

KISREPÜLŐGÉP KARBANTARTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE, FUTÓSZÁR REKONSTRUKCIÓ

DEVELOPING SMALL-AIRCRAFT MAINTENANCE AND RECONSTRUCTION OF LANDING-GEAR LEG SUPPORT

Lefánti Rajmund*, Dr. Kalácska Gábor**

ABSTRACT

The programs of air-operation and service in the aviation engineering - within this at light- aircraft too - take place according to rigorous regulations. Its reason is to increase the safety of aviation and the aircraft reliability. For the sake of these such operating and service programs have been worked out by both the manufacturer and the aviation authority, and nevertheless the maintenance personnel of airworthiness that those programs to be suitable for the technical requirements and regulations alike. There are such machine units and parts which regulation are incomplete, for instance such is the landing-gear leg.

This paper written from our research work reviews briefly the problem and analyses of the landing-gear leg and its development.

1. BEVEZETÉS

A repüléstechnikában - ezen belül is a kisrepülőgépekénél - a légiüzemeltetési és a karbantartási programok szigorú szabályozás szerint zajlanak [1, 2, 3]. Ennek elérése érdekében olyan üzemeltetési és karbantartási programokat dolgoznak ki mind a gyártó, mind a légiügyi hatóság, mind pedig a légialkalmasság fenntartó, hogy azok megfeleljenek a műszaki céloknak és a szabályozásnak egyaránt. Léteznek olyan részegységek, gépelemek, amelyek szabályozása még hiányos, ilyen pl. a futószár-ágyazás. A kutatási munkából készült cikk a futószár problémáját, elemzését és annak fejlesztését ismerteti röviden.

2. ISMÉTLŐDŐ MEGHIBÁSODÁS

Gyakorlati problémaként merült fel egy 1970-es években gyártott Cessna 172-es típusnál, hogy a futószár bekötésnél elhelyezkedő szilentblokk (rugalmas hossz-ágyazású megtámasztás) ismételt, többször meghibásodott.

Meghibásodásra utaló jelek a beépítés helyén is meg-

figyelhetők voltak. Az ismétlődő terhelés hatására a szilentblokk külső acélperselye és a futószár közül a műanyag szinte kimorzsolódott. A jellegzetesen ismétlődő meghibásodás arra enged következtetni, hogy a repülőgép egyik gyengepontjáról lehet szó.

Ezt a repülőgépet gyakran alkalmazzák tanulók oktatására, ami általában füves burkolatú pályán történik (a le- és felszállások, illetve a füves pálya minősége nem minden esetben ideális). Az említett tényezők nagyban hozzájárulnak az szilentblokk tönkremeneteléhez.

Tönkremenetel esetén a futószár és a támasztás között fémes érintkezés is létrejöhet (amennyiben a rugalmas elem teljesen tönkremegy). Ebben az esetben a futószáron bekövetkező sérülés (például karcolás, kiverődés) mélysége legfeljebb 0,254 mm lehet. Ha ez bekövetkezik, akkor a futószárat cserélni kell.

Az említett állapot repülésbiztonsági szempontból igen veszélyes, mivel a rugalmas csillapításra és a futószár megtámasztására szolgáló szilentblokk nem látja el a feladatát, így a csillapítás és a megtámasztás mértéke nem megfelelő. Előfordulhat olyan eset, hogy a meghibásodást nem ismerik fel időben, így megnő a futómű és a sárkánytest bizonyos részeinél az anyagban a feszültség, mivel megváltozik az üzemi igénybevétel hatása. Ez az állapot rendkívül balesetveszélyes.

A Cessna 172-es típusnál a PUR ágyazás tönkremenetele jelenti a rekonstrukcióval javítandó gyengepontot.

