

3.09
3.10

Rezgésdiagnosztikai vizsgálat tengelybeállítási hibák meghatározására

Forgács Endre–Kun Balogh Attila–Terpó György
Szegedi Tudományegyetem, Műszaki Főiskolai Kar

*Tárgyszavak: rezgésdiagnosztika; állapotfigyelés; tengelykapcsoló;
tengelybeállítás.*

Bevezetés

A rezgésdiagnosztika mint az állapotfigyelő karbantartás meghatározó eleme manapság egyre nagyobb teret nyer a vállalatok karbantartási rendszerében. Ez talán magyarázható azzal a ténnyel, hogy egyre több kézzelfogható eredményt mutat ez a tudományág a gyakorlati életben. Azonban nem tekinthető teljesen kiforrott rendszernek, hiszen még sok megválaszolatlan kérdés áll a témával foglalkozó szakemberek előtt.

Munkánk során egy négyelemes rugalmas gumidugós és egy Oldham típusú tengelykapcsoló rezgéstani viselkedését vizsgáltuk meg diagnosztikai módszerek segítségével. A rezgéseképeket különböző mértékű, előre meghatározott párhuzamossági, szög-, valamint összetett hibánál vettük fel.

Célunk egy olyan módszer kidolgozása volt, amely lehetővé teszi hogy rezgésvizsgálattal megállapítható legyen az egytengelyűtlenség mértéke, és a gyakorlatban is alkalmazható határértékeket határozzunk meg. A mérési eredmények elemzésével olyan törvényszerűségeket kellett keresni, amelyek a kérdéses típusú tengelykapcsolóra jellemzők, egy adott típusú beállítási hiba mellett.

1. Gépek állapotának minősítése rezgésméréssel

Az ISO 2372-es szabványa „Általános előírások forgógépek rezgés-erősségének vizsgálatára és értékelésére” címmel foglalkozik a minősítés kérdésével. A szabvány szerint az előre meghatározott pontokon mért rezgésebesség-értékek közül a legnagyobbat kell mértékadónak

tekinteni, s a gépet ez alapján lehet úgynevezett rezgésereősségi fokozatba sorolni, amelynek határértékei a következı táblázatban szerepelnek (A: jó, B: megfelelı, C: nem megfelelı, D: elfogadhatatlan).

1. táblázat

Rezgésereősség-tartományok a gépek minısítéséhez

A rezgésereősség tartománya	A rezgéssebesség effektív értéke, mm/s	A gép minısítése			
		I. osztály	II. osztály	III. osztály	IV. osztály
0,28	0,28	A	A	A	A
0,45	0,45				
0,71	0,71				
1,12	1,12	B	B	B	B
1,8	1,8				
2,8	2,8	C	C	C	C
4,5	4,5				
7,1	7,1	D	D	C	C
11,2	11,2				
18	18				
28	28				
45	45				
71	71			D	D

A táblázat szerint a gépeket több csoportba sorolták:

Az I. osztály a kisgépek csoportja, amelyekhez a 15 kW-nál kisebb teljesítményű villamos motorok is sorolhatók.

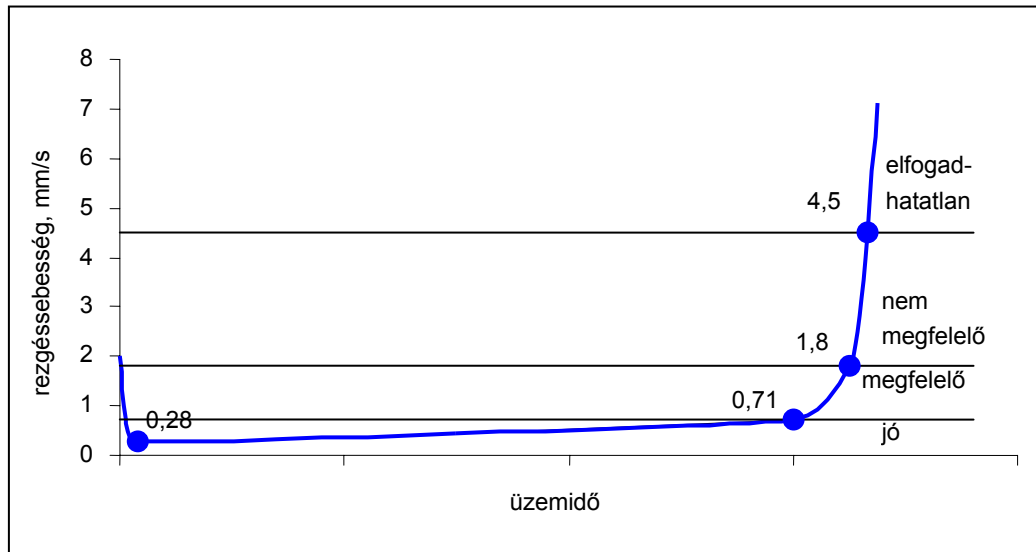
A II. osztály a közepes teljesítményű, csak forgó mozgást végző gépek csoportja.

A III. osztály a nagy, forgó mozgást végző gépek nagy tömegű alappal.

A IV. osztályba a nagy, nehéz, de szintén csak forgó mozgást végző rugalmas alapon elhelyezett gépek tartoznak. A táblázatban szereplő határértékeket a szakemberek gyakorlati tapasztalatok alapján határozták meg. A gépek, berendezések működése közben a rezgések természetesen növekednek az elhasználódás, kopás, a gépalap fellazulása vagy a tengelyek elállítódása miatt. Ezt a folyamatot a gépekre jellemző elhasználódási diagram, a kádgörbe írja le. Ennek egy általános formája látható az 1. ábrán.

A szabványban meghatározott értékek effektív rezgéssebességek, azaz négyzetes középértékei a teljes spektrumon mérhető rezgéssebessé-

ségeknek. Az effektív érték könnyen mérhető egy egyszerű rezgésmérő ceruza segítségével (2. ábra).



1. ábra A gépek elhasználódása



2. ábra Rezgésmérő ceruza

A probléma az, hogy az effektív érték nem mutatja meg, hogy az erősödő rezgéseket milyen hiba okozza. Ehhez rezgésanalizátort kell használni, amely meghatározza a különböző frekvenciákon mérhető rezgéssebességet, amelyből szoftver segítségével meghatározható a rezgésspektrum.

Megfelelő minősítést akkor kaphat a berendezés, ha a tengelyfordulatszámnak megfelelő frekvencia felett nincsenek kiugró értékek, valamint a rezgéscsúcsok a frekvenciatengely mentén hiperbola szerint csökkennek.

Ahhoz, hogy a spektrum ismeretében meghatározzuk a hibát, ismernünk kell a kérdéses gép jellemzőit, viselkedését a különböző elállítódásokra, kopásokra, fellazulásokra. Ezen ismeretek megszerzéséhez szükség van az általunk használt géptípus kísérleti darabjának előzetes vizsgálatára. Ezeket a vizsgálatokat végezheti a gép gyártója (aki ezután határértékeket is tud alkotni az eredményekből), vagy a géptípus később-

bi üzemeltetője. A vizsgálatok elvégzésekor a gép üzemeltetése alatt esetlegesen bekövetkező, a mérés során mesterségesen előállított hibák hatását kell elemezni a rezgésspektrumon. Ilyen vizsgálatot végeztünk mi is a főiskola rezgésdiagnosztika laboratóriumában, az erre kifejlesztett mérőpadon. A mérések során a különböző mértékű és típusú tengelyelállítódások hatásait vizsgáltuk, és elemeztük ezek megjelenését a rezgésképben.

