

# CSAPÁGYHIBÁK FELTÁRÁSA IDŐTARTOMÁNYBELI MÓDSZEREKKEL

## DETECTION OF BEARING FAILURES USING TIME DOMAIN FEATURES

*Tóth Dániel, tanársegéd, toth.daniel@uni-miskolc.hu*  
*Dr. Takács György, egyetemi docens, takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu*  
*Dr. Szilágyi Attila, egyetemi docens, szilagyi.attila@uni-miskolc.hu*

**ABSTRACT.** Bearings are one of the most widely used machine elements. Their usage means risk for almost all forms of rotating equipment, such as pumps, machine tools, electric motors, generators, starters etc. Their operating properties impact the function of the whole machine, so defects should be detect as early as possible. This paper deals with vibration analysis techniques based on time domain features and presents special test methods.

### 1. BEVEZETÉS

A csapágyak az egyik leggyakrabban használt gépelemek, melyek rendkívül fontos szerepet töltenek be szinte minden forgógépben. Működési tulajdonságaik befolyásolják az egész gép működését. A csapágyazás hibája olyan meghibásodási sorozatot indíthat el a berendezésekben, amelyek akár több nagyságrenddel meghaladhatják a diagnosztikai vizsgálatok, illetve a csapágycsere költségeit is. A váratlan károsodások elkerülése érdekében elengedhetetlen a csapágyhibák korai diagnosztizálása [1,6].

Különböző technikák léteznek a csapágyak működési viszonyainak felügyeletéhez, amelyek segítenek meghatározni a csapágyhiba megjelenését. A leghatékonyabb csapágyvizsgálati módszerek közé tartoznak a rezgésdiagnosztikai elemzésen alapuló módszerek [9].

### 2. CSAPÁGYKÁROSODÁSOK

A csapágyak idő előtti tönkremenetelének oka lehet például a gondatlan kezelés, a számítottnál nagyobb terhelés, a nem elegendő vagy nem megfelelő kenés, a rossz hatásfokú tömítés vagy a túl szoros illesztések, melyek elégtelen belső csapágyhézagot eredményeznek [5]. Ezen tényezők mindegyike különleges csapágykárosodást okoz és a csapágyon rajta hagyja a maga speciális jelét. Egy károsult csapágyat megvizs-

gálva a legtöbbször véleményt lehet formálni a hiba okáról és ezt követően a szükséges intézkedéseket meg lehet tenni. A csapágykárosodások mindegyike jellegzetes hibákat okoz, melyeket elsődleges és másodlagos meghibásodásokra szokás osztani. Az elsődleges hibák közé sorolhatók a kopás, elkenődés, felületi károsodás, benyomódás, korrózió, és a villamos áram okozta károsodás. A primer károsodás tovább terjedéseként jelentkezhetnek a szekunder károsodások, mint például a lepattogzás és a repedés [4]. Gyakran előforduló csapágy meghibásodások a csapágygyűrű futófelületének kitöredezési hibái, a görgő vagy golyó lepattogzása, valamint a kosár tönkremenetelei.

### 3. REZGÉSDIAGNOSZTIKA

A rezgésdiagnosztika alkalmazásával a szerkezet megbontása vagy leállítása nélkül bármikor megállapítható a kérdéses egység várható élettartama, károsodásának mértéke, pillanatnyi állapota, majd ezek alapján egy esetleges beavatkozás szükségessége és ennek időpontja az üzemeltetés függvényében [2,3]. A csapágyak rezgésdiagnosztikai vizsgálataira különféle idő-, és frekvenciatartományon elvégezhető jelanalizációs technikák léteznek.

Helyi defektusok időtartományon való kimutatása úgy is lehetséges, hogy a rezgést monitoron jelenítik meg, esetleg kinyomtatják diagram formájában, majd ezeken olyan amplitúdó kiugrásokat figyelnek meg, amelyek egy-egy jellegzetes helyi defektushoz köthetők. Ezzel kapcsolatosan egyes szerzők [1,8] olyan módszereket alkalmaztak, amikor egy meghatározott számú amplitúdó egy előre beállított értéket meghalad. A sáváteresztő szűrési technikák jól alkalmazhatók időtartományon történő vizsgálatok esetén. Ennek alapját az a jelenség képezi, mely szerint a helyi defektusból származó impulzív jellegű terhelés nagyfrekvenciájú rezgéseket kelt, melyeket olyan jelátalakítók

segítségével detektálhatunk, melyek sajátfrekvenciái erre a tartományra hangoltak [7].