3. KARBANTARTÁSI UTASÍTÁS ÉS ANNAK HIÁNYA, CÉLKITŰZÉSEK

A futószárra vonatkozóan a Cessna 150-es családnál 1000 óránként vagy 3 évente, a 172-es családnál 1000 óránként kell ellenőrizni a külső támaszt, de csak laprugós kivitelnél. Cső keresztmetszetű futószár esetén a rugalmas megtámasztásra (ágyazásra) vonatkozó karbantartásról a gyártó semmilyen utasításban **nem** rendelkezik [5].

A meghibásodásra hajlamos futószár-ágyazás repülésbiztonsági oldalról kockázatot jelent. Joggal vetődik fel a kérdés, hogy helyettesíthető-e a gyengepont új, korszerű anyagokat tartalmazó megoldással, ahol az üzemi igénybevétel nem eredményez visszatérő meghibásodást.

*egyetemi tanársegéd, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

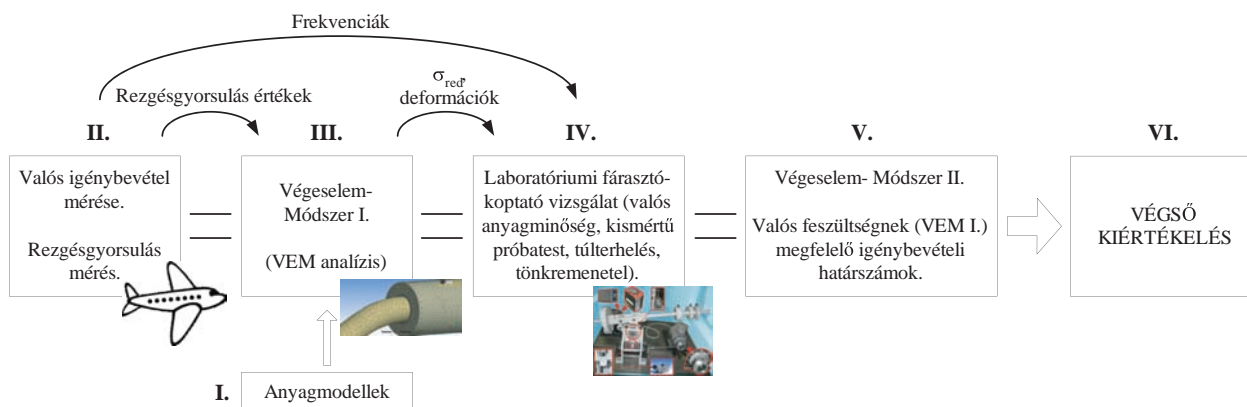
** egyetemi tanár, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

Célkitűzések:

- Javaslatot tenni az eredeti PUR rugalmas ágyazás anyagának kiváltását szolgáló más műanyagra vagy műanyag párosításra.
- További cél, hogy meghatározásra kerüljön az a jellemző igénybevétel és határértékét, amely alapján szükségszerűen javasolt az adott gépelem vizsgálata, függetlenül attól, hogy éppen hol tart a repülőgép karbantartási periódusa. A meghatározott érték elérésekor javasolt a gépelem felülvizsgálata, esetleges cseréje. Ezzel a jellemző paraméterrel a hiányos karbantartási utasítás kiegészíthető.

Tekintettel arra, hogy a PUM 70A típusú alapanyag jellegzetes meghibásodása a kifáradás és a kopás, ezért helyettesítő anyagként közel hasonló rugalmassági, de jobb kifáradási és tribológiai tulajdonságokkal bíró PUM 60A és a PUA 90A alapanyag került kiválasztásra.

Ahhoz, hogy a további vizsgálatok elvégezhetőek legyenek, meg kell határozni a vizsgált anyagok mechanikai, szilárdsági jellemzőit. Ezért az alapanyagokon keménységi, szakító- és nyomóvizsgálatok kerültek végrehajtásra. A vizsgálatok eredményei és kiértékelése adta a VEM analízis bemeneti paramétereit.