2. Az egytengelyűtlenség mérésének lehetőségei

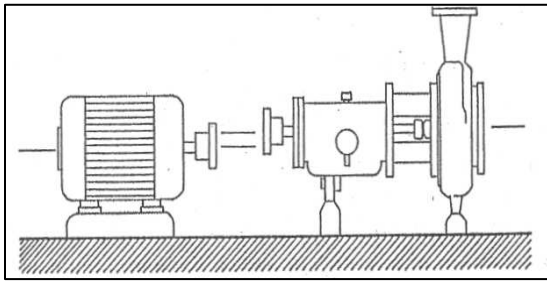
2.1. Az egytengelyűtlenség okai és típusai

A forgógépekben keletkező meghibásodások jelentős része a nem megfelelően beállított tengelyekre vezethető vissza. Egy ilyen szerelési hiba csapágytúlterhelést, kenési zavarokat, tengelykapcsoló-kopást okozhat. Mindezek ellenére a tengelykapcsolóval összekapcsolt gépek tengelyeinek beállítására kevés figyelmet fordítanak a szakemberek szerte a világon. Gyakran előfordul, hogy jó minőségű, kitűnően tervezett gépek azért mennek tönkre, mert a karbantartók nem foglalkoznak a számukra jelentéktelennek tűnő problémákkal. Természetesen nemcsak az ő hibájuk, a cégek vezetői sem ismerik fel, hogy pár óra munka, és némi karbantartásra fordított plusz költséggel váratlan leállásokat, és termelés kieséseket kerülhetnek el.

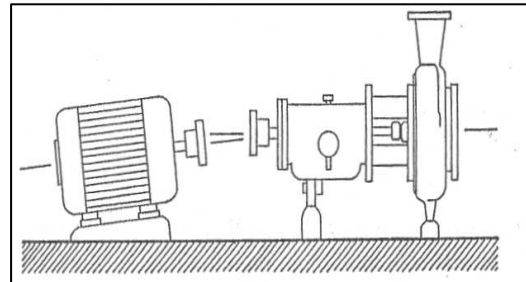
Egy rosszul beállított gép túlzottan rezeg, ezáltal károsan hat a hozzá kapcsolódó egyéb gépekre, csővezetésekre, alaplemezekre. Gyorsan elhasználódik, idő előtti cseréjével számottevő többletkiadást jelent a vállalatnak. Megbízhatatlan, nem termelékeny, emiatt nagyon költséges, ártalmas a környezetre, valamint ezek a berendezések állandó felügyeletet követelnek meg.

A beállítási hibák következményei közül a rezgések érzékelhetők legkönnyebben. A rezgések elsődleges okai közé tartozik a nem megfelelő tengelybeállítás. A tengelyek beállítása esetén háromféle hibáról beszélhetünk: párhuzamossági hiba, szöghiba, illetve összetett hiba.

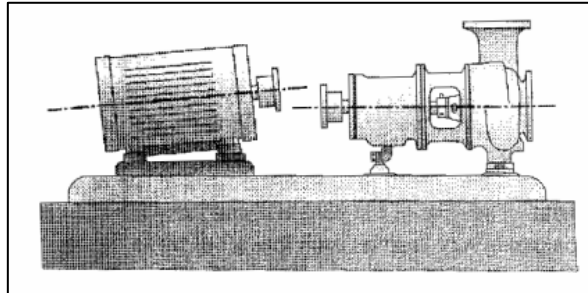
Párhuzamossági hibáról akkor beszélünk, ha a két gép geometriai értelemben vett forgástengelyei párhuzamosak ugyan, de nem esnek egybe (3. ábra). A szöghiba akkor fordul elő, ha a forgástengelyek nem párhuzamosak egymással, hanem szöget zárnak be, de a tengelyvonalak a tengelykapcsolófelek közötti felezőpontban metszik egymást (4. ábra). A valóságban persze ezek többnyire együtt fordulnak elő. Ezeket a hibákat nevezzük összetett hibáknak, vagy kitérő tengelykapcsolatnak (5. ábra).



3. ábra Párhuzamossági hiba



4. ábra Szöghiba



5. ábra Összetett hiba

A tengelykapcsolókat gyártó cégek legtöbbször nem adják meg azt, hogy a párhuzamossági, illetve szöghibák kombináltan vagy csak külön-külön engedhetők meg. Ez problémát okoz a gyakorlati felhasználás során, mivel ezek a hibák többnyire együtt fordulnak elő. A szerelés és a beállítás megkezdése előtt természetesen tisztázni kell ezeket a kérdéseket. A beállítási hibák tűrésértékeit a 2. táblázatban láthatjuk.

2.2. A tengelybeállítás eszközei

Hagyományos, optikai eszközzel való mérésnek minősül az élvonalzóval, derékszöggel, hézagmérővel, és egyéb szerszámmal elvégzett tengelybeállítás is (6. ábra). A felsorolt módszerek közös jellemzője, hogy elvégzésük gyors, ám rendkívül pontatlan, és az eredmény szubjektív, hisz lehet, hogy egy hiba az egyik karbantartó számára még nem is hiba, egy másik pedig azonnal leállítaná a berendezést. Továbbá majdhogynem lehetetlen a mérések dokumentálása, és további hibákra ad lehetőséget, hogy kizárólag tökéletesen sima felületeken, illetve csak egyező átmérőkön végezhetők.

Habár a fent említett módszerek a pontos beállítást nem teszik lehetővé, mégis elengedhetetlenül szükségesek az azt megelőző durva beállítás elvégzéséhez. Erre a durva beállításra azért van szükség, mert a

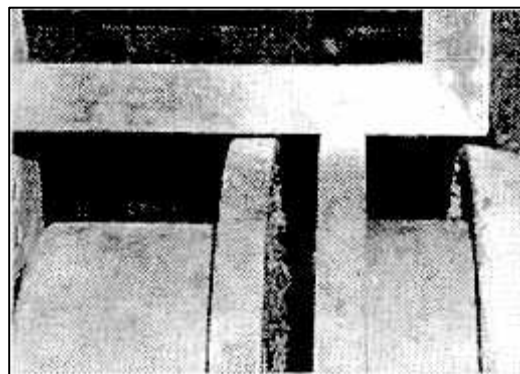
finom beállításhoz használt műszerek érzékenységét a gyárak sokszor úgy határozzák meg, hogy azok eleve csak pár tizedmilliméternyi állítást tesznek lehetővé. Sajnos a legtöbb üzemben úgy értékelik, hogy ez a durván beállított tizedmilliméteres pontosság már elegendő, és a leggyakoribb érv a további, pontosabb beállítás ellen, hogy nincs rá idő.

2. táblázat

A tengelybeállítás hibahatárai

	Fordulatszám	Kiváló	Elfogadható
	n/min	mm	mm
Párhuzamossági eltérés	0-1000	0,07	0,13
	1000-2000	0,05	0,10
	2000-3000	0,03	0,07
	3000-4000	0,02	0,04
	4000-5000	0,01	0,03
	5000-6000	<0,01	<0,03
	n/min	mm/100 mm	mm/100 mm
	0-1000	0,06	0,10
Szöghiba	1000-2000	0,05	0,08
	2000-3000	0,04	0,07
	3000-4000	0,03	0,06
	4000-5000	0,02	0,05
	5000-6000	0,01	0,04

* Forrás: Piotrowski, J.: Shaft Alignment Handbook (1995)



6. ábra Tengelybeállítás élvonalzóval

A mérőórás beállítás már a pontosabb beállítások csoportjába tartozik. Alkalmazásával akár századmilliméteres pontosság is elérhető. Hátránya, hogy nagy gépekhez még mindig nem megfelelően pontos, és

hogy a pontos beállításhoz rengeteg számolás és ellenőrző mérés szükséges.

Az indikátorórákat korábban a végleges tengelybeállításhoz használták, ma már csak az előzetes beállításban lehet szerepük. Ezek kitűnő eszközök, amelyek sohasem mellőzhetők az eszköztárból, ma már azonban a pontos tengelybeállításhoz korszerű elektrodinamikus és lézeres mérőeszközöket használnak.

2.3 A kísérleti berendezés bemutatása

A méréseket az SZTE-SZÉFK rezgésdiagnosztikai laboratóriumában található diagnosztikai mérőegységen végeztük, amely egy háromfázisú aszinkron motorból, egy BMS 12/36 típusú bakcsapágyas szivattyúból, egy tartályból, illetve az ezekhez kapcsolódó csővezetékekből és mérőműszerekből áll. A mérőpadhoz egy külön erre a célra tervezett gépalap tartozik (7. ábra).



7. ábra A diagnosztikai mérőpad

A kísérletsorozat során a mérés alanyául szolgáló háromfázisú aszinkron motor és a hozzá kapcsolt hidegvíz-szivattyú tengelyeit egymáshoz képest, viszonylagosan nagy pontossággal (0,01 mm) beállítottuk, illetve adott mértékű tengelyelállítási hibát (párhuzamossági-és/vagy szöghibát) produkáltunk. A szivattyú rögzített, a motor pedig

olyan mobil gépalapra van helyezve, amely minden irányba mozgatható, de a beállítás után stabilan rögzíthető.