A rezgésdiagnosztikai adathalmaz frekvenciatartományon történő feldolgozása - melyet másként spektrumanalízisnek is neveznek - az egyik leghatásosabb gépállapot-felmérő eszköz. A csapágyhibák elemzése esetén ez a módszer képes arra is, hogy kimutassa a különböző csapágyelemek sérülését. Ismeretes, hogy a csapágy, mint rugalmas test, azzal az alapvető mechanikai tulajdonsággal rendelkezik, hogy leginkább egy-egy bizonyos sajátfrekvencián képes adott irányokban rezgéseket végezni. A felvett rezgésjel spektrumának elemzésével ezek a jellegzetes frekvenciák láthatóvá válnak, és az aktuális gépfordulatszám figyelembevételével hozzárendelhetők a csapágyalkatrészekhez. Defektus megjelenése és továbbfejlődése esetén e jellegzetes frekvenciákon kibocsájtott rezgési energia megváltozik, és ez a spektrumban is megjelenik. A spektrumanalízis nyújtotta lehetőségekre támaszkodva hasznos információk kaphatóak a rezgés jellegéről, a hibák (csapágyon belüli) elhelyezkedéséről, és azok relatív nagyságáról [9,10].

#### 4. A CSAPÁGYVIZSGÁLÓ BERENDEZÉS

Kísérleti úton vizsgálóberendezés segítségével határozható meg a csapágyak állapota. Ilyen berendezés található a Miskolci Egyetem, Szerzőgépek Intézeti Tanszékén (1. ábra). A vizsgálóberendezés alkalmas csapágyak fárasztására és mérésére (rezgésvizsgálatára) egyaránt.



1. ábra. A csapágyvizsgáló berendezés

Az ábrán látható baloldali orsó kizárólag a fárasztást végzi, a jobb oldalon lévő pedig a vizsgálo orsó. A két orsó csapágyazásukban különbözik egymástól. A fárasztó orsó masszív,

kétsoros, önbeálló golyóscsapágyakon, a mérő orsó pedig siklócsapágyakon fut. Így küszöbölhető ki a masszív gördülő csapágyazásból eredő rezgések. A vizsgálandó csapágyak a tengelycsapokra illeszthető szerelt házban helyezük el. Az orsókat egy frekvenciaváltóval vezérelt villamosmotor hajtja. Az ábra alsó részén figyelhető meg a hidraulikus munkahenger, amely az adott műterhelést biztosítja. A mérések során a vizsgálóorsó 1500 [min<sup>-1</sup>] fordulatszámon működik, míg a hidraulikus munkahenger 1 [kN] műterhelést fejt ki, így a mérőorsó siklócsapágyának élettartama csak elhanyagolható mértékben változik a vizsgálatok során.

#### 5. A VIZSGÁLATOK BEMUTATÁSA

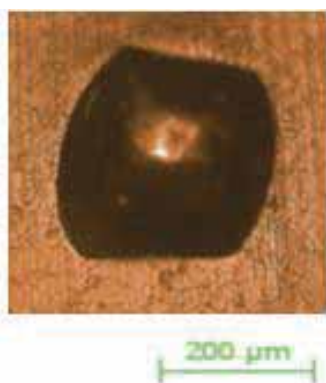
A csapágyak állapotfelmérése laboratóriumi körülmények között kétféle módszerrel valósítható meg. Az egyik módszer, amikor a vizsgált csapágyat fárasztóvizsgálatnak vetik alá és tönkremenetelig járatják. A fárasztóvizsgálatok során a hőmérsékletet, illetve a rezgésértékek trendszerű változását mérik, esetleg a kenőanyag összetétel változást. Az eljárás viszonylag hosszú ideig tart, növelt fordulatszámmal, a csapágy túlterhelésével, vagy a kenőanyag megvonásával a tönkremenetel gyorsítható, szimulált körülmények közötti mérések végezhetőek [6]. A másik módszer, amikor az adott csapágyon egy vagy több mesterségesen generált hibát hoznak létre, és ennek hatását elemzik. A hiba létrehozásához különleges technika szükséges, ugyanis a csapágy anyaga nagy keménységgel rendelkezik (HRC 58 – HRC 65).

Jelen tanulmányban egy újfajta, speciális módszerrel végeztünk vizsgálatokat. Kis kiterjedésű, jól reprodukálható mesterséges hibát tudtunk létrehozni az Oxford Precision HR - 150A típusú keménységmérő berendezés segítségével. A csapágy kiválasztásánál a legfontosabb kritérium a tesztelésre való alkalmasság volt. Olyan csapágyat kellett választani, amely roncsolásmentesen szétszerelhető. Ezen szempontok és a rendelkezésre álló források figyelembe vételével, 6304 típusú, műanyag kosaras, egysorú, mélyhornyú golyóscsapágyra esett a választás. A csapágy szétszerelésénél először a műanyagkosarat kellett eltávolítani, majd a csapágy belső gyűrűjét kellett kisorsolni, így a csapágy sérülésmentesen szétbonthatóvá vált. Ezután a keménységmérő segítségével lenyomatot lehetett készíteni a csapágy különböző elemeire. A 2. ábrán látható a kis kiterjedésű hiba a csapágygyűrűn.



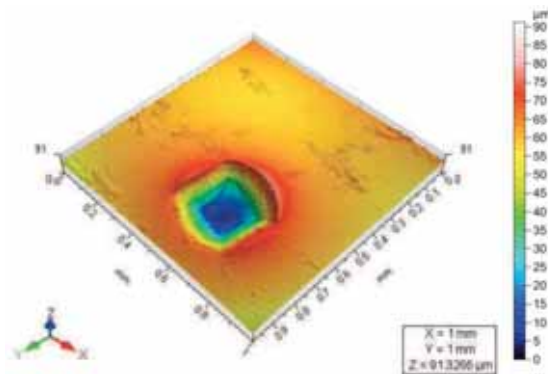
2. ábra. A mesterségesen létrehozott pontszerű meghibásodás

Az Oxford Precision keménységmérő segítségével háromféle terhelés hatását lehetett megvizsgálni. A 60, 100 és a 150 kilogrammos lenyomat hatását tanulmányoztuk. A hiba geometriai ellenőrzését a rendelkezésre álló Carl Zeiss Jenavert polarizációs mikroszkóp és AltiSurf 520 típusú mérőgép segítette. A 100 kilogrammos terhelés hatása figyelhető meg a 3. ábrán.



3. ábra. Mesterséges hiba a csapágyűrű futófelületén

A 100 kilogrammos terhelés hatására átlagosan 330  $\mu\text{m}$ , míg a 60 kilogrammos terhelés esetén 250  $\mu\text{m}$  átmérőjű hiba keletkezett. További geometriai ellenőrzéseket tett lehetővé az AltiSurf 520 mérőgép, így pontosan meg lehetett határozni a mélységet (4. ábra).



4. ábra. A mesterséges hiba 3D képe (100 kg-os terhelés)

A geometriai mérések szerint a lenyomat átlagos mélysége 60 kilogrammos terhelés esetén 60  $\mu\text{m}$ , 100 kilogrammos terhelésnél pedig 90  $\mu\text{m}$ . Az 5. ábrán látható a 150 kilogrammos terhelés hatása.



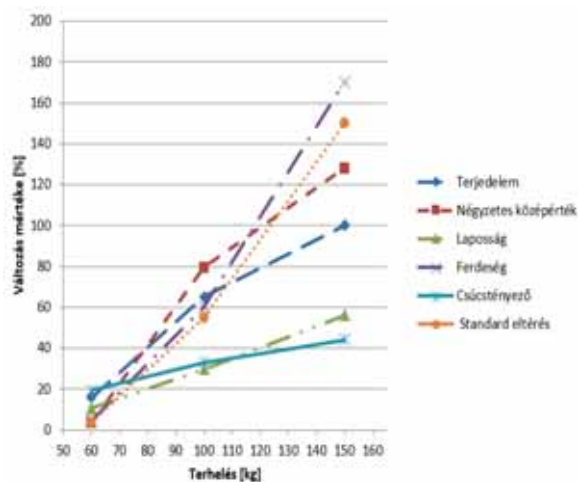
5. ábra. Mesterséges hiba a csapágyűrű futófelületén

A 150 kilogrammos terhelés hatására a hiba átlagosan 522  $\mu\text{m}$  átmérővel és 110  $\mu\text{m}$  mélységgel rendelkezett.

## 6. A MÉRÉSEK KIÉRTÉKELÉSE

A kísérletek során először rezgésmintát vettünk a vizsgált csapágyról hibamentes állapotban. Ezt követően szétszereltük a csapágyat, majd létrehoztuk a mesterséges hibát a keménységmérő berendezés segítségével. Ezután ismét rezgésmérés következett. A rezgésvizsgálatoknál a 4. pontban bemutatott csapágyvizsgáló berendezést alkalmaztuk. A rezgésméréshez Kistler gyártmányú 8632C50 típusú, piezoelektromos elven működő gyorsulásmérő szenzort választottuk ki. A mintavételi frekvencia 9600 [Hz], míg a minták elemszáma 16384 volt. A rögzített adatok kiértékelése időtartományon, statisztikai indexek segítségével történt. A kiértékeléshez a Maple matematikai szoftverben

szimbolikus nyelven megírt programkódot alkalmaztuk. Kivehető, hogy a statisztikai jellemzők a mesterséges hiba létrehozása után jelentősen megnöttek. A 6. ábrán a sztochasztikai jellemzők százalékos növekménye figyelhető meg.



6. ábra. A sztochasztikus jellemzők változása a terhelés függvényében

Ahogy a diagramon is megfigyelhető, a ferdeség, a négyzetes középérték és a standard eltérés (szórás) voltak a legérzékenyebbek erre a mesterséges hibára, mindazonáltal a másik két index (a laposság és a csúcstényező) is jól korrelál.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A csapágyvizsgálatok során a mesterségesen generált hibák okozta válaszjeleket elemezve, mélyebb diagnosztikai vizsgálatok végezhetőek el. Jelen tanulmány keretei között egy új, speciális módszer segítségével lett létrehozva mesterségesen generált hiba, majd ennek hatását elemeztük. A fokozódó rezgésértékek, valamint a rezgés nagyságának trendszerű időbeli változása jól jelezte a nem megfelelő csapágyállapotot. A kísérletek során az időtartománybeli vizsgálatokon alapuló módszerek jó megbízhatóságot mutattak. A sztochasztikus jellemzők, mint a jelek értékei eredményesen használhatók a csapágydiagnosztikai állapotfelméréshez.

## 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.



## 9. IRODALOM

- [1] Wieslaw J. Staszewski, Amy N. Robertson: Time–frequency and time–scale analyses for structural health monitoring. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2007.
- [2] Dömötör Ferenc: *Rezgésdiagnosztika I.* Dunaújváros, 2008.
- [3] Dömötör Ferenc: *Rezgésdiagnosztika II.* Dunaújváros, 2010.
- [4] SKF, *Csapágyhibák és okai*, Termékinformáció 401. <http://www.skf.com/files/343743.pdf>
- [5] Eugene Matzan: Detecting Premature Bearing Failure. *Machinery Lubrication magazine*, May 2007.
- [6] Tóth Lajos Tibor: *Tranziens és kváziperiodikus folyamatok analízise az idő-frekvencia tartományban.* PhD értekezés, Miskolc, 2011.
- [7] Ladányi Gábor: *Diagnosztika a Karbantartásban.* Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, 2016.
- [8] X. Tian, F. Gu, D. Zhen, V. T. Tran, A. D. Ball: A study on transient enhancement for fault diagnosis based on an active noise control system. In: *CM 2012 and MFPT 2012*, London.
- [9] S. Patidar, P. K. Soni: An Overview on Vibration Analysis Techniques for the Diagnosis of Rolling Element Bearing Faults. *IJETT*, May 2013.
- [10] P. P. Kharche, S. V. Kshirsagar: Review of Fault Detection in Rolling Element Bearing. *IJRAE*, Vol. 1 Issue 5, June 2014.