

# **FORGÓGÉPEK EGYTENGELYŰSÉGI HIBÁINAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TENGELYKAPCSOLÓK ALKALMAZÁSÁVAL**

Vecseri András

**Absztrakt:** A forgógépek rendellenes működését leggyakrabban kiegyensúlyozottsági vagy egytengelyűségi hibára vezethetjük vissza. Ezek a hibák a tengelyek, csapágyak, tengelykapcsolók túlterhelődését okozhatják. Az alkatrészek károsodása mellett számolni kell a nagyobb terhelés miatt bekövetkezett többlet energiafelhasználásról. A téma aktualitását a komplex gépek és a hozzájuk tartozó magas fenntartási költségek adják. Az alábbi cikkben egy rezgéstani vizsgálatokra kialakított berendezésen módszeresen beállított tengelyhibák mellett, különböző tengelykapcsolókat felhasználva kerül mérésre a villamos hálózathoz felvett teljesítmény. A tengelyhibák rezgésméréssel is könnyen felismerhetők, vizsgálat alá kerülnek a rezgésmérésből származó spektrumok az ISO 10816 szabvány alapján.

**Abstract:** The abnormal operation of rotating machines is most often caused by balance error or misalignment. These faults can cause overloading of the shafts, bearings and couplings. In addition to part damage, extra energy consumption due to increased load should be considered. The topicality of the article is due to the complex machines and their high maintenance costs. In this paper, the power absorbed is measured with various couplings in addition to errors on a special equipment. Misalignments can also be easily detected by vibration measurement, and spectra from vibration measurement are tested according to ISO 10816.

*Kulcsszavak:* egytengelyűség, tengelyhiba, tengelykapcsoló, rezgésmérés

*Keywords:* misalignment, maintenance, vibration, measurement

## **1. Bevezetés**

Az ipari termelés megköveteli, hogy a bonyolult és komplex berendezések üzembiztosan működjenek. Egy adott üzemnél fontos szerepet tölt be a karbantartási rendszer, amely biztosítja a kívánt produktivitást. Napjainkban előtérbe került a szabványos és megelőző karbantartási stratégia, amelyek alkalmazásával egy olyan gondolatmenet jött létre, amely segítségével jelentős mértékben tudjuk optimalni a termelést. A gépek kifogástalan működtetéséhez rendszeres diagnosztikai vizsgálatok szükségesek (Dömötör F. et al., 2008).

Létfontosságú az esetlegesen felmerülő hibák időbeni diagnosztizálása, mivel gondoskodnunk kell a termelőrendszer zökkenőmentes folyamatáról. A műszaki diagnosztika az egyes alkatrészek állapotáról nyújt átfogó információt a berendezések szétszerelése nélkül (Nagy. I., 2006).

A technológiai fejlődés egyre összetettebb gépeket eredményez, amelyek magukkal vonzzák a magasabb fenntartási költségeket. Ezen berendezések rendszeres ellenőrzése modern, fejlett diagnosztikai eszközök alkalmazásával érhető el. Az így meghatározott élettartam- és energiafelhasználási vizsgálatok kitűnően tükrözik a téma aktualitását.

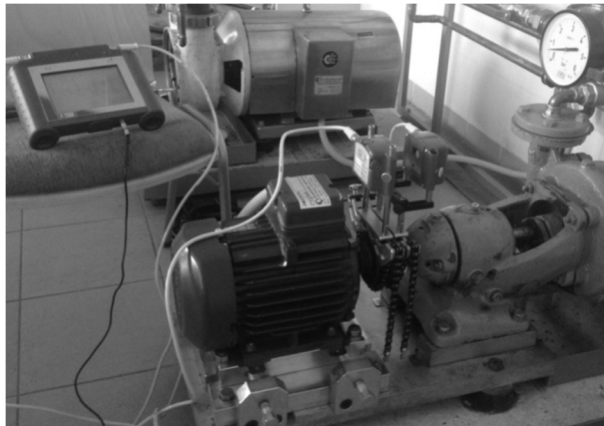
A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán található kísérleti berendezésen előre meghatározott, módszeresen beállított tengelyhibákat valósítottam meg. Munkám során olyan tengelybeállítási hibákat vizsgáltam, amelyben a két gépegység

geometriai tengelyvonala adott hibát zár be. Minden egyes beállított hibánál elvégeztem a kapott eredmények matematikai-statisztikai elemzését, továbbá vizsgáltam a csapágyrezgéseket és a tengelybeállítás gazdasági hatásait. A mérnöki gyakorlatban leggyakrabban az összetett tengelyhiba valósul meg, de esetemben a laboratóriumi körülmények lehetővé teszik a tiszta szög- és párhuzamossági hiba diagnosztizálását.