3. A mérőpadon végzett kísérletsorozat

3.1 A kísérletsorozat vizsgálati alanyai

A mérés során az egyik vizsgált tengelykapcsoló egy gumidugós rugalmas tengelykapcsoló volt (8. ábra). E típusra az jellemző, hogy a kapcsolófeleket összefogó csapok köré hengeres palástú rugalmas hüvelyt helyeztek el, amely feloldja a kapcsolat merevségét (Dr. Terplán Z., Nagy G., Herczeg I., 1976.).

Méréseket végeztünk egy Oldham típusú tengelykapcsolóval is. Ez egy tuskóvezetéses radiális kiegyenlítő tengelykapcsoló, amely jól viseli a tengelybeállítási hibákat kialakításánál fogva. Viszonylag kis nyomatékok és viszonylag nagy tengelyeltolódások esetén alkalmazható. A nyomatékátvitel két villás kialakítású tárcsafél között történik egy négyyszögletes közvetítőelem segítségével. Ez az úgynevezett tuskó a két villa között kismértékben elcsúszik, és lehetővé teszi a tengelyeltolódások kiegyenlítését (9. ábra).



8. ábra Gumidugós rugalmas tengelykapcsoló



9. ábra Oldham típusú tengelykapcsoló

3.2. A diagnosztizálás előkészületei

Minden diagnosztikai elemzés megkezdése előtt szükséges egy elméleti spektrum felvétele. Ennek segítségével a valóságos spektrumban már célratörően tudjuk a kívánt jeleket keresni és detektálni. Egy gép-

szerkezet vizsgálatakor a következő frekvenciákat szokásos előre meghatározni:

- a hálózati feszültségből eredő frekvencia,
- a tengelyfordulatszámából számítható frekvencia,
- forgó alkatrészek jellemző frekvenciái,
- a tengelyfrekvencia első 5 felharmonikusa.

Ezek a frekvenciák jellemzően a vizsgált berendezésre érvényes sajátos frekvenciák, mint például a csapágyfrekvencia vagy a gépszerkezetek, alkatrészek egymásra hatásából eredő frekvenciák.

A keresett jelek a mérőpad esetén a következők:

- tengelyfordulatszám és azok felharmonikusai,
- ventilátorlapátmozás jelei és azok felharmonikusai,
- kalickarudak áthaladási frekvenciája és azok felharmonikusai,
- szivattyú járókerék lapátmozás frekvenciája és azok felharmonikusai,
- csapágyelemek jelei és azok felharmonikusai.

A keresett frekvenciák meghatározása:

1. Tengelyfordulatszám és felharmonikusai

A villamos motor névleges fordulatszáma: 2855/min

$$f_0 = \frac{n_0}{60} = \frac{2855 / \text{min}}{60} = 47,58 \text{ Hz} \approx 48 \text{ Hz} (1 \times \text{RPM})$$

$$f_1 = 2 \cdot f_0 = 2 \cdot 48 \text{ Hz} = 96 \text{ Hz} (2 \times \text{RPM})$$

$$f_2 = 3 \cdot f_0 = 3 \cdot 48 \text{ Hz} = 144 \text{ Hz} (3 \times \text{RPM})$$

$$f_3 = 4 \cdot f_0 = 4 \cdot 48 \text{ Hz} = 192 \text{ Hz} (4 \times \text{RPM})$$

$$f_4 = 5 \cdot f_0 = 5 \cdot 48 \text{ Hz} = 240 \text{ Hz} (5 \times \text{RPM})$$

2. A hűtőventilátor frekvenciája

A ventilátor lapátjainak száma: 5

$$f_{\text{vent.lapát}} = 5 \cdot f_0 = 5 \cdot 48 \text{ Hz} = 240 \text{ Hz}$$

3. Kalickarudak áthaladási frekvenciája

Kalickarudak száma: 11 Áthaladások száma fordulatonként: 2

$$f_{\text{kalickarúd}} = 22 \cdot f_0 = 22 \cdot 48 \text{ Hz} = 1056 \text{ Hz}$$

4. Szivattyú járókerékének frekvenciája

A járókerék lapátjainak száma: 7

$$f_{\text{sziv.lapát}} = 7 \cdot f_0 = 7 \cdot 48 \text{ Hz} = 336 \text{ Hz}$$

5. 6205 típusjelű, egysoros mélyhornyú golyóscsapágó frekvenciái

$$f_{\text{BPFO}} = \text{BPFO} \cdot f_0 = 3,58502 \cdot 48\text{Hz} = 172,08096\text{Hz}$$

$$f_{\text{BPFI}} = \text{BPFI} \cdot f_0 = 5,41498 \cdot 48\text{Hz} = 259,91904\text{Hz}$$

$$f_{\text{BSF}} = \text{BSF} \cdot f_0 = 2,35739 \cdot 48\text{Hz} = 113,15472\text{Hz}$$

$$f_{\text{FTF}} = \text{FTF} \cdot f_0 = 0,398335 \cdot 48\text{Hz} = 19,12008\text{Hz}$$

6305 típusjelű, egysoros mélyhornyú golyóscsapágó frekvenciái

$$f_{\text{BPFO}} = \text{BPFO} \cdot f_0 = 2,57471 \cdot 48\text{Hz} = 123,58608\text{Hz}$$

$$f_{\text{BPFI}} = \text{BPFI} \cdot f_0 = 4,42529 \cdot 48\text{Hz} = 212,41392\text{Hz}$$

$$f_{\text{BSF}} = \text{BSF} \cdot f_0 = 1,75912 \cdot 48\text{Hz} = 84,43776\text{Hz}$$

$$f_{\text{FTF}} = \text{FTF} \cdot f_0 = 0,367816 \cdot 48\text{Hz} = 17,655168\text{Hz}$$

6306 típusjelű, egysoros mélyhornyú golyóscsapágó frekvenciái

$$f_{\text{BPFO}} = \text{BPFO} \cdot f_0 = 3,05385 \cdot 48\text{Hz} = 146,5848\text{Hz}$$

$$f_{\text{BPFI}} = \text{BPFI} \cdot f_0 = 4,94615 \cdot 48\text{Hz} = 237,4152\text{Hz}$$

$$f_{\text{BSF}} = \text{BSF} \cdot f_0 = 1,99555 \cdot 48\text{Hz} = 95,7864\text{Hz}$$

$$f_{\text{FTF}} = \text{FTF} \cdot f_0 = 0,381731 \cdot 48\text{Hz} = 18,323088\text{Hz}$$

BPFO: a csapágó-külsőgyűrű hibafrekvenciájának szorzószáma

BPFI: a csapágó-belsőgyűrű hibafrekvenciájának szorzószáma

BSF: a csapágó-gördülőelem hibafrekvenciájának szorzószáma

FTF: a kosár hibafrekvenciájának szorzószáma

3. táblázat

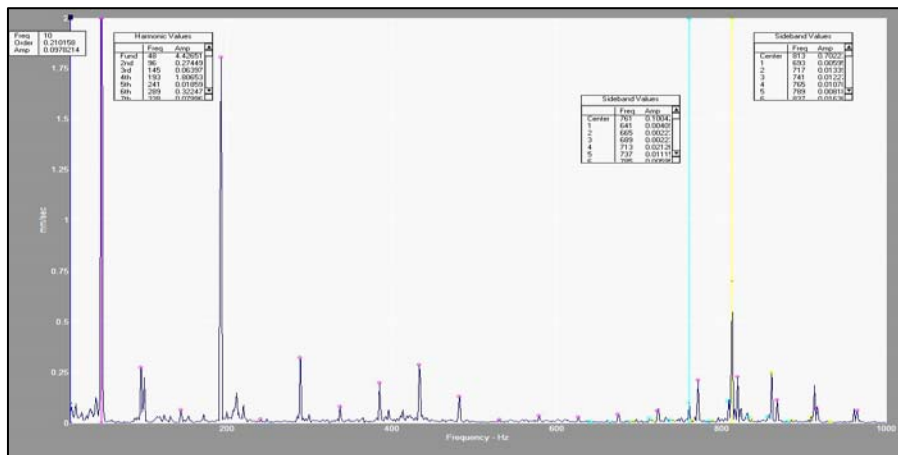
Csapágó elemeinek hibafrekvencia-szorzószámai

Típuszám	BPFO	BPFI	BSF	FTF
6205	3,58502	5,41498	2,35739	0,398335
6305	2,57471	4,42529	1,75912	0,367816
6306	3,05385	4,94615	1,99555	0,381731

3.3. A rezgések felvétele, értelmezése

A kiszámolt frekvenciákat felhasználva egy rezgéssebesség-frekvencia diagramban ábrázolhatjuk az értékeket. Az így megalkotott elméleti spektrum felvétele után, a mérési eredményekből kiszámított valódi spektrumban (10. ábra) az előre meghatározott frekvenciaértékeknél már jól azonosíthatók az adott alkatrészekhez tartozó jelek. Az

így megismert rezgésebbesség-értékekből következtetni lehet a berendezés állapotára, beállításának minőségére. A valódi spektrumban megjelenő olyan jelek, amelyeket nem határoztunk meg előre a geometriai adatok segítségével, képet nyújtanak a berendezés esetleges további hibáiról. Ilyenek lehetnek a csapágyak elhasználódására utaló jelek.



10. ábra A valós spektrum

3.4. A mérésekhez használt eszközök

A kísérletsorozatban legfontosabb szerepe a diagnosztikai laboratórium két műszerének volt, amelyek egyéb eszközökkel együtt az SKF jóvoltából kerültek a főiskolához.

3.4.1. FIXTUR LASER Shaft 50

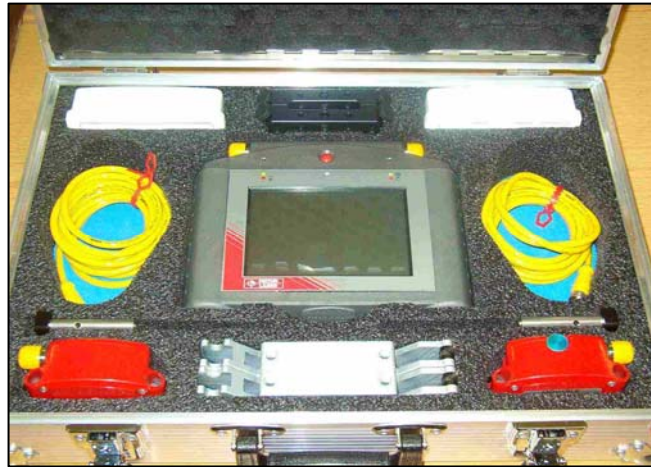
Ez egy lézeres tengelybeállító műszer. Működésének alapja az iparban már régóta, széles körben alkalmazott mérőórás mérési elv, de ebben az esetben acélrudak és mérőórák helyett lézernyaláb végzi a mérést, tehát nincs elhajlás, így a mérés rendkívül pontos lehet (11. ábra).

A kijelzővel ellátott központi egységen kívül két lézerekibocsátó-érzékelő fej tartozik a műszerhez. Ezeket az egységeket a tengelykapcsoló két tárcsájának ellenkező oldalára kell felszerelni, arra ügyelve, hogy a lézersugár az érzékelőbe mutasson.

Az adatfeldolgozást egy érintőképernyős központi egység végzi, amelynek segítségével a beállításokat elraktározhatjuk vagy számítógépre vihetjük fel.

A központi egységbe épített mikroprocesszor kiszámítja a tengelyek párhuzamos eltolódását és az általuk bezárt szöget. A mérési eredményeket a kijelző párhuzamossági és szöghibaként jelzi mm-ben és

mm/100 mm egységben. A műszer élő képet mutat, így a beállítás során is folyamatosan a valós helyzetet jeleníti meg.



11. ábra FIXTUR LASER Shaft 50

3.4.2. SKF Microlog CMVA 10

Ez egy rezgésmérő és analizáló műszer. A kézi szondát, amely egy központi adatfeldolgozó egységhez kapcsolódik, a gépcsoport kijelölt pontjaihoz érintjük és az a beállítás alapján felvett jeleket analizálásra továbbítja. A mért eredmények már a kijelzőn megjelennek, de tárolás után számítógépen tovább elemezhetők (12. ábra).



12. ábra SKF Microlog CMVA 10 rezgésmérő és -analizáló

A számítógépes elemzéshez a műszerhez kapott PRISM4 nevű szoftvert használtuk, amelyben lehetőség nyílik a spektrumok elemzésére és nyomtatására.

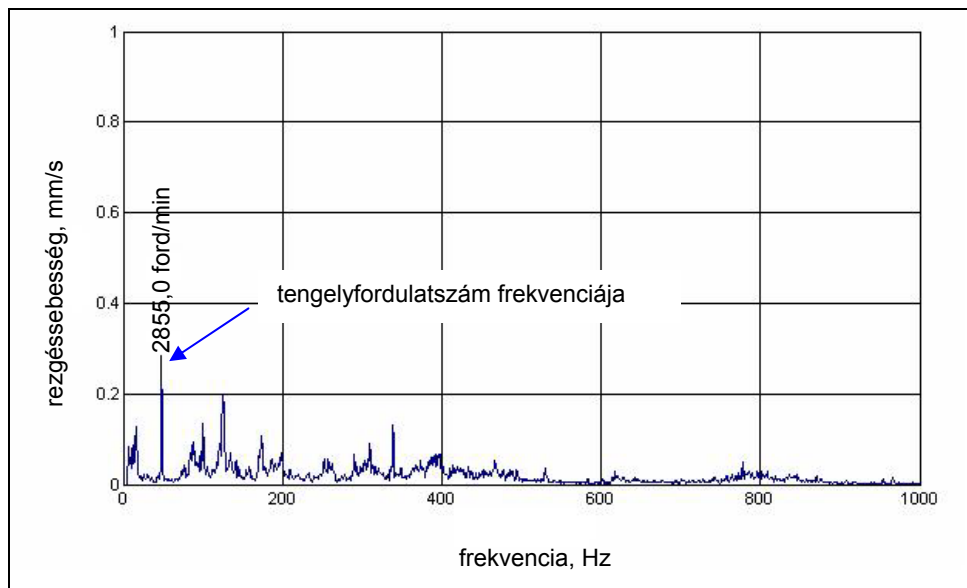
3.5. A mérések menetének rövid leírása

1. A már említett összekapcsolt gépcsoport tengelyeit a lehető legnagyobb pontossággal egy tengelybe kell állítani a tengelybeállító műszerrel és a hézagoló lemezekkel.
2. Ezután különböző, de meghatározott mértékben kell elállítani a tengelyeket egymáshoz képest, szög-, párhuzamossági és összetett hibákat előidézve ezzel.
3. Minden beállítás után a gépet üzembe helyezzük, a keletkezett rezgéseket mérjük, majd az összegyűjtött adatokat elemezzük.

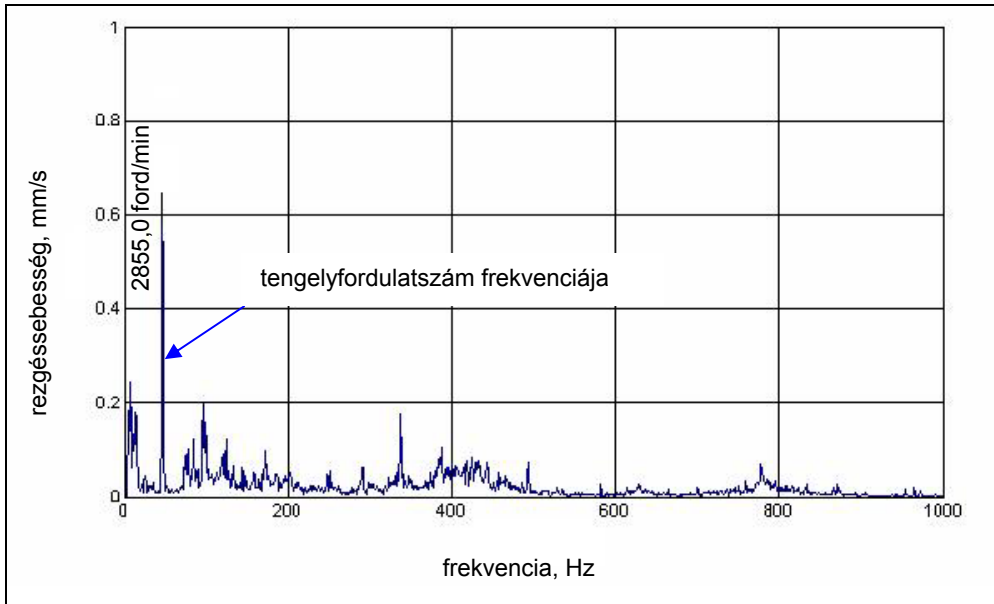
A mérések során a párhuzamossági hibát 0,05 mm-es növelésekkel változtattuk 0,3 mm-ig, a szöghibát pedig 0,05 mm/100 mm-es osztással 0,3 mm/100 mm-ig. Ezen elállítások minden kombinációja esetén elvégeztük a mérést.

3.6. A mérési eredmények feldolgozása

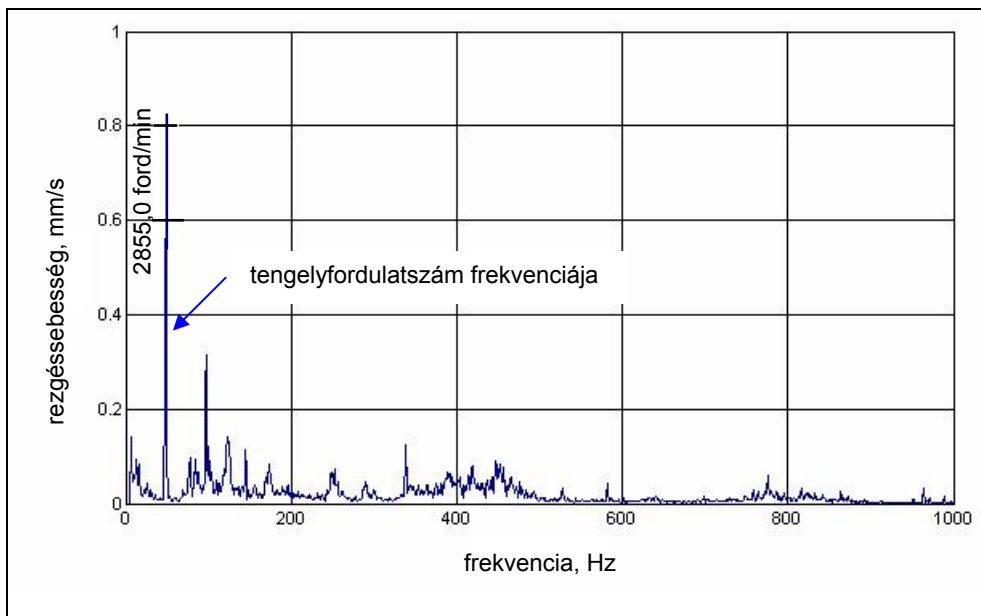
A mérési eredményeket számítógépen dolgoztuk fel, a Prism 4 szoftver a két típusú tengelykapcsolóhoz 160–160 darab spektrumot készített el. Ezekből látható példaként négy (13., 14., 15. és 16. ábrák). Mindegyik a motor hajtóoldali csapágyazásánál, tengelyirányban mért eredményekből készült növekvő szöghiba mellett. Az ábrákon megfigyelhető a tengelyfordulatszámnak megfelelő frekvencián a rezgésesség folyamatos növekedése.



13. ábra Egytengelyűség

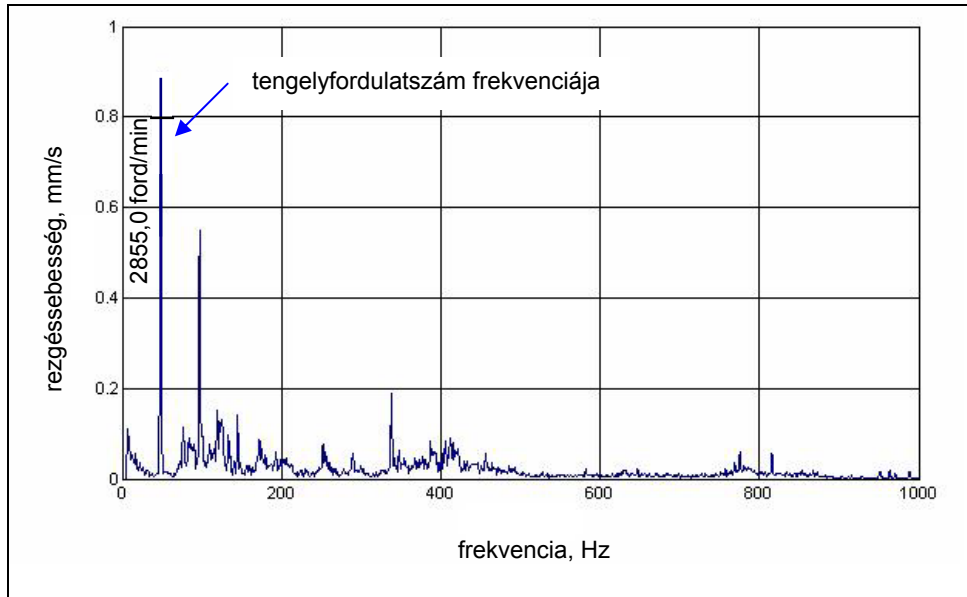


14. ábra 0,1 mm/100 mm-es szöghiba



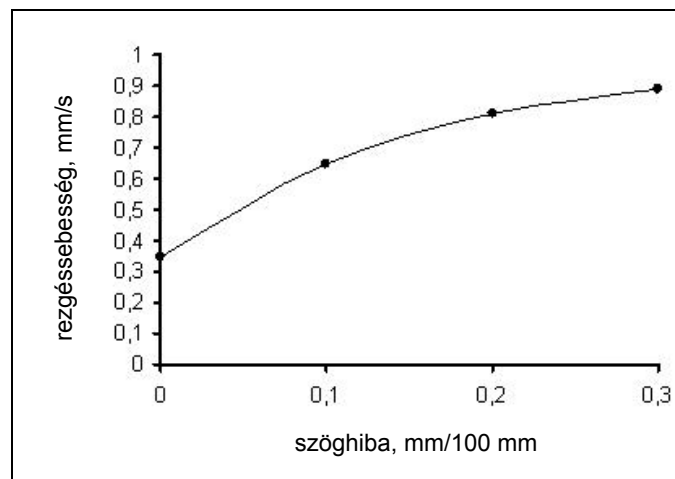
15. ábra 0,2 mm/100 mm szöghiba

Elmondható, hogy a szöghiba és a rezgéssebesség növekedése a megfelelő frekvencián összekapcsolható jelenség, és az összetartozó értékek egy kétdimenziós görbét határoznának meg.



16. ábra 30 mm/100 mm-es szöghiba

A fenti diagram alapján a rezgéssebesség értékéből meghatározható lenne a szöghiba értéke (17. ábra). A probléma az, hogy nem tudjuk, hogy a szöghiba mellett megjelenő párhuzamossági hiba milyen hatással van az ezen a frekvencián mérhető rezgéssebességre. Ezzel a módszerrel vizsgálható a tiszta párhuzamossági vagy szöghiba növekedésének hatása a rezgésviszonyokra. Az összetett hibák vizsgálata azonban nehézkes. A különböző mértékű összetett hibák által okozott rezgéssebesség-értékek vizsgálata felveti a jelenség ábrázolhatóságának nehézségét is.

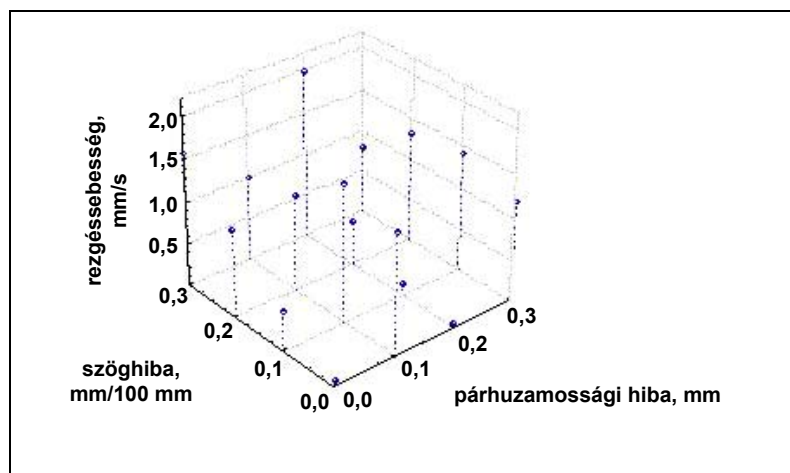


17. ábra Rezgésereősség–szöghiba diagram

A gyakorlatban leggyakrabban előforduló összetett beállítási hiba esetén mind a tengelykapcsolót, mind pedig az egész berendezést egy merőben erősebb igénybevétel terheli. Ha a kitérő tengelyekkel rendelkező erőátviteli kapcsolatot (tengelykapcsolókon keresztül) erőszakkal összehúzatjuk, akkor a gép befeszül, ezzel deformálva a tengelyt, valamint járulékos többletterhelés kerül a csapágyakra. Ezen hiba huzamosabb idejű fennállása esetén a legvalószínűbb az idő előtti tönkremenetel bekövetkezése. Ezen okok miatt az összetett tengelybeállítási hibák mellett mért rezgésebességek vizsgálata a legfontosabb feladata az elemzésnek.

4. Az összetett hibák mérési eredményeinek feldolgozási módszere

A különböző mértékű összetett hibák által okozott rezgésebesség-értékek vizsgálata felveti a jelenség ábrázolhatóságának igényét. A mérés során két paramétert változtatva a berendezés egy harmadik paraméter változásával válaszol. Ezt a jelenséget tehát csak háromdimenziós koordinátarendszerben lehet ábrázolni (18. ábra).



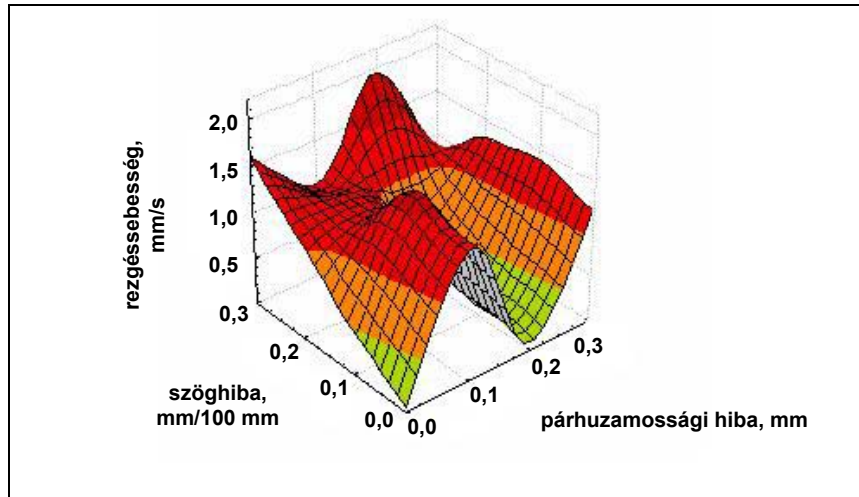
18. ábra Mérési eredmények ábrázolása

Az ábrázolás lépései a következők:

1. A spektrumokban szereplő rezgésebességek közül kiválasztjuk az alulfrekvencián és többszörösein mértéket.
2. Az egy frekvenciához tartozó rezgésebességeket egy térbeli koordinátarendszerben ábrázoljuk.
3. A pontokra közelítő felületet illesztünk.

Az x tengelyen a párhuzamossági hiba értékét, az y tengelyen a szöghiba értékét, a z tengelyen az összetett hibákhoz tartozó rezgéssebesség-értékeket ábrázoljuk.

Az így ábrázolt pontokra felületet illesztünk. Az eredményül kapott felület, mint itt is látható, a legtöbb esetben igen bonyolult, és nehezen felhasználható (19. ábra).



19. ábra Háromdimenziós felület

A fent leírt eljárás segítségével vizsgálni tudjuk a különböző összetételű tengelybeállítási hibák hatásait a berendezés különböző alkatrészreire, azok igénybevételére és élettartamára. A módszer alkalmazása tulajdonképpen az előzőleg meghatározott rezgésspektrumok számunkra fontosnak tartott adatainak feldolgozása.

5. A háromdimenziós diagramok elemzése

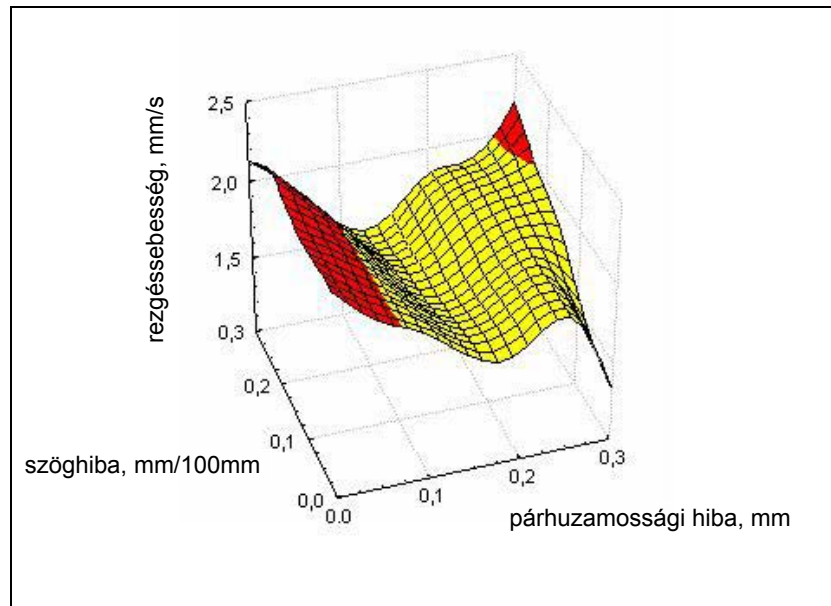
5.1. A háromdimenziós diagramok elemzésének célja

A diagramok elemzésének célja, hogy kapcsolatot találjunk az egyes hibatípusok mértéke és a rezgéssebesség változása között. Ez bizonyos szabályosságot igényel a háromdimenziós diagramok esetében. Számunkra legalkalmasabbak azok a sík felületek, amelyek párhuzamosak az x vagy y tengellyel.

Az elemzés során vizsgáltuk az alapfrekvenciához és annak 2-, 3-, 4-szereséhez tartozó rezgéssebességeket. A két tengelykapcsolóhoz

40-40 diagram készült. Ezek közül a következő diagramok mindkét tengelykapcsolónál megjelenő típusúak.

A tengelyfordulatszámnak megfelelő frekvenciaértéken (48 Hz) a szivattyú hajtott oldali csapágyházán mérve a tiszta párhuzamossági hiba növelésével a rezgésebesség-értékek drasztikusan csökkentek, míg a tiszta szöghiba növekedésekor állandó magas értéken maradtak. Nagy párhuzamossági hiba esetén viszont a szöghiba nagyban befolyásolja a kialakuló rezgés sebességét (20. ábra).



20. ábra Oldham tengelykapcsoló, 48 Hz

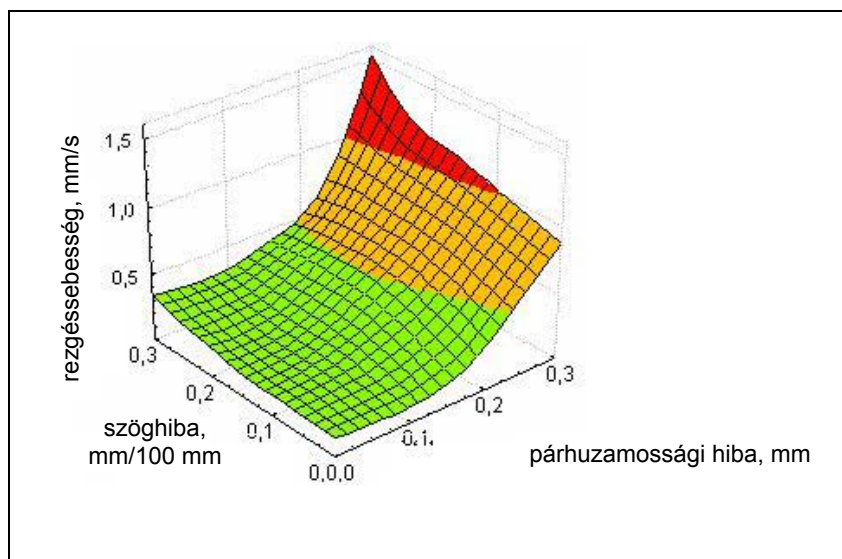
Az előbbi frekvencia kétszeresénél (98 Hz) készített ábra mutatja, hogy az összetett hibák esetén kialakuló rezgések nagysága többszöröse lehet a külön előforduló hibáknál mérhető eredményeknek (21. ábra).

Ezek a diagramok általánosságuknál fogva nem alkalmasak a tengelybeállítási hibák mértékének rezgésmérésből történő megállapítására.

5.2. A négyelemes rugalmas gumidugós tengelykapcsoló vizsgálata

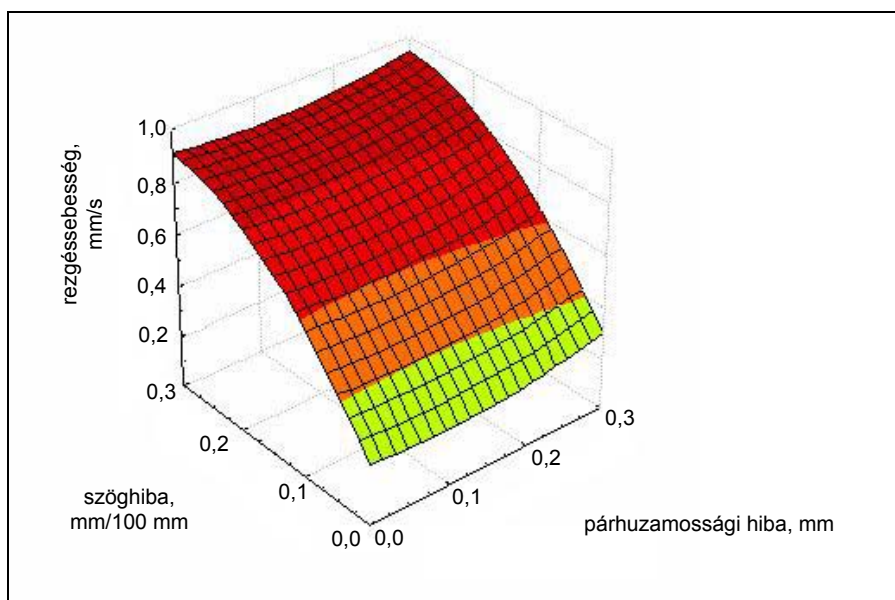
1. Szöghiba

Ha két tengely egymással szöget zár be és azok tengelykapcsolóval össze vannak kötve, akkor elméletben azt várjuk, hogy a szöghiba növekedésével egyre intenzívebb tengelyirányú rezgések adódnak a tengelyfrekvencián.



21. ábra Oldham tengelykapcsoló 98 Hz

Előzetes várakozásainknak megfelelően a motor hajtóoldali csapágyánál, tengelyirányban, 48 Hz-en mért adatokból készült diagramban sikerült megtalálni a szöghiba növekedését jellemző egyenletes rezgéssebesség-fokozódást. A 22. ábrán látható, hogy a tengelykapcsoló ezen a frekvencián érzéketlenül viselkedett a párhuzamossági hibával szemben, és jól követte a szöghiba növekedését. Azaz a rezgéssebesség csak az egyik típusú hiba növekedésére reagál.

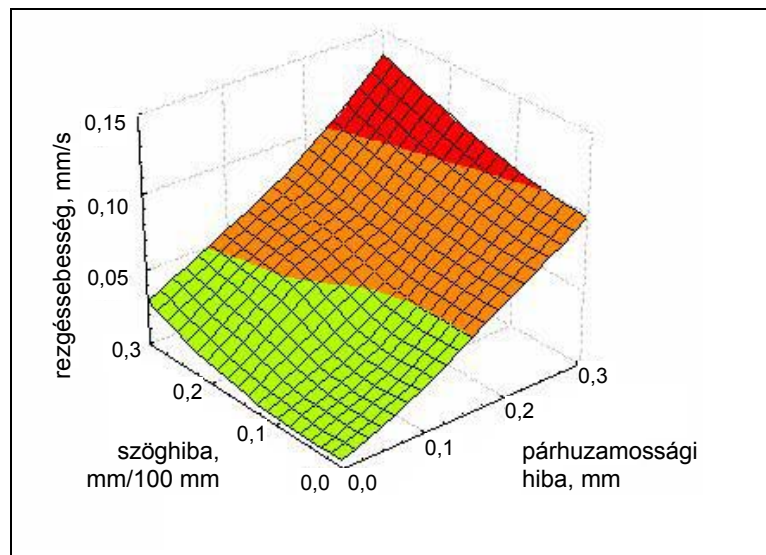


22. ábra Motor, hajtóoldali csapágy, tengelyirány, 48 Hz

2. Párhuzamossági hiba

Párhuzamossági hiba esetén a rezgésebbesség monoton növekedését a kapcsoló elemszámának megfelelően a tengelyfordulatszámnak megfelelő frekvencia négyszeresénél függőleges vagy vízszintes irányban mérve érdemes keresni.

Az előzőtől eltérő mérési ponton, a szivattyú nem hajtott oldali csapágánál, vízszintes irányban mérve, az alapfrekvencia négyszeresén találtuk meg a várt jelenséget (23. ábra). Itt az előzőhöz képest fordított a helyzet, a kapcsoló a szöghiba növelésére nem reagált, míg a párhuzamossági hiba növekedésével a rezgésebbesség drasztikusan növekedett. Igaz, csak kisebb szöghibaértékig teljesen pontos ez a megállapítás. Ekkor elmondható, hogy ezen a frekvencián és mérési ponton a rezgésebbesség értéke csak a párhuzamossági hibától függ.



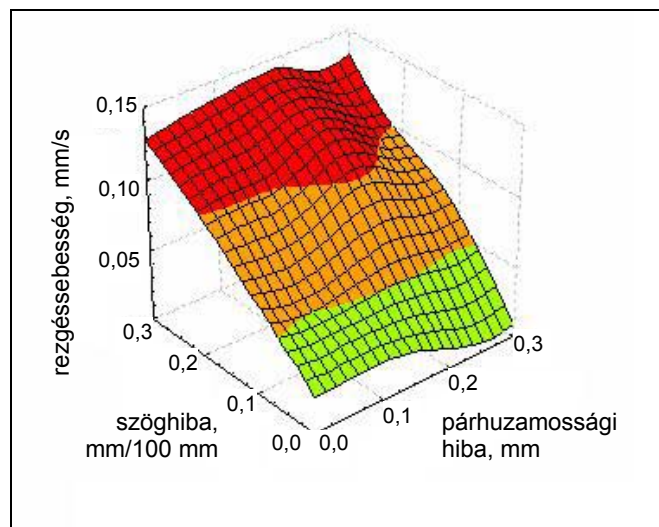
23. ábra Szivattyú, nem hajtott oldal, vízszintes irány

5.3. Az Oldham-típusú tengelykapcsoló vizsgálata

1. Szöghiba

Az Oldham-típusú tengelykapcsoló esetében a szöghibát jellemző rezgésebbesség-növekedést meglehetősen nehéz megtalálni a spektrumokban. Ez a kapcsolótípus tengelyirányban megenged egy kismértékű mozgást, így ilyen irányú erős rezgésekre nem számíthatunk. A nyomtécátadó elem laza illesztése miatt ez a tengelykapcsoló képes felvenni kismértékű szöghibát, hasonló elven, mint a kardáncsukló. A szakirodalom szerint a kardáncsukló alkalmazásakor a tengely csapágainál

a tengelyfordulatszám kétszeresének frekvenciájával lüktető erőpár jelenik meg. A diagram ezen a frekvencián a szivattyú nem hajtott oldali csapágyánál, függőleges irányban mért adatokat tartalmazza (24. ábra). Látható, hogy bizonyos közelítéssel a rezgésebességek a szöghiba növekedését követik, és nem követik a párhuzamossági hiba változását. A mért értékek azonban itt igen alacsonyak, és ez a tény ellenőrző mérések elvégzését teszi szükségessé a további kutatás során.



24. ábra Szivattyú, nem hajtott oldal, függőleges irány

2. Párhuzamossági hiba

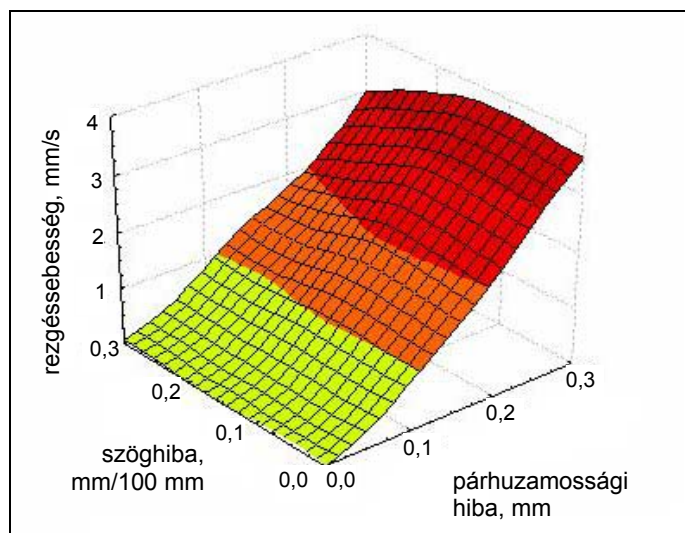
Az Oldham tengelykapcsoló esetében a párhuzamossági hiba jelét szintén a kapcsolóelemek számával magyarázhatóan az alapfrekvencia négyszeresén kerestük.

A diagramon jól látható, hogy a szivattyú hajtott oldali csapágyházán, függőleges irányban, 192 Hz-en mért rezgésebesség-értékek jól követik a párhuzamossági hibát, és ugyanekkor a szöghiba növekedése nincs jelentős hatással a rezgésebességre (25. ábra).

Tehát ezen mérési pont és frekvencia esetén is megállapítható, hogy a rezgésebesség értéke csak az egyik hiba mértékétől függ.

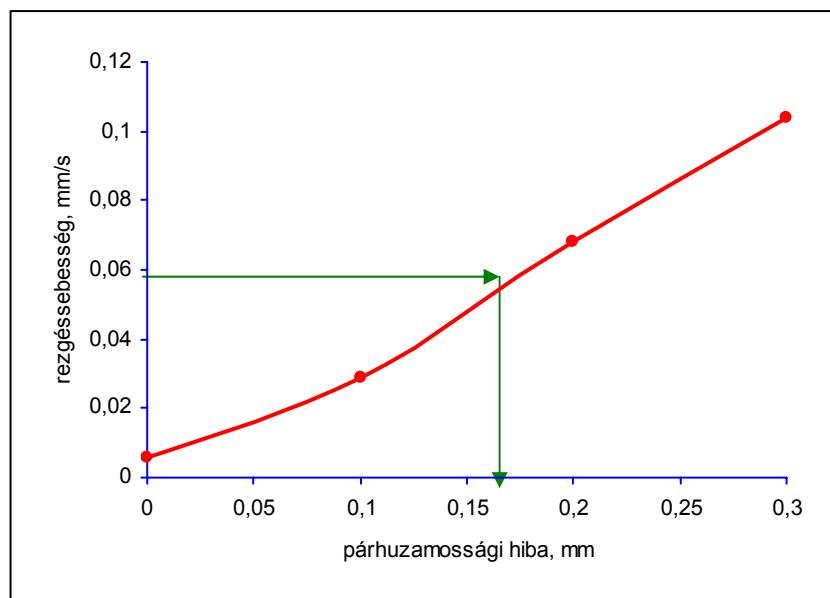
5.4. Az elemzés eredményei

Összegzésként elmondható, hogy minden esetben található olyan mérési pont és frekvencia, amely csak az egyik beállítási hibára jellemző. Ha pedig az egyik típusú hiba mértéke és a rezgésebesség összetartozó értékpárok, akkor azok együtt egy síkgörbét írnak le.



25. ábra Szivattyú, hajtott oldal, függőleges irány, frekvencia: 192 Hz

A gumidugós rugalmas tengelykapcsoló esetében ismertetett párhuzamossági hibára jellemző háromdimenziós diagramból egy kétdimenziós ábrát lehet készíteni, mivel a szöghiba hatása elhanyagolható. A diagram segítségével egy mért rezgéssebesség-értékből meg lehet határozni a párhuzamossági hiba mértékét (26. ábra). Ezt a hibaértéket pedig össze lehet hasonlítani a tengelykapcsolót gyártó cég által meghatározott határértékkel (2. táblázat A tengelybeállítás hibahatárai). Ez alapján eldönthető, hogy a gép tovább üzemelhet-e, vagy ha beállítást szükséges végezni, akkor meghatározható annak tervezett időpontja.



26. ábra Párhuzamossági hiba–rezgéssebesség diagram

A vizsgálatok eredményei és azok új feldolgozási módszerének segítségével képesek lehetünk a gép leállítása nélkül meghatározni a tengelyelállítódások mértékét. Az előzőekben bemutatott eredmények és megállapítások azonban még megerősítő, ellenőrző méréseket igényelnek ahhoz, hogy tényként kezelhessük őket.

Összefoglalás

A vizsgálatok eredményeinek és azok új feldolgozási módszerének segítségével képesek vagyunk a gép leállítása nélkül meghatározni az elállítódások mértékét, így előre tervezhetővé válik ezen gépek karbantartása.

A mérési eredmények feldolgozásának általunk kidolgozott új módszere a következő. Az adott tengelykapcsolók különböző összetett beállítási hibáinál kapott spektrumok azonos frekvenciaértékéhez tartozó rezgéssebesség-értékeit vizsgáljuk. Ezen frekvenciaértékek általunk előre meghatározottak. Az adatokat egy térbeli koordináta-rendszerben ábrázoljuk: az egyik tengelyen a párhuzamossági hiba értékét, a másik tengelyen a szöghiba értékét, a harmadik tengelyen az összetett hibákhoz tartozó rezgéssebesség-értékeket ábrázoljuk. Az így ábrázolt pontokra felületet illesztünk. Az így képzett felületek szerkezetéből következtetni tudunk a gép üzemi körülményeire a különböző tengelyelállítók mellett. Ebben a szakdolgozatban arra vállalkoztunk, hogy megtaláljuk a rezgéspektrumokban a különböző tengelybeállítási hibák mértékét mutató jeleket. A háromdimenziós diagramok elkészítésével és azok elemzésével sikerült kapcsolatot találni különböző frekvenciákon és mérési pontokon a rezgéssebesség növekedése és mindkét típusú tengelyelállítás mértéke között.

A módszer segítségével vizsgálhatóvá válnak a különböző összetett tengelybeállítási hibák, és meghatározhatók ezekre az esetekre érvényes rezgéssebesség-határértékek. A gyakorlatban ezeket a határértékeket a tengelykapcsolóval összekötött gépek első üzembe helyezése előtti rezgésvizsgálattal lehet meghatározni mesterséges tengelyelállítók mellett. Az így szerzett információk alkalmasak szakértői rendszerek fejlesztésére, azokhoz adatszolgáltatásra. A gépek üzemelése során időszakosan vagy folyamatosan végzett rezgésmérés eredményeiből mindig meghatározható a tengelyek egymáshoz viszonyított elállítódása, ennek minősítése alapján a szükséges időben elvégezhető a gépek szakszerű beállítása. Ez a módszer hatékonyabb üzemeltetést biztosít, elérhetővé válik a lehető legnagyobb élettartam, és elkerülhetővé válik a váratlan termelésleállítás okozta profitkiesés is. Folyamatos ellenőrzéssel

és megfelelő időben történő utánállítással a gépek jó üzemi körülmények között tarthatók. Az így üzemeltetett gép élettartama nagyobb, karbantartási költsége alacsonyabb, kisebb zaj-, és rezgésterhelést okoz a környezetnek.

Irodalomjegyzék

Szabó B. (1975) *Karbantartási kézikönyv*. Műszaki kiadó, Budapest.

Dr. Lipovszky Gy.; Dr. Sólyomvári K.; Dr. Varga F. (1981) *Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Dömötör F. (1996) *A rezgésdiagnosztika elemei*. SKF Svéd Golyóscsapágy Rt., Budapest.

Dr. Terplán Z.; Nagy G.; Herczeg I. (1976) *Mechanikus tengelykapcsolók*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest