

Gördülőcsapágyak meghibásodásának korai kimutatása a rezgésdiagnosztika segítségével

Szabó József Zoltán* Dömötör Ferenc**

*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar
1081 Budapest Népszínház utca 8. (Tel: +36-1-666-5451; e-mail: szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu).

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
1111 Budapest, Stoczek u. 6. (Tel: +36-1-463-1827; e-mail: ferenc.domotor@gjt.bme.hu)

Kivonat: A rezgésdiagnosztikai módszereket régóta használják a gördülőcsapágyak károsodásának előre jelzésére. Ennek az a módja, hogy a mérési eredményeket (pl. adott rezgésparamétert egy rögzített tartományon összesítő, skalár számértékeket, vagy időjelek, frekvenciaspektrumok, stb.) szabványokban, vagy a szakirodalomban leírt mintákkal összehasonlítva ítélik a csapágy állapotát jónak/elfogadhatónak vagy rossznak. Ebben a cikkben a szerzők egy olyan vizsgálatról számolnak be, amelynek során mesterségesen előállított hibák hatását elemzik. A kísérlet sorozatot egy elektromotorral hajtott próbapadon, egysorú, mélyhornyú golyóscsapágyakon hajtották végre. A mérésekhez hordozható rezgésadatgyűjtőt/rezgés-analizátort használtak.

1. BEVEZETŐ

A gördülőcsapágyak károsodásának okait, módját többféle elv alapján lehet csoportosítani. Az egyik legnagyobb csapágy gyártó (SKF Zrt., 1994) cég tanulmánya szerint megkülönböztetünk elsődleges, illetve másodlagos károsodást. Elsődleges károsodások: elkenődés, benyomódások, villamos áram okozta károsodás, kopás, korrózió, míg a másodlagos károsodások: kosárszerkezet sérülései, repedések és törések, pittingesedés vagy magyarul lepattogzás. Azok a károsodások, melyek a csapágyak szétszerelésekor megfigyelhetők, másodlagos károsodások, melyek szinte kizárólag valamilyen elsődleges károsodás tovább terjedésének az eredményei.

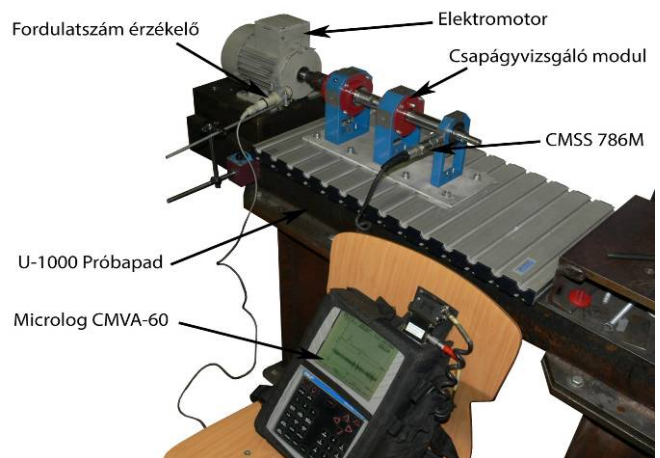
Az állapotfigyelő karbantartás célja az elsődleges károsodások minél korábbi detektálása. Ennek érdekében számos előre jelzésre alkalmas módszer áll rendelkezésre. Ezek egyike a rezgésdiagnosztika, amelynek lényege a mért rezgések elemzése, és a kapott időjelek, spektrumok összehasonlítása a szakirodalomban található mintákkal. A vizsgálat eredményeképpen kialakuló döntési helyzetben arra a kérdésre kell választ adni, hogy lehet-e tovább üzemeltetni a gépet az adott csapággal, vagy pedig leállás és csapágycserre szükséges.

Ebben a cikkben egy olyan kísérlet eredményéről számolunk be, amelynek során mesterségesen előállított csapágyhibák rezgés mérési adatait (rezgésösszeg, időjel, spektrum, stb.) hasonlítottuk össze a szakirodalomban megtalálható sablonokkal, magyarázatokkal.

1. A KÍSÉRLETEKHEZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK

A kísérletsorozathoz az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonsági Mérnöki Kar Mechatronikai és

Járműtechnikai Intézetének laboratóriumában fejlesztett modul rendszerű „Vibrotester” mérőpadot, és annak egyik tartozékát, a csapágyvizsgáló modult használtuk (1. ábra).