1. ábra Komplex vizsgálat, értékelési rendszer

4. A FUTÓSZÁR ÁGYAZÁSÁNAK REKONSTRUKCIÓS VIZSGÁLATA

A tönkrement gépelem komplex vizsgálatának, illetve a kiértékelésnek a folyamata a 1. ábrán kerül bemutatásra. Az ábrán jelöltük a főbb vizsgálati pontokat. Ezek:

- Anyagmodellek meghatározása;
- Valós körülmények közötti igénybevétel mérése;
- Mechanikai végeselem analízis készítése;
- Laboratóriumi körülmények közötti gyorsított fárasztó-koptató vizsgálatok végrehajtása;
- Mechanikai végeselem analízis készítése az igénybevételi határszámok meghatározására;
- Eredmények kiértékelése.

4.1. Eredeti és a vizsgálni kívánt alapanyagok meghatározása

A többszörös meghibásodást eredményező rugalmas ágyazás anyaga mechanikai tulajdonságaiban megegyezik (poliuretán anyagok gyártásával és forgalmazásával foglalkozó cég vizsgálata szerint) a jelenleg PUM 70A jelzés alatt forgalmazott öntött poliuretán alapanyaggal.

4.2. Valós igénybevétel mérésére alkalmas rendszer

A repülőgépet, futószárat és ebből adódóan a szilentblokkot ért terhelések mérése igen összetett feladat. Egy szerkezetben a feszültségek, elmozdulások mérésére, illetve meghatározására több eljárás terjedt el a gyakorlatban [6, 8].

Az adott gépelemet ért igénybevételek meghatározására gyorsulás/rezgésgyorsulás mérésére alkalmas mérőrendszert fejlesztettünk, készítettünk (2. ábra). A mérés végrehajtásának helyszínén a repülőtéren betonburkolatú és fűves burkolatú pályák találhatóak. Mind a kétfajta burkolatú pályán öt-öt darab le- és felszállás került végrehajtásra. A repülés a légügyi hatóság által megkövetelt szabályok szerint, és a kisrepülőgép üzemeltetési utasításában foglaltak szerint zajlott le.

4.2.1. Gyorsulási eredmények kiértékelése

A sárkánytestben és a futószárakon mért gyorsulási értékek közül a sárkánytestben mért eredmények kerültek a továbbiakban vizsgálatra és felhasználásra a mechanikai modellezéshez.



2. ábra Kisrepülőgépben ébredő gyorsulások mérésére alkalmas mérőrendszer vázlata

Ennek oka, hogy a későbbi mechanikai modell elkészítésénél a futószár és a szilentblokk közötti kapcsolat nem merev, hiszen a futószárnak van egy rugalmassága/csillapítása, amivel bővíteni kellene az elkészítendő modellt. Ez megnehezítené a modell elkészítését, mivel nem ismert a futószár rugalmassága/csillapítása. Ezért eltekintettünk a futószáron mért eredményektől. Továbbá a sárkánytest és a szilentblokk külső perselye közötti kapcsolat merev és a kabinban elhelyezett érzékelő is olyan helyen került rögzítésre (hátsó ülés váza), amely kellően merev kapcsolattal rendelkezik a sárkánytesttel, így ez az érzékelő is megfelelő eredményeket fog szolgáltatni a további vizsgálatokhoz.

A mérési irányok közül a függőleges „z” iránynál egyértelműen el lehet különíteni a repülésre jellemző különböző állapotokat.

A 3. ábrán látható az a hat szakasz, amelyek a mérés, repülés során elkülöníthetők.

