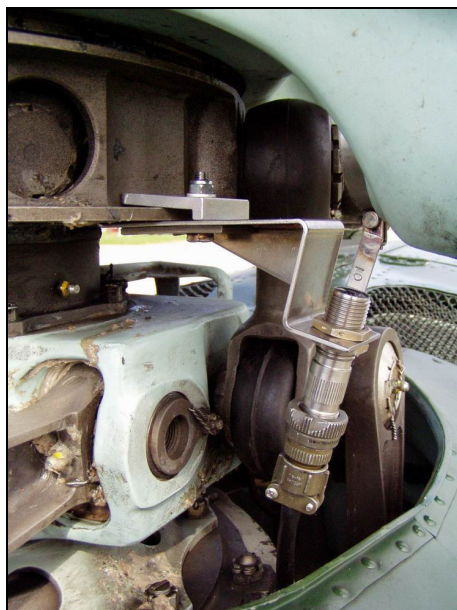
6.ábra: Forgószárnylapát belépőél és törővég jelölése

2.Az optikai érzékelőt a helikopter orr részére kell merev tartókra megfelelő pozícióba felhelyezni, így képes az optikai érzékelő a lapátok helyzetének felismerésére, megkülönböztetésére.



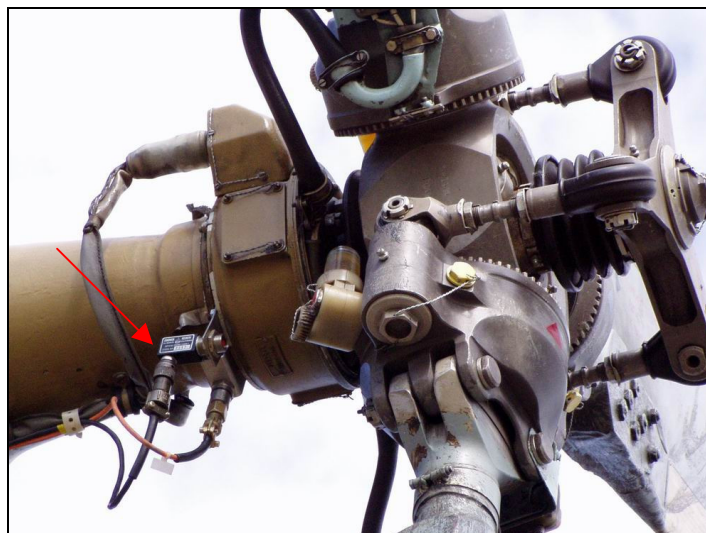
7.ábra: Mi-8 helikopterre elhelyezett optikai érzékelő

3.Installálni az ún. „magnetic pickup”-ot és a megszakítót a vezérlőautomatára, ez szolgál a körülfordulások azonosítására.



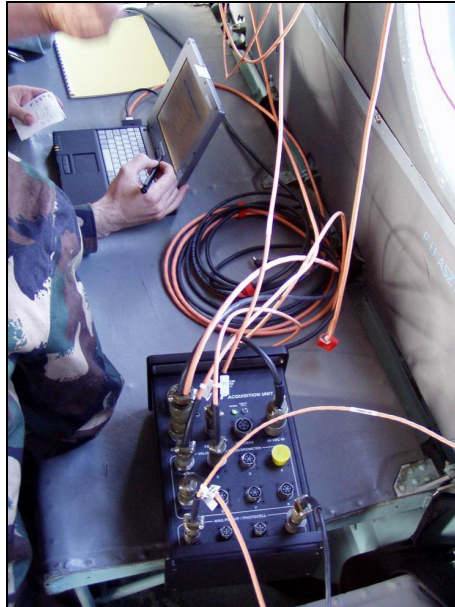
8.ábra: „Magnetic pickup (megszakító) elhelyezése a vezérlő automatán

4.Installálni kell a faroklégsavar agynál az érzékelőket.



9.ábra: Faroklégsavar agynál lévő szenzorok

5.A helikopter utasterében az AU és DU egységek, a nyomtató periféria elhelyezése, hálózatra kapcsolása. (Természetesen a megfelelő szoftver betöltése szükséges)



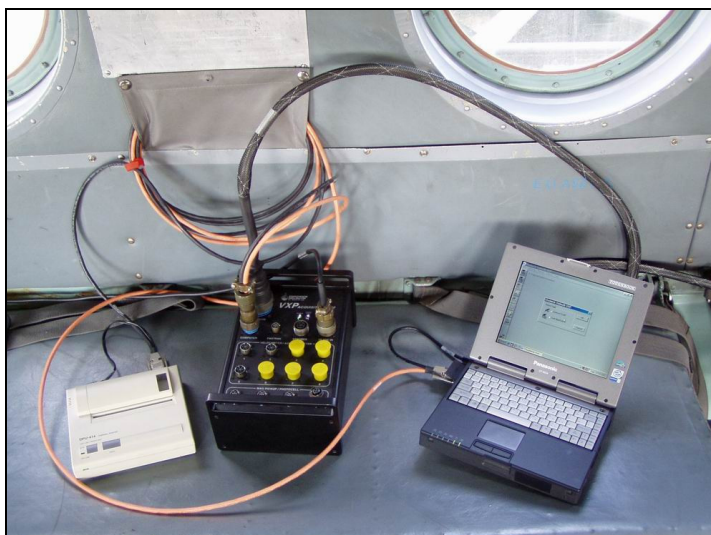
10.ábra: Mi-8 fedélzeten lévő rendszer

6.Függőleges és vízszintes irányú szenzorok fedélzeten történő elhelyezése.



11.ábra: Műszerfalon és a fülkeajtón lévő érzékelők

7.Bekábelezés, a szenzorok összekötése a kiértékelő egységgel, ügyelve arra, hogy a kábelek biztonságosan legyenek illesztve, kerülve a forró és mozgó helyeket.



12.ábra: Az összeállított rendszer

A hardveres rész elkészülte előtt a megfelelő szoftver betöltése szükséges. Meg kell adni az adott helikopter forgószárnylapáira vonatkozó aktuális trimm és vonórúd beállításokat, mint kiindulási értékeket. A rendszer jelzi, ha a beadott értékek kiesnek az üzemeltetési határértéken, az aktuális beállítási értékek képezik a kiindulási alapot. A helikopter repülése során különböző üzemmódokon folyamatos adatrögzítés történik, a fedélzeten on-line lehet nyomonkövetni a számszerű rezgési értéket, a lapátok mozgását repülés közben és azonnal lehet állítási javaslatot kérni attól függően, hogy mit tekintünk kitűzött célnak.

Beavatkozási lehetőségek:

- trimm állítás
- vonórúd állítás
- súly változtatás (jelenleg ez opcionális)

A mérés során különböző üzemmódokon vételezünk adatokat:

- alap
- utazó
- névleges
- felszálló üzemmód

Minden lapát fel- és lecsapását mm-ben, üzemmódonként rögzíti, grafikusán is megjeleníti, egymáshoz képest ill. zéró értékhez képest is. A késés és sietés is dokumentálva van. Az alapbeállítások (trimm) is megjelennek.

70GND	M/R	L	1P	0.089	11:21	143	10:21
100GD	M/R <td>L<td>1P</td><td>0.135<th>10:11</th><th>193</th><th>10:23</th></td></td>	L <td>1P</td> <td>0.135<th>10:11</th><th>193</th><th>10:23</th></td>	1P	0.135 <th>10:11</th> <th>193</th> <th>10:23</th>	10:11	193	10:23
HVR	M/R <td>L<td>1P</td><td>0.214<th>02:38</th><th>192</th><th>10:29</th></td></td>	L <td>1P</td> <td>0.214<th>02:38</th><th>192</th><th>10:29</th></td>	1P	0.214 <th>02:38</th> <th>192</th> <th>10:29</th>	02:38	192	10:29
HVR	M/R <td>V<td>1P</td><td>0.220<th>07:20</th><th>192</th><th>10:29</th></td></td>	V <td>1P</td> <td>0.220<th>07:20</th><th>192</th><th>10:29</th></td>	1P	0.220 <th>07:20</th> <th>192</th> <th>10:29</th>	07:20	192	10:29
120 K	M/R <td>L<td>1P</td><td>0.179<th>03:01</th><th>194</th><th>10:33</th></td></td>	L <td>1P</td> <td>0.179<th>03:01</th><th>194</th><th>10:33</th></td>	1P	0.179 <th>03:01</th> <th>194</th> <th>10:33</th>	03:01	194	10:33
120 K	M/R <td>V<td>1P</td><td>0.608<th>07:54</th><th>194</th><th>10:33</th></td></td>	V <td>1P</td> <td>0.608<th>07:54</th><th>194</th><th>10:33</th></td>	1P	0.608 <th>07:54</th> <th>194</th> <th>10:33</th>	07:54	194	10:33
220 K	M/R <td>L<td>1P</td><td>0.380<th>03:09</th><th>194</th><th>10:35</th></td></td>	L <td>1P</td> <td>0.380<th>03:09</th><th>194</th><th>10:35</th></td>	1P	0.380 <th>03:09</th> <th>194</th> <th>10:35</th>	03:09	194	10:35
220 K	M/R <td>V<td>1P</td><td>1.273<th>08:15</th><th>194</th><th>10:35</th></td></td>	V <td>1P</td> <td>1.273<th>08:15</th><th>194</th><th>10:35</th></td>	1P	1.273 <th>08:15</th> <th>194</th> <th>10:35</th>	08:15	194	10:35

TRACK HEIGHT (mm)):
Resime Bld 1 Bld 2 Bld 3 Bld 4 Bld 5 Split

70GND	40	418	46	44	129	47
100GD	416	411	48	416	129	45
HVR	413	470	43	464	110	134
120 K	415	443	43	450	125	93
220 K	470	450	435	441	122	123

LEAD(←)/LAG(→) (mm)):
Resime Bld 1 Bld 2 Bld 3 Bld 4 Bld 5

70GND	+9	+6	+7	+2	+9
100GD	+12	+2	+2	+1	+14
HVR	+28	+23	+2	+14	+17
120 K	+12	+10	+2	+6	+10
220 K	+19	+28	+2	+12	+5

Measurements relative to MEAN

SETTINGS:

ADJ	Tab
POINT	deg
Bld 1	↑2.0
Bld 2	↑2.0
Bld 3	↑2.0
Bld 4	↑2.0
Bld 5	↑2.0

ADJUSTMENTS:

ADJ	P/L	Tab
POINT	flats	deg
Bld 1		
Bld 2		
Bld 3		+0.6
Bld 4	↓2.25	
Bld 5	↓2.75	↑1.5

Adjustments were NOT made.

VIBRATION GOALS:

100GD M/R L 1P 0.22 IPS
HVR M/R L 1P 0.10 IPS
HVR M/R V 1P 0.23 IPS
120 K M/R L 1P 0.09 IPS
120 K M/R V 1P 0.31 IPS
220 K M/R L 1P 0.29 IPS

TRACK SPLIT GOALS (mm) :

70GND	57
100GD	69
HVR	165
120 K	132
220 K	152

SOLUTION OPTIONS SELECTED:
Solution type: BALANCE ONLY
Change types used: P/L, Tab
Resimes used: 100GD, HVR, 120 K, 220 K

70GND	M/R	L	1P	0.089	11:21	143	10:21
100GD	M/R	L	1P	0.135	10:11	193	10:23
HVR	M/R	L	1P	0.214	02:38	192	10:29
HVR	M/R	V	1P	0.220	07:20	192	10:29
120 K	M/R	L	1P	0.179	03:01	194	10:33
120 K	M/R	V	1P	0.608	07:54	194	10:33
220 K	M/R	L	1P	0.380	03:09	194	10:35
220 K	M/R	V	1P	1.273	08:15	194	10:35

TRACK HEIGHT (mm) :							
Resime Bld 1 Bld 2 Bld 3 Bld 4 Bld 5 Split							
70GND	40	418	46	44	129	47	
100GD	416	411	48	416	129	45	
HVR	413	470	43	464	110	134	
120 K	415	443	43	450	125	93	
220 K	470	450	435	441	122	123	

LEAD(←)/LAG(→) (mm) :							
Resime Bld 1 Bld 2 Bld 3 Bld 4 Bld 5							
70GND	+9	+6	+7	+2	+9		
100GD	+12	+2	+2	+1	+14		
HVR	+28	+23	+2	+14	+17		
120 K	+12	+10	+2	+6	+10		
220 K	+19	+28	+2	+12	+5		

Measurements relative to MEAN

SETTINGS:			
ADJ	Tab	POINT	deg
Bld 1	↑2.0		
Bld 2	↑2.0		
Bld 3	↑2.0		
Bld 4	↑2.0		
Bld 5	↑2.0		

ADJUSTMENTS:			
ADJ	P/L	Tab	
POINT	flats	deg	
Bld 1	↑4.75	↑0.2	
Bld 2		↓0.4	
Bld 3	↑0.25	↓0.6	
Bld 4	↑2.25		
Bld 5	↓5.25	↑1.1	

Adjustments were NOT made.

VIBRATION GOALS:

100GD M/R L 1P 0.22 IPS
HVR M/R L 1P 0.11 IPS
HVR M/R V 1P 0.23 IPS
120 K M/R L 1P 0.10 IPS
120 K M/R V 1P 0.30 IPS
220 K M/R L 1P 0.30 IPS

TRACK SPLIT GOALS (mm) :

70GND 87
100GD 63
HVR 91
120 K 103
220 K 28

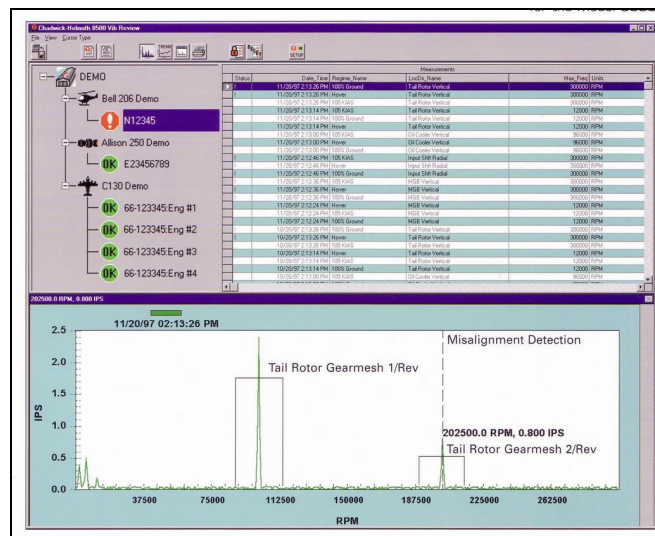
SOLUTION OPTIONS SELECTED:
Solution type: TRACK AND BALANCE
Change types used: P/L, Tab
Resimes used: 100GD, HVR, 120 K, 220 K

13.ábra: „Balance only” és „Track&Balance” esetén valós mérési eredmények

A fenti mérési eredményeken látszik a módszer lényege: **a kitűzött cél függvényében** megadja az állítási javaslatokat (vonórúd, trimm) majd megmondja azt is, hogy ha ezekhez végrehajtunk, akkor valószínűleg milyen vibrációs eredményeket érünk el! A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy az ún. 0.3 IPS (inch per secundum) az az a határérték, amelyet a rezgés szemponjából „tartanunk” kellene, e fölött már zavaróan erősnek, fárasztónak tűnik a vibráció. Jól látszik, hogy ugyanazon kiindulási mért értékek esetén más-más kívánt hatás eléréséhez más-más ajánlott beavatkozási értékek szükségesek, így természetesen a vibráció jóslott értéke is eltérő lesz.

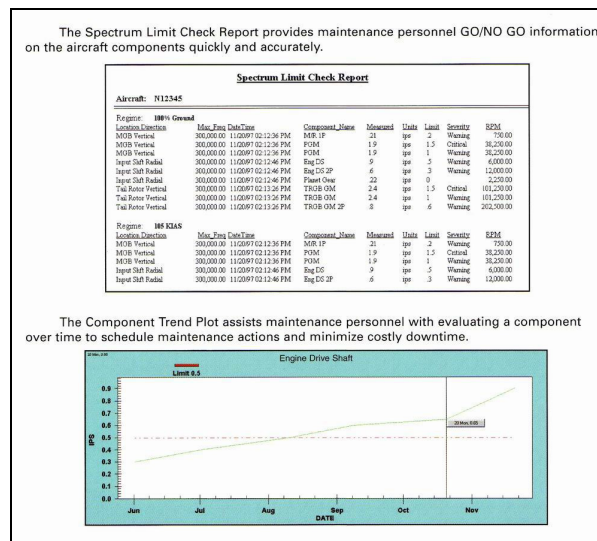
A TV2-117 hajtómű vibrációs mérése

A TV2-117 hajtóműre a Chadwick-Helmuth cég elvégezte a megfelelő szoftver kidolgozását. A VXP program feladata a hajtómű esetében a vibráció analízis, a részegységek spektrum szintjeinek, határ állapot elérésének figyelése. Az, hogy milyen fontos a megfelelő rezgésszint fenntartása, a vibráció ellenőrzése, valószínűleg mindenki számára egyértelmű. A rendszer az adatokat felveszi, raktározza, analizálja és szükség esetén riadóztat. A vibráció analízálása, jellegének alakulása segít azonosítani a problémákat, mielőtt azok teljes terjedelmükben jelentkeznének, kialakulnának. A meghibásodás bekövetkezése előtti előrejelzése, a monitoring alkalmazása jelenti az igazi újdonságot a hajtómű üzemeltetése során. Ez természetesen a repülésbiztonság fokozását, a repülőeszközök „rendelkezésre állásának” növekedését, az üzemeltetési költségek csökkentését eredményezi.



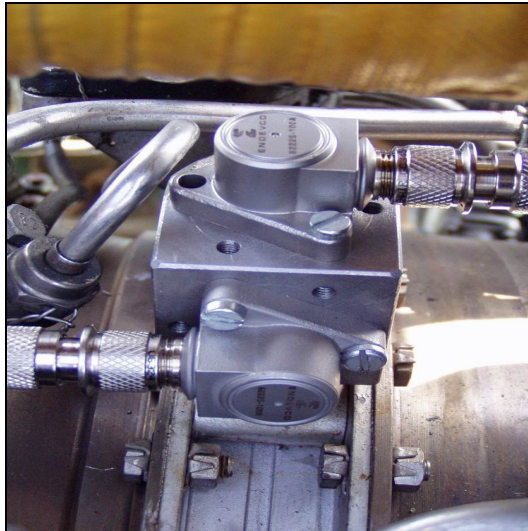
14.ábra: Hajtómű jelentés

A szoftver egyidejűleg négy csatornán végzi a mérést minden vibrációs szenzornál, üzem közben, különböző előzetesen megadott, beállított rezsimeken. A spektrumok átlagát kiszámítja, raktározza és automatikusan az ún. „Spectrum Limit Check Report”-ban (ha a megadott limitet átlépi a mérési eredmény) azonnal megjeleníti, OK illetve STOP jelzést feltüntetve.

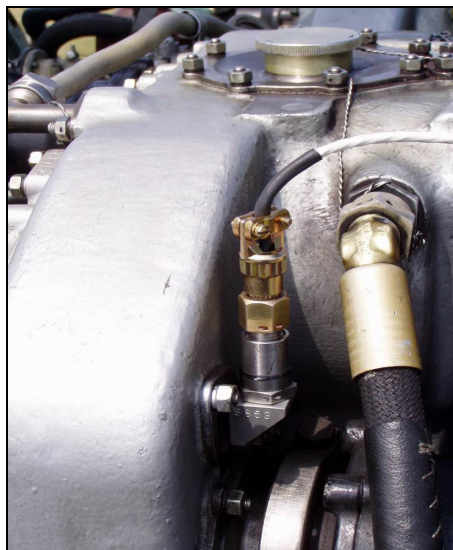


15.ábra: „Spectrum Limit Check Report”

A rendszer megköveteli a magas hőmérsékletet elviselő érzékelők használatát. Szükség volt, hasonlóan a forgószárnynál használtakhoz, különböző igen merev szenzor-tartókra, ezeket a MH LÉJÜ készítette el. A felszerelés egy hajtóműnél öt darab szenzort jelent. Négy darab magas hőmérsékletet elviselő gyorsulásmérő és egy darab sebességmérő kerül felszerelésre. A gyorsulásmérők közül a kompresszorra és a turbinára egy-egy laterális és vertikális érzékelő, a segédberendezés-házra pedig egy sebességmérő kerül.



16.ábra: A kompresszoron és a turbinán elhelyezett szenzorok



17.ábra: A segédberendezés-házon elhelyezett sebességmérő szenzor

A hajtóművek vibráció mérése még kezdeti, „embrionális” állapotban van. Bármennyire is logikus és felhasználóbarát a program működése, kezelése, szemléletes a grafikus kijelzése, az alapvető részegységek (pl. csapágyak, stb) saját spektrumának határértékeit a felhasználás során jelentkező tapasztalatok felhasználásával nekünk kell finomítani. Alapvetően a gyári bevitt 0.5 IPS vibrációs limittel kezdünk, ezeket kell módosítani. A mérési üzemmódok (alap, utazó, névleges, felszálló) kellően széles információt adnak a hajtómű valós állapotáról. Az üzemmódokon rövid ideig tartó adatgyűjtés után lehet továbblépni, a sikeres illetve sikertelen kollektingról azonnal visszajelzést kapunk.

Milyen visszajelzést kaphatunk a mérések során?

- 1.OK: minden mérés minden üzemmódon végrehajtva és minden a határértéken belüli.
- 2.STOP: minden mérés minden üzemmódon végrehajtva, de legalább egy határérték átlépve!
- 3.ALARM: nincs minden mérés végrehajtva, de a mért értékek határértéken belüliek.
- 4.ALARM: nincs minden mérés végrehajtva és legalább egy határértéken kívüli.
- 5.ALARM: egyáltalán nincs értékelhető mérés.

2004 nyarán a Szolnokon végzett mérések során az egyik TV2-117 típusú hajtómű paraméterei igen rossz vibrációs értékeket adtak, szerencsére vagy szerencsétlenségre a hajtómű a mérés befejezése előtt meghibásodott, igazolva a módszer létét.

Összegezve: Mind a forgószárnylapátokon, mind a faroklégsavaron, mind a hajtóműveken elvégzett mérések igen biztató eredményeket adtak, de még igen sok elvégzendő feladat és további pontosítás szükséges. Nagyon fontos tényező lehet az üzemeltető állomány gondolkodásmódjának megváltoztatása és az új, modern módszerek elfogadtatása. A lényeg, hogy valami pozitívum elindult.....