1. ábra A kísérletsorozathoz használt mérőrendszer

A szakirodalom szerint a műszaki berendezések viselkedését, egy rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését modellek és szimulációk segítségével vizsgálják (Pokorádi L., 2016). A modellek lehetnek valós, vagy matematikai modellek. Az általunk alkalmazott csapágyvizsgáló modul a matematikai modellekkel ellentétben egy hajtáslánc különféle valós üzemiállapot változásának tanulmányozására alkalmas. A csapágyvizsgáló modul fő részei:

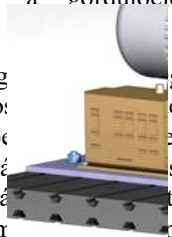
- a három csapágyház, bennük a csapágyakkal,
- a frekvenciaváltós hajtómotor és a tengely,
- az alaplap, és végül
- a csapágy terhelő szerkezet.

A csapágyházak anyaga acél, amely mágnesezhető, és ahhoz így módon föl lehetett erősíteni a mágneses tapadókoronggal ellátott rezgésérzékelőket. A csapágy terhelő szerkezet tulajdonképpen egy menetes orsó és anya, amely a csapágyházak alsó részén található, a csapágyak külső gyűrűjének deformációja által hozza létre a terhelést. 3. ábra.

A kísérletsorozathoz 6205 típusjelű, mély hornyú golyóscsapágyakat használtunk (2. ábra), amelyen az alábbi hibákat állítottuk elő mesterségesen:

- külső gyűrű futófelületén pittingesedés (multifunkciós szerszámmal),
- belső gyűrű futófelületén pittingesedés (multifunkciós szerszámmal),
- belső gyűrűn benyomódás (túlzott erőhatás következtében),
- porvédő érintkezése a gördülőelemekkel (porvédő behorpasztása miatt).

A fentiekén kívül vizsgáltunk egy szöghajtóműből származó, korróziós károsított csapágyat is (2. ábra), amelyen az előzőekben természetes úton következett be az elhasználódás. A vizsgálat során a szöghajtóműbe jött még ezen kívül a kosárszerkezet károsítása is, de ennek előállítását munkavédelmi okok miatt nagy fordulatszámon nyitott csapágyház) nem lehetett megvalósítani.



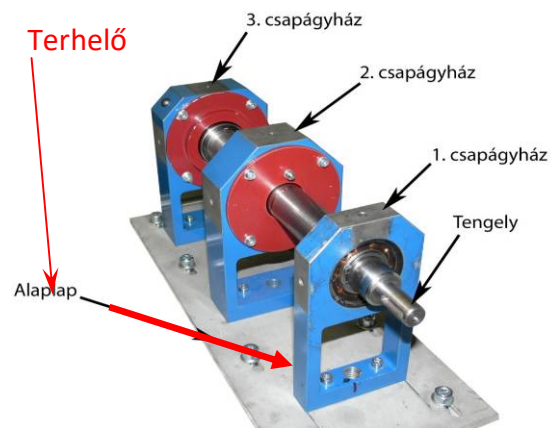
2. ábra A kísérletsorozathoz használt 6205 típusú mélyhornyú golyóscsapágy. (A) új hibátlan csapágy, (B) a korróziós károsodást szenvedett szöghajtómű csapágy

Bár mind a három csapágyház alkalmas a mérések kivitelezésére, de az összes mérést az 1. számú csapágyházon - benne egy 6205-ös csapágy - hajtottuk végre (3. ábra). A másik két csapágyház úgy van kialakítva, hogy alkalmas a különböző kenési módok összehasonlítására (pl.: kenőolaj és kenőzsír alkalmazása), valamint terhelő elem okozta deformáció rezgéstani vizsgálatára.

A kísérleti mérések rezgésdiagnosztikai vizsgálata, az SKF által gyártott és forgalmazott Microlog CMVA-60 rezgésanalizátorral és a hozzá tartozó CMSS 786 M piezoelektromos gyorsulásérzékelővel történt. A mérési adatok feldolgozásához az ugyancsak SKF gyártmányú, Prism4 for Windows szoftvert használtuk.