Az egyes szakaszok megnevezése:

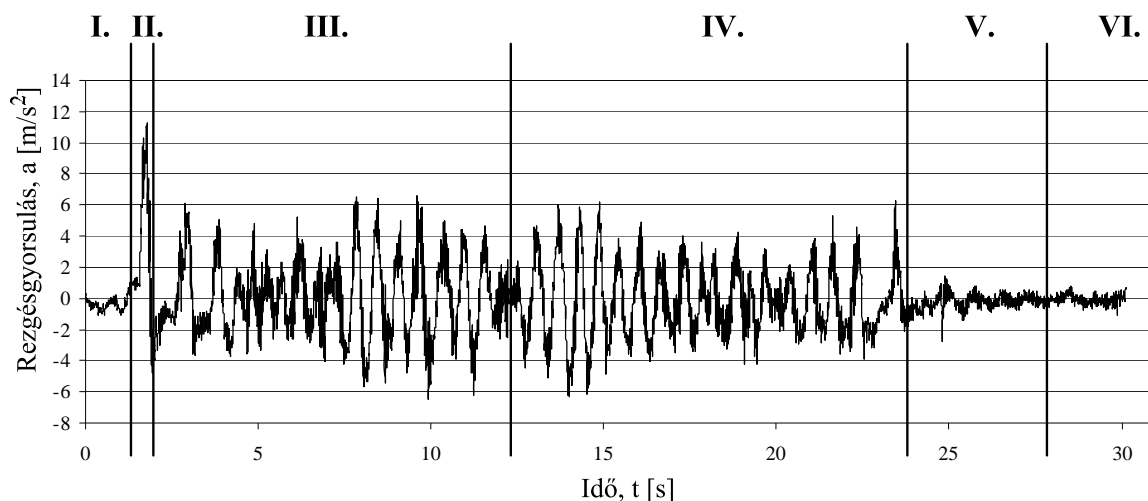
- I. Leszállás folyamata, levegőben;
- II. Földetérés pillanata;

- III. Pályán történő lassulva gurulás szakasza;
- IV. Pályán történő gyorsítva gurulás szakasza;
- V. Kifutópálya elhagyás pillanat utáni szakasz;
- VI. Felszállás folyamata, levegőben.

A szakaszok vizsgálata ezek után külön-külön történt. A szakaszok vizsgálatára Fourier transzformációt (FFT) alkalmaztunk. Az FFT eredményeképpen a rezgés gyorsulás-idő függvényekből rezgés gyorsulás-frekvencia értékeket kaptunk [9]. Ez biztosította számunkra azt, hogy meghatározhattuk a jellemző gyorsulási értékekhez tartozó igénybevétel ismétlési számot (frekvencia).

Az eredmények ismeretében megállapíthatóvá vált az, hogy a szilentblokk tönkremenetele akkor következik be hamarabb, ha minél magasabb ismétlési számmal párosul a terhelés.

Ennek tudatában a szilentblokkra nézve kritikus szakaszok a földön történő lassulva/gyorsulva gurulás szakasza (III., IV. szakasz) és nem a földetérés illetve elhagyás pillanata. A földön történő lassulva/gyorsulva gurulás jellemző gyorsulási és frekvencia értékeit kellett felhasználni a további vizsgálatokhoz.



3. ábra Kabinban mért „z” (függőleges) irányú rezgés gyorsulás jellemző szakaszai az idő függvényében

4.3. Futószár mechanikai vizsgálata szimulációval

A repülőgépen végzett valós idejű mérések és azok eredményei, valamint az anyagvizsgálatok eredményei kellő alapot nyújtanak ahhoz, hogy mechanikai szimulációs vizsgálatokat (Végeselem - módszer, VEM) végezzük a futószár - szilentblokk egységen. A VEM gyakorlati alkalmazási területei közé tartozik a repülőgépipar [7]. A VEM szimulációhoz az Ansys Workbench 11 programot használtuk fel, amelyben segítséget nyújtott a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézete.

A program alkalmazása során elkészítettük a futószár és a szilentblokk valós geometriai modelljét. A szimuláció futtatásához beállítandó paraméterek között szerepeltek a különböző anyagjellemzők és a mért gyorsulási értékek különböző irányonként. A szimuláció végrehajtásával meghatároztuk a szilentblokk műanyag perselyében ébredő redukált feszültséget, valamint a deformációk nagyságát.