## 2. A vizsgált gépcsoport

A kísérletek egy 2,2 kW névleges teljesítményű háromfázisú aszinkronmotorból és egy bakcsapágyas szivattyúból álló speciális berendezésen (1. ábra) kerültek mérésre, az erőgép és a munkagép közötti tengelykapcsolatot egy tengelykapcsoló biztosítja. A külön rezgésdiagnosztikai vizsgálatokra tervezett gépláncban lévő szivattyú zárt rendszerben egy tartályon keresztül keringteti a vizet. A gépcsoport beton alapon és gumiból készült rezgéscsillapító elemeken nyugszik. A nyomócsonkon elhelyezkedő szelep segítségével a szivattyút a névleges szállítómagasság mellett üzemelt.

1. ábra: Kísérleti berendezés



A tengelybeállításnál és a rezgésmérések során használt mérőeszközök:

- FixturLaser lézeralapú tengelybeállító eszköz
- SPM Leonova Infinity rezgésmérő műszer
- FLUKE 435 Series II hálózatanalizátor

## 3. Lézeres egytengelyűség beállítás

Az erőgép és munkagép geometriai középvonalainak tökéletes egybeesése kulcsfontosságú mind a berendezések élettartamára, mind az adott gépegység energiafelhasználására vonatkozóan. Az optimális tengelybeállítás elvégzésére különböző mérőórák, műszerek állnak rendelkezésünkre. A leggyorsabb és legpontosabb tengelybeállítási módszer a lézeres egytengelyűség beállítás.

A mérések során a lézertektorokat a tengelykapcsoló egy-egy felére kellett rögzíteni, mivel a villanymotor és a bakcsapágyas szivattyú rövid tengelyei nem

tették lehetővé a tengelyre való felrögzítést (L. Hodossy, 2012). Következő lépésként meg kellett adni a tengelyállás kalkulációjához szükséges paramétereket, távolságokat. A készülék kijelzőjén található dőlésmérő és vízmérték használatával a lézer adó-vevőket először 9, majd 3, végül 12 órába kellett forgatni, ezzel meg lehet határozni a függőleges és vízszintes eltolódást a tökéletes egytengelyűséghez képest (A. Simm et al., 2016).

#### **4. Rezgésmérés**

A mérések előtt meg kellett határozni a mérőpontok helyzetét. Forgógépek esetén a rezgéseket a csapágyházaknál célszerű mérni, mivel a magasfrekvenciájú jelek itt mérhetők a legpontosabban. A villanymotor és a szivattyú is 2-2 db csapágyat tartalmaz, ezért csapágyanként 3 mérési pont került kialakításra, vízszintes, függőleges és axiális irányban. A villanymotorban 6205 FAG, míg a szivattyúban 6305 MGM radax típusú csapágyak vannak.

A rezgésérzékelő menetes orsóval rendelkeznek, ezért az egyes mérési pontokon menetes furatok vannak, ahová a rezgésmérőfej stabilan rögzíthető.

#### **2. ábra: Fordulatszám és rezgésmérés a Leonova Infinity mérőműszerrel**



Az SPM cég Leonova Infinity rezgésmérő készülékével az alábbi adatokat mértem:

- tengely fordulatszáma
- ISO 2372 VIB axiális (tengelyirányú rezgésebesség mérése)
- ISO 10816 szabvány szerinti vízesés diagramok

A villanymotor hőmérsékletétől függően 2800 és 3000 1/min között ingadozott. A fordulatszám mérése a 2. ábrán, a mért értékek pedig a 3. ábrán láthatók. Minden egyes mérésnél a fordulatszám rögzítésre került, ami átlagban 2878 1/min-re adódott. Az aszinkronmotor adatai szerint a névleges fordulatszám 2855 1/min, tehát a mérések közel pontosak voltak. A melegedési fázisban a fordulatszám értéke jelentősen változott (Juan L. F. Chacon et al., 2014).

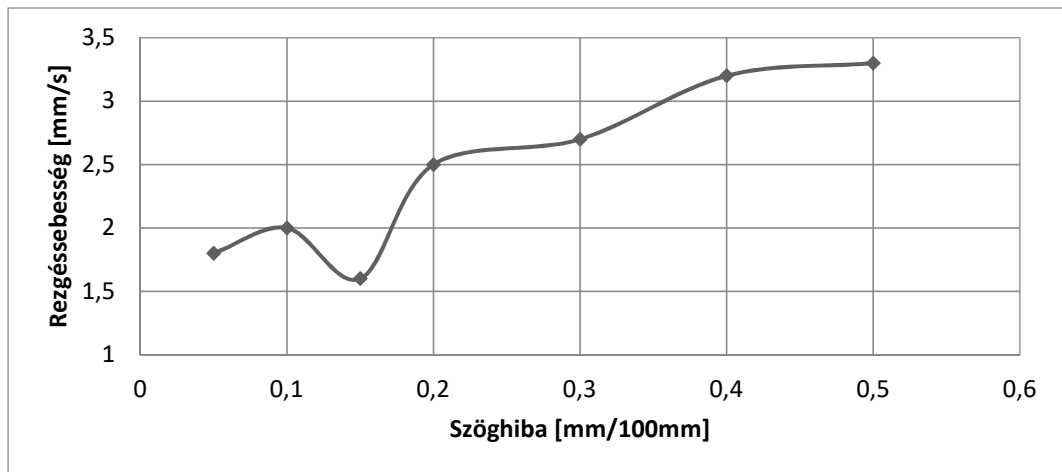
3. ábra: Mérésekénti fordulatszám



#### 4.1. ISO 2372 szabvány szerinti mérések

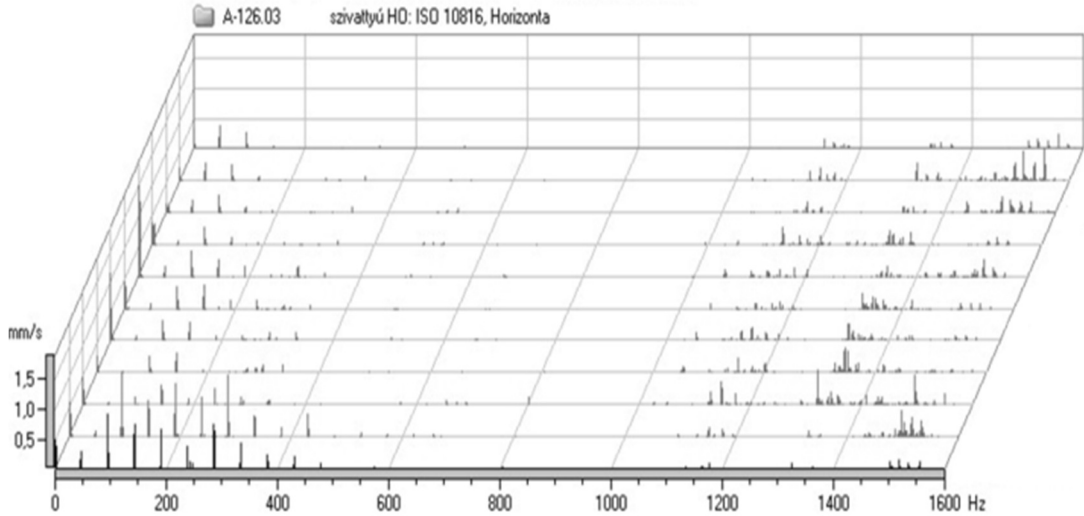
A kísérleti berendezést a szabvány szerint egy olyan csoportba soroltam, ahol 15 kW névleges teljesítmény alatti villanymotorok vannak (C. Verucchi et al., 2016).