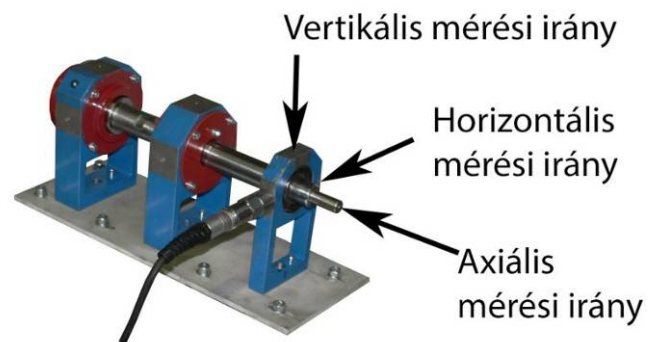
2. A KÍSÉRLETI MÉRÉSEK MEGTERVEZÉSE

A nemzetközi szabványok ajánlásai szerint a méréseket összesen 6 különféle üzemállapotban lévő csapágyon végeztük el. Ebből két esetben két különböző terhelési állapotban (terhelve és anélkül, ami értelemszerűen két külön esetnek számít), vagyis összesen 8 objektumon, a tér három irányában (4. ábra), és három különböző fordulatszámon (500 1/min, 1000 1/min és 1500 1/min) végeztük el.



3. ábra Csapágyvizsgáló modul és terhelő szerkezet felépítése

Az elektromotor fordulatszámának kívánt értékre történő állítása a frekvenciaváltó segítségével valósult meg. Amikor egy csapágyon, mindhárom fordulatszámon megtörtént a mérési jellemzők három mérési irányban történő rezgésvizsgálata, következhetett a csapágycsere, majd az újabb hibával rendelkező csapágy ismételt mérése.



4. ábra Mérési irányok a kísérleti mérések során

A rezgésjelek feldolgozásához az alábbi kiértékelési módszereket alkalmaztuk:

- rezgéssebesség mérés az ISO 10816-3 szabvány alapján,
- rezgés gyorsulásmérés
- ENVELOPE™ (burkológörbe) detektálási eljárás,
- HFD™ (High Frequency Domain) technológia alapú mérés
- SEE™ (Spectral Emitted Energy) technológia alapú mérés.

Az említett mérési eljárások részletes leírása megtalálható a (Szabó J.Z., 2010) és (Dombai B., 2015) által publikált irodalomban. A minél alaposabb állapotfelmérés érdekében a mérési paraméterek különböző fajtáit állítottuk be, például:

- mért jellemző, azaz gyorsulás, sebesség, elmozdulás,
- különböző frekvencia tartományok,
- különböző szűrő beállítások, FFT vonalfelbontások, stb.

Míndez újabb 17-féle esetet jelent. A mérések összes száma a fentiek alapján tehát 8 objektum x 3 irány x 3 fordulatszám x 17 mérési beállítás = 1224 db mérés képezi a vizsgálathoz használt „elméleti” adatbázist. Ennek nagyobb része (918 db mérés) megvalósult, de ezek közül is értelemszerűen csak a legtöbb, hasznos információt nyújtó esetek eredményeit mutatjuk be részben táblázatos formában (ISO szerinti, effektív rezgésebbesség), részben frekvencia spektrumok, részben összevont spektrumok, azaz vizesés diagramok vagy Palogramok® formájában történik. Ezen fogalmak értelmezése megtalálható többek között a (Dömötör F., 1996) és (Dömötör F., 2010) szakirodalmakban.

A mérések rendszerét könnyebben át lehet tekinteni, ha megnézzük a 1. táblázatot. A feltételek egyértelmű rögzítése miatt megismételjük, hogy a táblázat minden egyes eleméhez még 17 db paraméter beállítás (mért jellemző, frekvenciasáv, szűrők, átlagolások száma, stb.) tartozik, és ezek nagyobb része meg is történt, de ezeknek csak egy töredékét tudjuk bemutatni.

1. Táblázat A különféle mérési irányokban, különféle fordulatszámokon és üzemiállapotokban végzett rezgismérések összefoglaló táblázata

	500 1/min			1000 1/min			1500 1/min		
	H	V	A	H	V	A	H	V	A
M0- jó csapágy	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M1- belső gyűrű hibás csapágy, terhelés nélkül	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M1 TRH- az M1 csapágy terhelt külső gyűrűvel	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M2- külső gyűrű hibás csapágy, terhelés nélkül	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M2 TRH- az M2 csapágy terhelt külső gyűrűvel	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M3- korrodált csapágy	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M4- behorpadt porvédő gyűrűs csapágy	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M5- benyomódott csapágy	+	+	+	+	+	+	+	+	+

2. KIÉRTÉKELÉS AZ ISO 10816-3 SZABVÁNY ALAPJÁN

Az ISO 10816 szabvány általánosságban rögzíti a rezgismérés feltételeit, a végrehajtás és a kiértékelés módját. A konkrét feladat megoldása (mérés, kiértékelés, grafikai brázolás) azt a módszert követjük, amely az [x] feldolgozásban szerepel. Ennek értelmében minden csapágyhelyen három irányban mértünk, és a mért eredményeket (rezgésebbesség négyzetes középértéke) összehasonlítottuk a szabvány által javasolt határértékekkel.

Sajnos, a kísérleti mérőpad nem illeszthető be a szabvány feltételeibe sem méret, sem teljesítmény szempontjából, hiszen a legkisebb osztályhoz képest is kicsi. Ráadásul az 500 1/min fordulatszám sem esik a szokásos tartományba (600 1/min fölötti fordulatszámok). Emiatt a kiértékelés csupán iránymutató jellegű, és ezt a korlátozó feltételt előre bocsátva kell figyelembe venni a továbbiakat.

Azt a módszert követtük, hogy megkerestük a teljesítményben és elrendezésben hozzá legközelebb álló géposztályt (I. osztály, 15 kW-nál kisebb gépek) és az arra vonatkozó határértékekhez viszonyítottuk a mért adatokat. A szabvány szerint, ha az effektív rezgésebbesség a megadott frekvenciatartományban (fordulatszámától függően 2-1,000 Hz, illetve 10-1,000 Hz közötti sávban) mérve;

- 0,71 mm/sec alatt van (zöld szín), akkor az a gép jónak minősül (pl. új gép),
- 0,71 – 1,8 mm/sec között van (citromsárga), akkor a gép állapota elfogadható (hiba mentes gép),
- 1,8 – 4,5 mm/sec között van (narancssárga), akkor a gép állapota nem kielégítő,
- 4,5 mm/sec fölött van (piros), akkor a gép állapota veszélyes.

2. Táblázat Az ISO 10816-3 mérési eredmények különféle mérési irányokban és különféle üzemiállapotokban 500 1/min, 1000 1/min és 1500 1/min fordulatszámokon

500 1/min	ISO HOR	ISO VER	ISO AXI	TRH HOR	TRH VER	TRH AXI
M0	0,5742	0,2001	0,6791	x	x	x
M1	0,7614	0,2617	2,116	0,8166	0,2863	1,863
M2	0,5504	0,2563	1,383	1,309	0,796	3,048
M3	0,8589	0,7291	2,018	x	x	x
M4	0,4602	0,2309	0,7943	x	x	x
M5	0,7464	0,3796	1,916	x	x	x

1,000 1/min	ISO HOR	ISO VER	ISO AXI	TRH HOR	TRH VER	TRH AXI
M0	0,8939	0,3684	3,184	x	x	x
M1	1,569	0,704	5,822	x	x	x
M2	1,996	0,4428	1,894	x	x	x
M3	1,465	1,124	5,786	x	x	x
M4	1,048	0,375	4,169	x	x	x
M5	2,481	0,9173	4,580	x	x	x

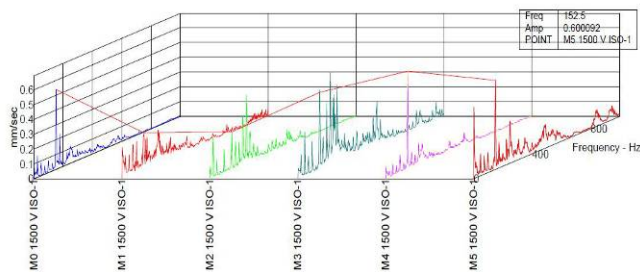
1,500 1/min	ISO HOR	ISO VER	ISO AXI	TRH HOR	TRH VER	TRH AXI
M0	2,158	0,7548	2,602	x	x	x
M1	4,255	1,030	5,470	3,659	1,189	7,086
M2	2,809	0,9878	1,906	4,171	3,611	8,198
M3	2,855	1,748	6,297	x	x	x
M4	2,410	0,828	2,969	x	x	x
M5	2,899	1,292	4,833	x	x	x

A teljes spektrumra vonatkozó (overall), un. összrezgés-szinteket tekintve, az erősebb rezgések főleg a magasabb fordulatszámokon tapasztalhatók horizontális és axiális mérési irányban, és elsősorban terhelt állapotban.

A mérési eredményeket elemezve jól látszik, hogy a hibás csapágyak összrezgés-szintje szinte minden esetben (M1, M2, M3, M4, M5) nagyobb, mint a hibátlan (M0) csapágy rezgés-szintje.

A rezgésszint növekedés annál inkább észrevehető, minél nagyobb a fordulatszám, bár konkrét arányszám (szorzótényező) megállapításához ennyi adat nyilván nem elegendő. Szembetűnő, hogy a terhelt csapágyak esetén elsősorban axiális irányban nőtt a rezgés erőssége.

A mérőpadon, az összrezgés-szinttel egy időben vettünk föl rezgésebbesség spektrumokat is a szabvány szerinti (10-1000 Hz) frekvenciatartományban. Ezeket összehasonlítva azt látjuk, hogy a hibás csapágyak spektrumaiban több a csúcs ugyan, de arra nem kapunk egyértelmű választ, hogy ezek miből erednek. Mindent összevéve tehát azt látjuk, hogy az ISO 10816-3 szerint értelmezett rezgésmérés adatainak kiértékelése nem ad elég információt a csapágyak meghibásodásáról. A mérési eredményeket elemezve csak annyit tudunk, hogy valami gond van, de a probléma természetéről részletes információ nem áll rendelkezésünkre.



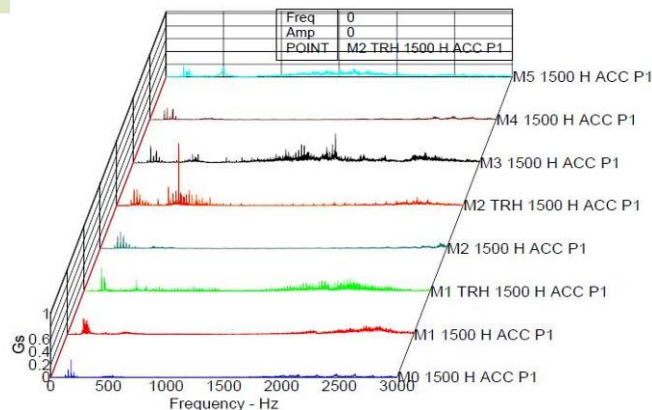
5. ábra A vertikális ISO 10816-3 mérések rezgésspektruma, 1500-as kísérleti fordulatszám

Voltak kísérletek az ISO 10816 szabványban rögzített frekvenciasávon túli (0 – 3,000 Hz) mérésekre is, de azok sem hoztak az eddigiekhez képest új információt. Ahogy az elméletileg is várható volt, a magasabb frekvenciatartományban a zajszint alá mentek le a rezgésebbesség jelek.

3. KIÉRTÉKELÉS A REZGÉSGYORSULÁS SPEKTRUMOK ALAPJÁN

A minél alaposabb elemzés céljából ugyanazokat a csapágyakon, ugyanolyan feltételek mellett rezgés gyorsulás méréseket is végeztünk. Ennek eredményeként kapott spektrumokból egyértelműen látszik, hogy a hibás csapágyakon mért jelek erősebbek, mint az új csapágyon mért jelek. Hasznosítható információt mindenek előtt a vízszintes irányban, 1500-as fordulatszámra rögzített spektrumok adtak (6. ábra).

Feltűnő a különbség az M1, M1 TRH, M2 TRH és M3 csapágyakon mért spektrumok között. Az is megfigyelhető, hogy az 1500-3000 Hz között rezgésösszetevők egy olyan csoportja jelenik meg, ami már lehet a csapágyhibák következménye. Ugyancsak megfigyelhető, hogy a terhelés hatására növekednek az amplitúdók (vö. M1 TRH és M2 TRH csapágyállapotok).



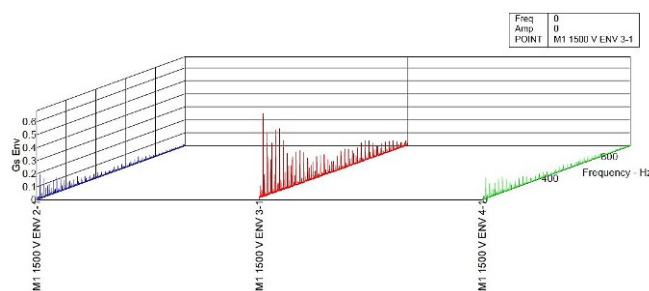
6. ábra A rezgés gyorsulás spektrumok összehasonlító „Waterfall”, vízszintes diagramja (1500 l/min, vízszintes)

4. KIÉRTÉKELÉS A REZGÉSGYORSULÁS ENVELOPE MÉRÉSI MÓDSZEREK ALAPJÁN

4.1 Összehasonlító mérés Envelope módszerrel

Az elemző munka kiterjesztése érdekében további, ún. poszt processzáló módszerek alkalmazását is szükségesnek tartottuk. Ezek egyike az ún. „Envelope”, vagy más néven gyorsulás burkoló görbék felvétele. Hangsúlyozni szeretnénk, hogy ugyanazokon a csapágyakon, ugyanolyan feltételek mellett végeztük a méréseket.

Az Envelope eljárás lényege, hogy a fölvetett rezgés gyorsulás jelből a nagy energiájú, kisfrekvenciás jeleket kiszűrjük, majd egy itt nem részletezett eljárás segítségével az ütés-szerűen ismétlődő összetevőket fölerősítjük (Berry J.E., 1992). Az Envelope mérési módszert kimondottan a csapágyhibák kimutatása érdekében fejlesztették ki, de az eljárás csak akkor hatékony, ha a méréshez a megfelelő szűrőt választjuk. Az általunk használt rezgés adatgyűjtő készülékben négy, különböző frekvenciasávban dolgozó szűrő közül lehet választani. A választás szempontjai között a gép fordulatszáma, és az ütésszerűen ismétlődő jel ütéseinak gyakorisága szerepel. A különböző szűrőkkel, de ugyanolyan körülmények között végzett mérések eredményeit 7. ábrán

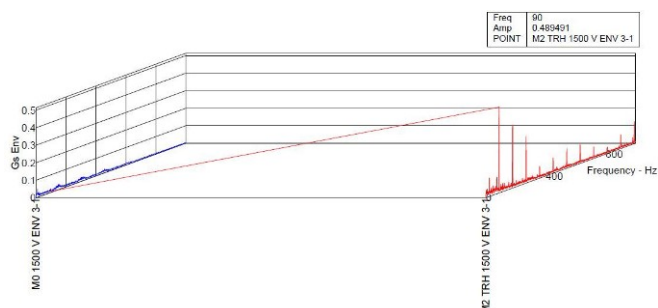


mutatjuk be.

7. ábra A különböző szűrők hatása azonos mérési feltételek esetén (M1 csapágy, függőleges irány, azonos frekvenciasáv, különböző 2-es (50-1000 Hz-kék), 3-as (500 Hz -10 kHz- piros), 4-es (5 kHz-40kHz-zöld) Envelop szűrő beállítás)

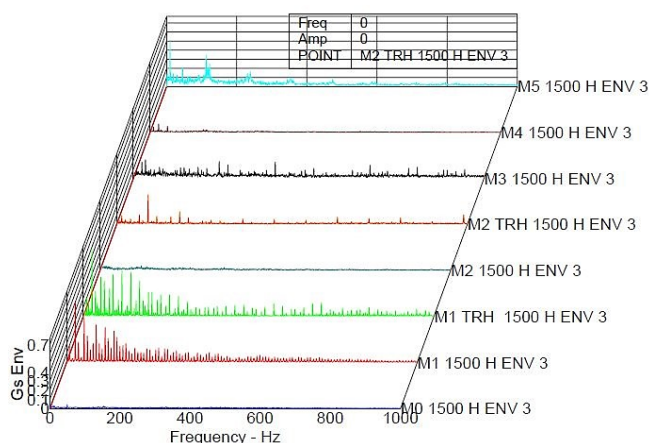
Látható, hogy az adott esetben csak a 3-as (piros színnel jelölt) (500 Hz -10 kHz tartományban érzékeny szűrő a megfelelő, hiszen a másik két spektrum alig ad használható információt.

Az Envelope módszerrel történő vizsgálatokat a hibátlan (M0) és a külső gyűrű mesterségesen előidézett sérüléssel járó csapágy (M2) méréseivel kezdtük. A kapott spektrumokat a 8. ábrán láthatjuk. Azonnal látszik, hogy a hibás külső gyűrűvel futó csapágyak nem csupán az általános rezgéserecsége növekedett meg, hanem annak spektrumában jóval erősebb összetevők jelennek meg, mint a hibátlan csapágy spektrumában.



8. ábra Hibátlan (M0) és külső gyűrű hibás (M2) csapágyak spektrumainak összehasonlítása (függőleges irány, 1500-as fordulatszám, 3-as 500 Hz -10 kHz-es Envelop szűrő)

A mérési eredmények értékelése során megfigyeltük, (Lásd 9. ábra) hogy az Envelope módszer nem csupán a külső gyűrű hibára érzékeny, hanem szemléletesen képes mutatni a tönkremenetel megjelenését mindegyik általunk előállított hiba esetében.

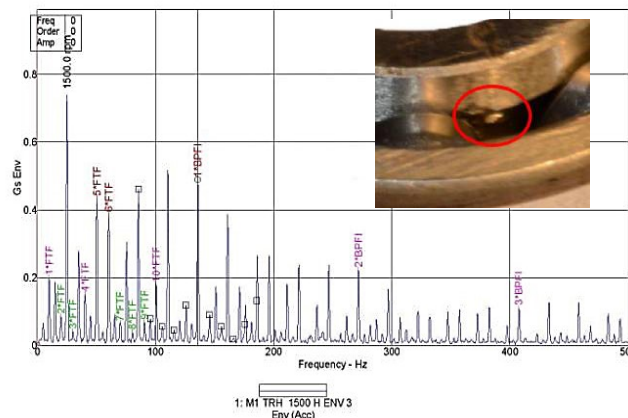


9. ábra A jó és rossz csapágyak Envelope spektrumainak axonometrikus ábrázolása vízszintes „Waterfall” diagramon (Vízszintes irány, 1500 1/min fordulatszám)

Mivel már az Envelope mérések első kiértékelési eredményei is rámutattak a módszer hatékonyságára, ezért az alaposabb elemzés érdekében célszerűnek tűnt a hibás csapágyak Envelope spektrumának egyedi vizsgálata is.

4.2 Egyedi Envelope rezgéspektrumok elemzése

Ahogy már korábban említettük, az Envelope mérési módszer nem csupán a csapágyállapot általános jellemzését teszi lehetővé, hanem a csapágy meghibásodás, csapágyon belüli meghatározására is alkalmas. Ennek szemléltetésére az M1 és M2 méréseket mutatjuk be. Ezeknél szándékosan idéztünk el belső, illetve külső gyűrű hibát annak érdekében, hogy a jelenséget mélyebben tudjuk elemezni. Az elemzést az adatfeldolgozó szoftver is segíti, mert az elemzést végző személy utasítása alapján a spektrumban megjelöli a belső gyűrű hibafrekvenciákat (BPFI), az egyszerűs-



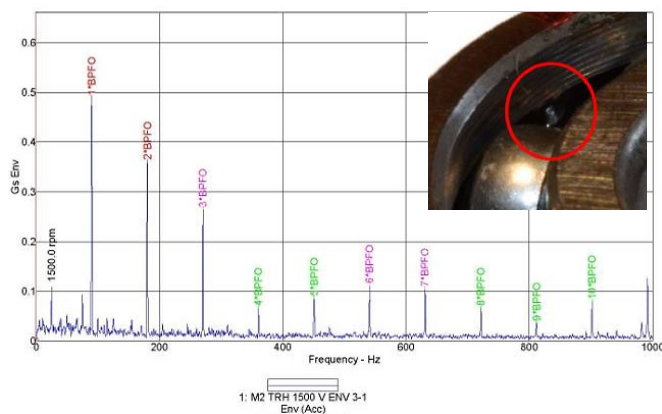
kosárfrekvencia oldalsávokkal (FTF) együtt.

10. ábra Belső gyűrű hibás csapágy (M1) Envelope spektruma, terhelt esetben (Vízszintes irány, 1500 1/min fordulatszám, 3-as szűrő)

A 10. ábrán annak a csapágyak (M1) a vízszintes irányban rögzített mérési diagramját látjuk, amelyen mesterséges sérülést idéztünk elő a belső gyűrűn. A mérést mindhárom fordulatszámom (500 1/min, 1000 1/min, 1500 1/min) elvégeztük, de a spektrumok közül csak az 1500 1/min fordulatszámhoz tartozót mutatjuk be. Ahogy már korábban is említettük, a szoftver a kezelő utasítására bejelölheti a csapágyhibához tartozó összetevőket, megkönnyítve ezáltal a rezgéselemző munkát.

A 11. ábrán a sérült külső gyűrűvel rendelkező csapágyon (M2) mért Envelope spektrumot láthatjuk. A mérést ebben az esetben is mindhárom fordulatszámom (500 1/min, 1000 1/min, 1500 1/min) elvégeztük, de a spektrumok közül itt is csak az 1500 1/min fordulatszámhoz tartozót mutatjuk be.

gördülőcsapágyak meghibásodását a kezdeti stádiumban jelezzék.



11. ábra Külső gyűrű hibás csapágy (M2) Envelope spektruma, terhelt állapotban (Függőleges irány, 1500 1/min fordulatszám, 3-as Envelope szűrő)

5. TOVÁBBI CSAPÁGYHIBA DETEKTÁLÓ ELJÁRÁSOK ELEMZÉSE

A csapágyhibák mesterséges kialakítása előtt a csapágyakból el lett távolítva a gyári kenőzsír, hogy a művelet könnyebben kivitelezhetővé váljon. A mérések elvégzése előtt az M0 kivételével, az összes csapágyat feltöltöttük kenőzsírral. Ezt követően zajlottak a SEE mérések (SEE = Spectral Emitted Energy = spektrálisan kibocsátott energia), amely sajnos nem vezetett eredményre. Az amplitúdókat illetően gyakorlatilag egyik fordulatszámon sem észleltünk számottevő különbségeket. A csapágyhibákat tehát ezzel a módszerrel nem tudtuk kimutatni. Feltételezhető, hogy a bőséges utókenés lehet az eredménytelen mérés okozója.

Történtek mérések az ún. HFD (High Frequency Domain = nagyfrekvenciás észlelés) mérési módszerrel is, amely a SEE-hez hasonlóan ugyancsak az adatgyűjtőt forgalmazó cégnél bejegyzett védjegy. A nagyszámú mérési adat ellenére nem sikerült általános érvényű következtetést levonni. Mindössze annyit tudtunk megállapítani, hogy a hibás csapágyak esetén a HFD érték általában nagyobb, mint a jó csapágnál. Megfigyeltük, hogy a fordulatszám növelésével a mért értékek is növekednek, de a táblázatban megadott határértékeket akkor sem lépték túl a mérési eredmények, amikor pedig nyilván hibás csapágyról volt szó. A mi kísérleteink során tehát a HFD nem vált be.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az ISO 10816-3 szabvány alapján történt mérésekből megállapítottuk, hogy a terhelés növekedésének hatására nőttek rezgésebség szintek, főként a horizontális és axiális irányban. Visszaigazoltuk azt a széles körben elfogadott álláspontot, amely szerint az ISO 10816-3 szabvány alapján történő mérések a gép műszaki állapotában bekövetkezett változást jól mutatják, de nem alkalmasak arra, hogy a

A rezgés gyorsulás spektrumokban mind a kisebb, mind pedig a nagyobb fordulaton megfigyelhető a csapágyhibáknak a spektrumra gyakorolt hatása. A rezgés gyorsulás spektrumokban a csapágyhiba jelenlétét a 200-500 Hz közötti rezgés komponensek és a 1500-3000 Hz között megjelenő zaj sáv mutatja.

A rezgésebség spektrumok esetében is egyértelműen megfigyelhető a csapágyhibák hatása a spektrumra. A rezgés gyorsulás spektrumokkal ellentétben, a rezgésebség spektrumokban nem figyelhető meg a hibák keltette rezgésnövekedés 600-, illetve 1000 Hz felett.

Megállapítottuk, hogy az Envelope módszer a szűrők helyes megválasztása esetén a csapágy hibafrekvenciákat legpontosabban az Envelope rezgés gyorsulás mérések segítségével lehet diagnosztizálni. Ez a mérési módszer mind a kisebb, mind pedig a nagyobb fordulatszámon egyértelműen mutatja a hiba jelenlétét. Ezen felül előnye, hogy nem csak a hiba tényének, hanem csapágyon belüli helyének kimutatására is alkalmas.

Nem kételkedünk sem a SEE, sem a HFD módszer hiba detektáló képességeiben, csupán annyit állítunk, hogy a mi kísérleteinkben nem vezetett eredményre egyik módszer sem.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 számú „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” című projekt támogatta.

HIVATKOZÁSOK

- SKF Zrt. (1994). Csapágyhibák és okai, Budaörs
- Pokorádi L. (2016). Modellek a műszaki biztonság-tudományban, *Gradus Vol 3*, No 2. pp. 92-100,
- Dömötör F., (1996). *A rezgésdiagnosztika elemei*, Budaörs,
- Szabó J. Z. (2010), *Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságának kutatása*, PhD doktori értekezés, Budapest
- Dömötör F. (2010). *Rezgésdiagnosztika I.* Dunaújvárosi Főiskola (DF), Dunaújváros, ISBN:978 963 87780 0 0
- Dombai B. (2015). *Kísérleti mérések gördülő-csapágyak meghibásodásainak rezgésdiagnosztikai vizsgálatára*, T-000137/FI12904/B, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépészeti és Biztonságttechnikai Kar, Budapest
- Berry J. E. (1992). Proven method for specifying both 6 spectral alarm bands as well as narrowband alarm envelopes

using today's predictive maintenance software systems,
Technical Associates Of Charlotte, Charlotte, USA



CAETS

„IFFK 2017” Budapest

Online: ISBN 978-963-88875-3-5

CD: ISBN 978-963-88875-2-8

Paper 19

Copyright 2017 Budapest, MMA.

Editor: Dr. Péter Tamás