A meghatározott jellemzők bemeneti paraméterként jelentek meg a laboratóriumi gyorsított fárasztóvizsgálatnál.

4.4. Laboratóriumi fárasztóvizsgálat

A kisrepülőgép szilentblokk tönkremenetelének modellezésére építettünk egy kisméretű próbatest befogására alkalmas, laboratóriumi fárasztóvizsgálati berendezést. A berendezés felépítésének, kialakításának olyannak kellett lenni, hogy reprodukálható mérési rendszerben, gyorsított fárasztó vizsgálatot lehessen végezni a szerkezeti anyagokkal úgy, hogy az igénybevétel megfeleljen a valós méréseknél tapasztaltaknak, illetve a VEM számítási eredményeknek.

A vizsgálat alapját a DIN 50322-es szabvány adta, amelyen belül a 6. vizsgálati kategóriát vettük figyelembe, vagyis az egyszerű alakú próbatesteken végzett modellkísérleteket [4, 11].

A valóságos szerkezetnél az elmozdulás és a terhelés iránya megegyezik. A laboratóriumi fárasztóvizsgálati berendezésnél azonban az elmozdulás és a terhelés iránya merőleges. Ez a laboratóriumi összehasonlító vizsgálatokat, a reprodukálhatóságot - a VI. kategóriára jellemzően - nem zavarja. A próbatestekbe bevitt fárasztási munkának a nagysága és a többi terhelési paraméter kontrollálható.

A fárasztóvizsgálat elvét a „Locati” -féle gyorsfárasztás adta, amelyet acélokra alkalmaznak. A vizsgálat során a fárasztani kívánt anyagot növekvő terhelési szintenként 10^5 darab ismétlődő igénybevételnek teszik ki. A terhelést három lépcsőben növelik. Ezen igénybevételek alatt mehet tönkre valamikor a vizs-

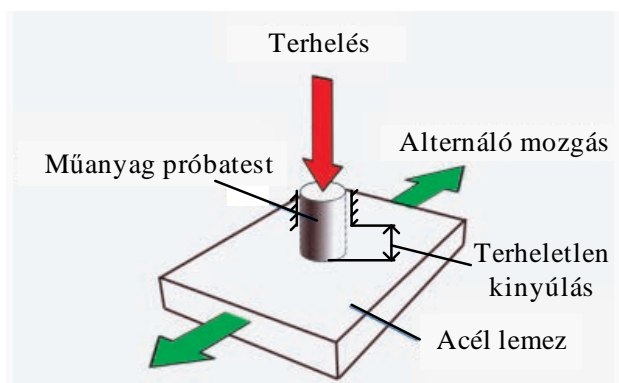
gált anyag, vagy esetleg elviseli az ismétlődő igénybevételeket [10].

Az általunk végzett fárasztóvizsgálat abban tért el a fentiekben említettől, hogy a terhelés négy lépcsőben került növelésre és nagy rugalmasságú elasztomerre alkalmaztuk a vizsgálati elvet.

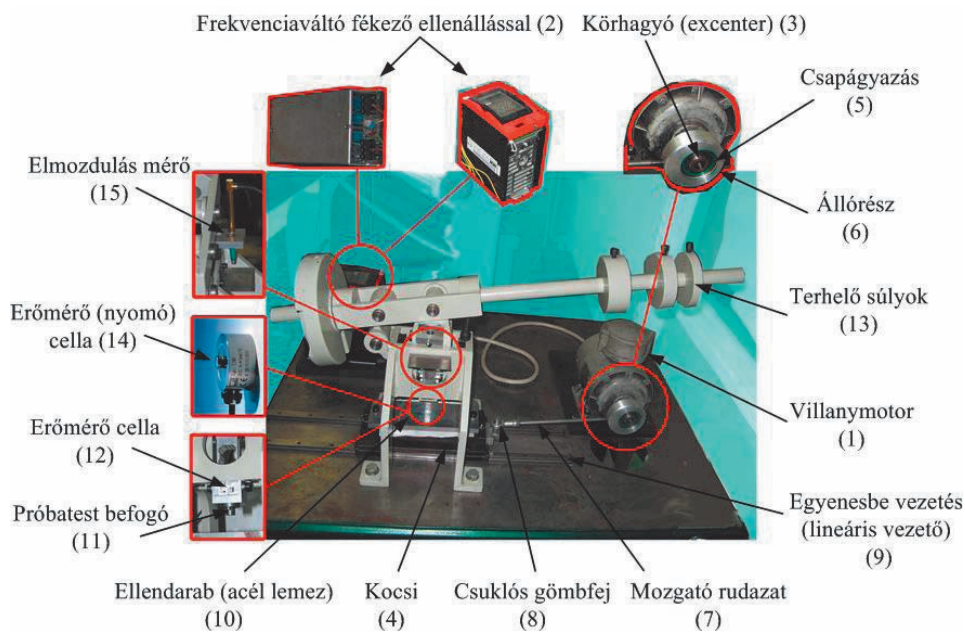
A vizsgálni kívánt próbatest fárasztását egyrésztől az egyenes vonalú, alternáló mozgást végző kocsi végzi, másrésztől pedig, a próbatestet egy terhelő erő nyomja függőlegesen az acél alaplemezhöz (4. ábra). Ez egy összetett, mechanikai és tribológiai fárasztást jelent, ahol az érintkező felületek deformálódnak is és súrlódnak is (tapadnak), mint a valós repülőgép futószár ágyazásánál. Az elkészített berendezés és a részei a 5. ábrán láthatók. A berendezés alkalmassá vált arra, hogy elvégezzük rajta a szükséges gyorsított fárasztóvizsgálatokat.

A repülőgépen végrehajtott valós idejű mérésekből, valamint a VEM szimulációból kapott eredmények adták a fárasztóvizsgálat során beállítandó paramétereket a fárasztóvizsgálati berendezésen (5. ábra). Ezek:

- Az ellendarab (10) mozgásának amplitúdója excenter (3) segítségével (például PUM 60A esetében 0,5 mm);
- Az ellendarab (10) mozgásának frekvenciája (32 Hz) a villanymotor (1) és a frekvenciaváltó (2) segítségével;
- Függőleges irányú terhelés, terhelő súlyok (13) segítségével (például PUM 60A esetében a terhelés értéke $11,219 \text{ N/mm}^2$ volt, és ennek az értékét változtattuk négy lépcsőben úgy, mint 80, 100, 120, 150 % között);
- A próbatest terheletlen kinyúlási hossza (1, 2, 3, 4 mm) a próbatest befogóból (11).



4. ábra A próbatest igénybevételei



5. ábra Fárasztóvizsgáló berendezés

Az eredmények jobb áttekintése és következtetések levonása érdekében elkészítettük anyagonként egy-egy háromdimenziós ábrát (példaként a 6. ábrán a PUM 60A anyag esetét mutatjuk be). A diagramok tengelyein a fárasztó-koptató vizsgálat főbb jellemző paramétereit került ábrázolásra:

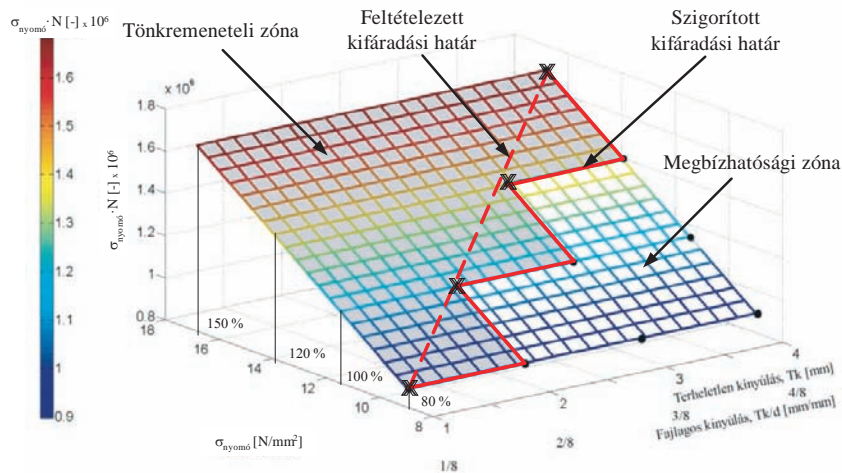
- a próbatest terheletlen-, fajlagos kinyúlása;
- a terhelés nagysága ($\sigma_{nyomó}$);
- a terhelés, valamint az ismételt igénybevétel darabszámának szorzata ($\sigma_{nyomó} \cdot N$).

Ezen tengelyek segítségével kapott térben ábrázoltuk az összetartozó értékeket. Az ábrázolt pontokra síkot illesztettünk. A tönkremeneteli eseményekhez tartozó jellemző pontok, és a sík segítségével kijelölésre került a szigorított és a feltételezett tönkremeneteli (kifáradási) határ. A szigorított kifáradási határ a sík felületéből kijelöli a tönkremeneteli és a megbízhatósági zónát.

A diagramból anyagonként meghatározásra került a megbízhatósági- (A_m), tönkremeneteli (A_t) zóna területe. A két zóna területi aránya (A_m/A_t) megadja a működési megbízhatóságot (n) az adott vizsgált anyagra. A működési megbízhatóságból rangsor állítható fel a vizsgált anyagok között (1. táblázat).

1. táblázat. Működési megbízhatóság értékei

	PUM 60A	PUM 70A	PUA 90A
Működési megbízhatóság (n)	0,4	3,199	5,998



X : tönkremenetelt jelentő mérési pont

● : gyorsított fárasztóvizsgáló pont, tönkremenetel nélkül

6. ábra PUM 60A anyag kifáradási határdiagramja

A laboratóriumi mérések végrehajtása után megállapítottuk, hogy a vizsgált anyagok esetében a kifáradási határ, működési megbízhatóság a PUA 90A esetében a legkedvezőbb. Ezt követi a PUM 70A majd pedig a PUM 60A.

4.5. Mérési eredmények és a tényleges igénybevétel ismétlési szám (ciklusszám) kapcsolata

A laboratóriumi fárasztóvizsgálatok során a függőleges irányú normál erőn túl a próbatestben hajlító és nyíró igénybevétel is keletkezik, ezért a redukált feszültséget kell meghatározó jellemzőnek tekinteni. Ahhoz, hogy a fárasztóvizsgálati paramétereiből és a vizsgálati eredményekből meghatározható legyen a vizsgált anyagból gyártott szilentblokk rugalmas ágyazásának kifáradási jellemzője, meg kell határozni a próbatestben a redukált feszültséget adott terhelési szinten. Ennek a meghatározására mechanikai modellezést (VEM) készítettünk.

A mechanikai modell elkészítését követően alapvetően meghatároztuk azt, hogy:

- A próbatestben a nyomáson túl hajlítás és nyírás is fellép.
- A σ_{red} értéke többszöröse a nyomásból számított értéknek adott terhelési szintnél és kinyúlási hosszánál, a próbatest összetett igénybevétele miatt. A fárasztóvizsgálat tehát az üzemi körülményeknél lényegesen magasabb feszültség szinten történt.

A valós idejű repülőgépes mérések eredményeit, a laboratóriumi gyorsított fárasztóvizsgálat eredményeit, továbbá a laboratóriumi fárasztóvizsgálat mechanikai modellezés (VEM) eredményeit felhasználva a következő eredményre jutottunk:

- A PUM 60A jelű alapanyagból készített rugalmas ágyazás várhatóan 3727 db felszállásonként, 20 %-os biztonsági tényezővel számolva 2980 db le- és felszállásonként fog feltételezetten tönkremenni. Tehát a meghatározott határszám elérésekor a futószár felfüggesztését és magát a szilentblokkot is át kell vizsgálni, hogy bekövetkezett vagy megkezdődött-e a tönkremenetel.
- A gépelem eredeti anyaga megfelel a PUM 70A jelű kereskedelmi terméknek. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a PUM 60A-hoz képest nagyobb kifáradási ciklusszám, élettartam érhető el a PUM 70A jelű alapanyaggal. Az alapanyag vizsgálataink szerint a továbbiakban is alkalmas a feladat betöltésére. A fárasztó-koptató vizsgálatok eredményei azonban arra engednek következtetni, hogy az ágyazás rugalmas része 2980 le- és felszállást biztosan kibír. Tehát a meghatározott határszám elérésekor a futószár felfüggesztését és magát a szilentblokkot is át kell vizsgálni, hogy bekövetkezett vagy megkezdődött-e a tönkremenetel. Ezzel a javaslattal az új karbantartási rendszerbe olyan szigorításra kerülhet sor, mely a biztonságot növeli. Továbbá a gyári karbantartási utasítás hiányossága ezzel az információval pótolható.

- A PUA 90A jelű anyag is alkalmas a gépelem alapanyagául. A vizsgálatok eredményei arra engednek következtetni, hogy még nagyobb javulás (élettartam) érhető el, mint a PUM 70A-val.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható az, hogy egy olyan komplex mérési és kiértékelési rendszert alkottunk meg, amely arra hivatott, hogy egy valós szerkezet rekonstrukciós tervezését hajtsuk végre. Munkánk eredményeképpen egy olyan határszámot határoztunk meg, amely alkalmas a vizsgált repülőgép (adott szerkezeti kialakítás mellett) futószár rugalmas ágyazására vonatkozóan egy megbízhatósági határt adni. Ezzel lehetőség nyílik a típus karbantartási utasításának helyesbítésére, szigorítására.

Ezzel az elkészített rekonstrukciós tervezéssel és komplex értékelési folyamattal reményeink szerint elősegítettük a repülőgépes üzem még biztonságosabbá tételét.

6. IRODALOM

- [1] 2042/2003/EK rendelet
- [2] 1702/2003 EK rendelet
- [3] 859/2008/EK rendelet
- [4] BHUSHAN B.: Modern tribology handbook, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.: CRC Press LLC, 2001
- [5] Cessna 172 Series Service Manuals & Parts Catalogs (2010): DVD kiadvány.
- [6] DÖMÖTÖR F. (Szerk.): A rezgésdiagnosztika elemei, Budaörs, SKF Svéd Golyóscsapágy Rt., 1996
- [7] FODOR T., ORBÁN F., SAJTOS I.: Végeselem - módszer. Elmélet és alkalmazás, Budapest, Szaktudás Kiadó Ház, 2005
- [8] JANIK J. (Szerk.): Gépüzemfenntartás, Dunaujváros, Dunaujvárosi Főiskolai Kiadó, 2001
- [9] NAGY I.: Állapotfüggő Karbantartás, Műszaki Diagnosztika I., Rezgésdiagnosztika, Paks: Delta-3N Kft., 2006
- [10] VERESS E.: Technológiai anyagvizsgálati módszerek, Magyar nyelvű szakelőadások a 2000 - 2001-es tanévben, Babeş-Bolyai Tudományegyetem Vegyész-mérnöki Kar, Románia, Kolozsvár, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2001
- [11] ZSIDAI L., DE BAETS P., SAMYN P., KALACSKA G., VAN PETEGHEM A.P., VAN PARYS F.: The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens, *WEAR* 253 p. 673 - 688, 2002