4. ábra: Rezgésebbesség változása a tiszta szöghiba függvényben tengelyirányban



A 4. ábrán látható tengelyirányú mérésnél a rezgésebbesség kb. 0,2 mm/100mm szöghibától folyamatosan emelkedett. A (C. Verucchi et al., 2016) és (J. Yao et al., 2016) szakirodalom szerint az axiális irányú méréssel kimutathatjuk a szögbeli eltéréseket. Esetemben ezt a megállapítást meg tudom erősíteni, a vízszintes és függőleges irányú mérések nem mutattak jelentős rezgésebbesség változást a tengelybeállítási hiba változtatásával, amennyiben a szöghibát 0,6 mm/100mm értékig vizsgáljuk.

### 5. ábra: Vízésés diagram



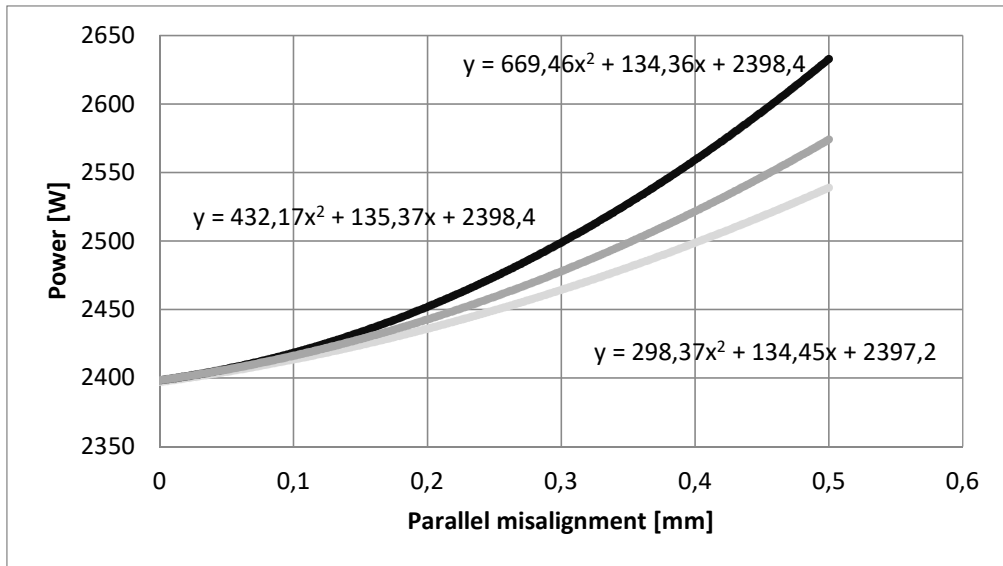
Az 5. ábrán egy ún. vízésés diagram látható. A vízszintes x tengelyen a frekvencia, míg a függőleges y tengelyen a rezgéssebesség került feltüntetésre. A „z” irányban kifelé haladva pedig az egyre növekvő tengelyhibák mérései kerültek ábrázolásra. A kis frekvencia értékeken létrejövő nagy amplitúdójú jelek a párhuzamos és szöghibákat jelölik (V. Barzdaitis et al., 2004) és (Z. Abidin et al., 2014). Az 1000 Hz feletti frekvencia tartományban lévő jelek az aszinkronmotor kalickarúdjainak illetve a gördülőelemek elhaladási frekvenciáit ábrázolják.

### 5. Teljesítményfelvétel mérése

Ha egy gépegység – teljesítményétől és szabványtól függően - jelentős mértékű tengelyhibával rendelkezik, akkor a csapágyakban ébredő erők nagysága megnő, a tengelykapcsoló feszül, a zajhatás nagyobb lesz (L. Hodossy, 2012) A karbantartási költségek elemzését szem előtt tartva egy hálózatelemző segítségével mértem a hálózatról felvett teljesítményt miközben előre meghatározott tengelyhibákat állítottam be.

Esetemben a FLUKE cég 435 teljesítmény analizátorát használtam méréseim során, amely áramerősség, feszültség, impedancia, teljesítmény és frekvencia mérésére alkalmas.

6. ábra: Különböző tengelykapcsolók viselkedése tiszta párhuzamossági hibánál

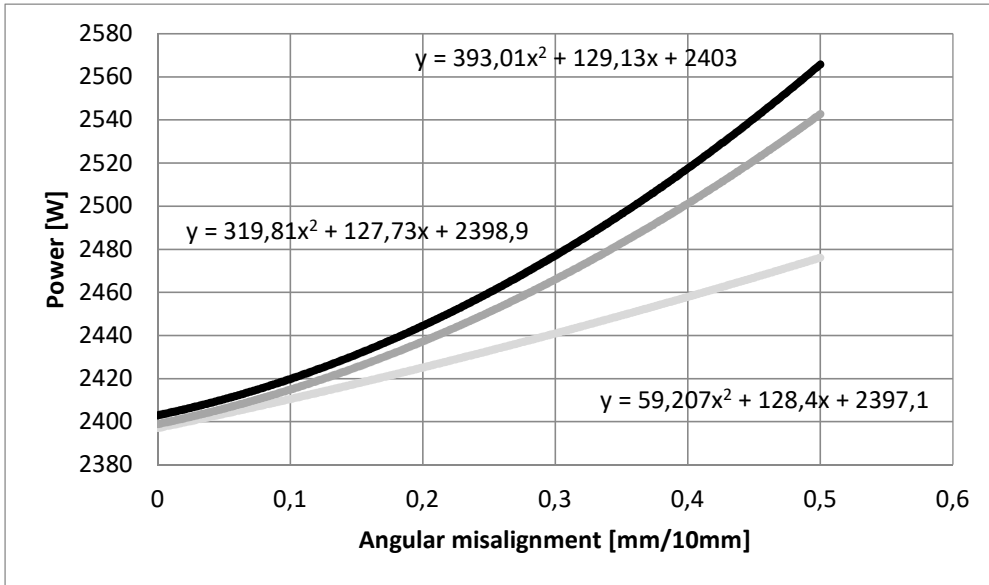


A 6. ábrán három különböző tengelykapcsoló alkalmazásával mérésre került a hálózathoz felvett teljesítmény. Minden egyes tengelykapcsolónál ugyanakkora egytengelyűségi hiba került beállításra és így könnyen összehasonlítható az egyes tengelykapcsolók közötti különbség. Mindhárom típusnál a tökéletes tengelybeállításnál a villanymotor kb. 2400 W teljesítményt vesz fel. Ahogy növeljük a párhuzamossági hibát az egyes tengelykapcsolók más-más jelleggörbét vesznek fel a hiba függvényében.

Az alsó vonal a négyelemes gumidugós, a középső az Oldham-, a felső pedig a hatelemes gumidugós tengelykapcsoló jelleggörbáját jelöli. Jól látható, hogy a négyelemes gumidugós kivitel viseli el legjobban a párhuzamossági hibát, ennél a típusnál a legkisebb a hálózathoz felvett teljesítmény változása. A mért értékekhez trendvonalat rendeltem, amelyen másodfokú görbét állítottam be. A (V. Barzdaitis et al., 2004) szakirodalom is másodfokú egyenlettel közelíti a teljesítményfelvételt a tengelyhiba függvényében.

A másodfokú ismeretlen együtthatója remekül tükrözi az adott tengelykapcsolóhoz tartozó állandót. Ennek segítségével egy „k” tengelykapcsoló tényezőt is be lehet vezetni.

7. ábra: Különböző tengelykapcsolók viselkedése tiszta szöghibánál



A 7. ábrán az előző diagramhoz képest tiszta szöghiba mellett történtek a mérések. Itt is jól elkülönül a három tengelykapcsoló típus, a diagram szerint a tiszta szöghibát is a négyelemes gumidugós tengelykapcsoló viseli el a legjobban. A két diagram összehasonlításából következik, hogy a szögbeli eltérést mindhárom tengelykapcsoló jobban viseli illetve kisebb a hálózatból felvett teljesítmény.

Mivel a villanymotor névleges teljesítménye alacsony, ezért a minél kisebb elemszámú gumidugós tengelykapcsoló lenne a megfelelő (M. Nakhaeinejad et al., 2009). A kísérletek során a négyelemes volt a legkisebb, de háromelemes is kapható kereskedelmi forgalomban. Utóbbi típus alkalmazásával még kedvezőbb eredményeket érhetünk el. A hatelemes gumidugós tengelykapcsoló a merev kialakítása miatt nehezebben viseli el az egytengelyűségi hibát, ez kiválóan látszik a diagramokon.

## 6. Összefoglalás

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karának diagnosztikai laboratóriumában található villanymotorral hajtott szivattyú kísérleti berendezésen egytengelyűségi hibából adódó rezgésdiagnosztikai méréseket végeztem el. A kutatás során a tengelyhibák berendezésre gyakorolt hatásainak elemzését tűztem ki célul. A mérések során előre meghatározott tengelyhibákat állítottam be speciális egytengelyűség beállító készülékkel.

A gépegység folyamatos üzemelése mellett mértem az egyes csapágyak rezgéssel kapcsolatos paramétereit. A rezgésmérő mérőműszer rögzítette a mért adatokat és egy külön szoftver segítségével pontos képet kaptam az egyes csapágyak állapotáról. A csapágyakat lökésimpulzus módszerrel is vizsgáltam, ennek segítségével megállapítottam, hogy a bakcsapágyas szivattyú mindkét csapágya cserére szorul. A különböző tengelykapcsolók alkalmazásával megállapítottam,

hogy a tiszta szögbeli tengelyeltéréseket jobban viseli a géplánc. Az felszerelt tengelykapcsolók közül mind a párhuzamossági, mind a szögbeli hibákat a négyelemes gumidugós tengelykapcsoló viselte el a legjobban. Az Oldham ill. a hatelemes gumidugós tengelykapcsoló merevnek bizonyult. A felállított jelleggörbék egyenleteinek köszönhetően sikerült egy, a tengelykapcsoló típushoz tartozó ún. „k” tengelykapcsoló tényezőt meghatározni.

A rezgésdiagnosztika egyre nagyobb jelentőséggel bír, sokan kezdik felismerni jelentőségeit és a benne rejlő lehetőségeket. Érdemes ezzel foglalkozni, hiszen a megfelelő tengelybeállítással jelentős karbantartási költségek takaríthatók meg. A javítás, alkatrészek cseréje előre ütemezhetővé válik, így jelentősen csökkenni fog a váratlan leállások valószínűsége. Kijelenthető, hogy az ideális tengelybeállítás hosszú távon gazdasági előnyökkel jár.

## Irodalomjegyzék

- Dömötör F. et al.(2008): *Rezgésdiagnosztika I. kötet*, Dunaújváros, Dunaújvárosi Főiskola Kiadói Hivatal, 1-139. p. 277–361. p.
- Nagy. I. (2006): *Műszaki Diagnosztika I.*, Paks, Delta-3N Kft., 156-200. p.
- L. Hodossy (2012): *Elektrotechnika I.*, Edutus College, Tatabánya, p. 47–91.
- Juan L. F. Chacon, E. Artigao Andicoberry, V. Kappatos, G. Asfis, T.Gan, W. Balachandran (2014): Shaft angular misalignment detection using acoustic emission, *Applied Acoustics* 85, p. 12–22
- A. Simm, Q. Wang, S. Huang, W. Zhao (2016): Laser based measurement for the monitoring of shaft misalignment, *Journal of the International Measurement Confederation, Measurement* 87, p. 104–116.
- C. Verucchi, J. Bossio, G. Bossio, G. Acosta (2016): Misalignment detection in induction motors with flexible coupling by means of estimated torque analysis and MCSA, *Mechanical Systems and Signal Processing* 80, p. 570–581.
- J. Yao, B. Tang, J. Zhao, (2016): A Fault Feature Extraction Method for Rolling Bearing Based on Pulse Adaptive Time-Frequency Transform, Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration, p. 1–12.
- V. Barzdaitis, V. Zemaitis, K. Zebelys, Z. Pocius, P. Mazeika (2004): Condition monitoring of roller bearings using different diagnostic methods, *Diagnostyka* 30' Kaunas University of Technology, Lithuania
- Z. Abidin, A. I. Mahyuddin, W. Kurniawan, (2014): Rolling bearing damage detection at low speed using vibration and shock pulse measurements, *ASEAN Engineering Journal Part A*, Vol4 No 2, p. 6–21.
- M. Nakhaeinejad, S. Ganeriwala, (2009): Observations on dynamic responses of misalignments, TechNote, SpectraQuest Inc., Issuu, Digital Publishing Platform
- ISO 2372: Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s
- ISO 10816: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts