

Dr. Szabó József Zoltán¹

REZGÉSCSÖKKENTÉS TENGEY-BEÁLLÍTÁSSAL²

REZÜMÉ

A megbízhatóság és a gépek állapotától függő karbantartása mind a magas szintű ipari termelő berendezések, mind a haditechnikai eszközök üzemeltetésének fontos területe. Az állapotfüggő karbantartást alkalmazó üzemekben az egyik leggyakrabban előforduló probléma a nem megfelelő tengely-beállítás. A tengely beállítási hiba egy berendezés két tengelye közötti párhuzamos, vagy szögeltérést jelent. Az előadásban a tengelykapcsoló és tengely beállítási hibák típusait, valamint ezen hibák élettartamra gyakorolt hatásával foglalkozom.

A cikkben a gépek műszaki állapot ellenőrzésének egyik legjobb módszerét a rezgés analízist ismertetem, amelynek segítségével az összekapcsolt tengelyek hibáját üzem közben, a hiba korai szakaszában ki lehet mutatni. A nem megfelelő párhuzamos, vagy szög beállítási hiba a rezgésspektrumban veszélyesen magas rezgés amplitúdókat hoz létre az 1x-es és 2x-es forgási frekvencián. Ez teszi lehetővé, hogy a tengely-beállítási hibát a rezgésspektrumban felismerjük, amelynek gyakorlati végrehajtását ipari gyakorlatomból származó esettanulmányon keresztül mutatom be. A konkrét mérési eredményekben egyértelműen elkülöníthető a jó és rossz műszaki állapot, jól szemléltethető, hogy a pontos tengelybeállítással jelentősen csökkenthető a rezgésszint.

REDUCTION OF VIBRATION WITH SHAFT ALIGNMENT METHOD

RESUME

The reliability and the predictive maintenance of machines is the very important field both of high level industrial production and the operation of military equipment. The plants having condition based maintenance programs have found one of frequently problem is the misalignment. The misalignment is the parallel or angular difference between two shafts of machinery. This paper presents the definition of misalignment, the types of coupling problems, the shaft alignment failures and the impact these problems to the life time of operating machinery.

The paper reviews the application of the best method of vibration analysis from theoretical and practical point of view. The parallel misalignment results in two hits per cycle and therefore a 2xRPM high vibration in the radial direction. The angular misalignment has similar vibration symptoms, but the angular misalignment primarily subject the driver and driven machine shafts to axial vibration amplitude at the 1xRPM frequency. By the case studies we can follow the decreasing of the vibration level after shaft alignment procedure.

BEVEZETŐ

A kiváló minőségű termékek előállítása napjainkban már Magyarországon is a hosszú távú piaci siker alapvető feltétele lett. A haditechnikai eszközök esetében a fegyverek és fegyver rendszerek rendelkezésre állása a cél, az ipari termelésben viszont a vevők megkövetelik, hogy a termék előállítója folyamatosan jó minőségben, meghatározott időpontra szállítsa termékeit. A termelés folyamatosságát szintén a gépek magas szintű, állandó üzembiztos működésével érhetjük el.

A gépek üzemeltetése során gyakran fordulnak elő olyan mechanikus hibák, melyek tönkre

¹ Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, szabo.jozsef@bgk.uni-obuda.hu

² Lektorálta: Dr. Kégl Tibor főiskolai docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

teszik alkatrészeiket, ezáltal csökkentik élettartamukat. A műszaki gyakorlatban a gépek beállítási problémáinak tekintetében a kiegyensúlyozatlanság, a hajtószíjak nem megfelelő beállítása, a csavarok fellazulása mellett a leggyakoribb beállítási probléma a géptengelyek nem megfelelő egytengelyűsége. Az iparban üzemelő, tengelykapcsolóval rendelkező gépeken ez a hiba közel 50%-ban fordul elő, így diagnosztikai módszerekkel történő kimutatása és kiküszöbölése elengedhetetlenül fontos a hosszú távú üzembiztonság érdekében.

Cikkemben az egyik legfontosabb gépbeállítási módszer, a tengely-beállítás elméleti kérdéseivel és gyakorlati alkalmazásával foglalkozom. Ismertetem a tengelykapcsoló és tengely beállítási hibák típusait, az alkatrészek élettartamára gyakorolt hatását, valamint a beállítás korszerű módszereit. Üzemi körülmények között, egy nem megfelelően beállított gépen a magas rezgés amplitúdók, vagy a jellegzetes hőmérséklet eloszlás utalhatnak a tengely-beállítási hibára. A probléma üzem közben, diagnosztikai módszerekkel történő beazonosítását ipari gyakorlatomból származó esettanulmányokon keresztül szemléltetem.

1. TENGELYKAPCSOLÓ ÉS TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK

Az egy geometriai egyenesbe eső gépek gépláncot alkotnak, melyek részegységei között tengelyek teremtenek kapcsolatot. A tengelykapcsolók feladata két tengelyvég összekapcsolása által a teljesítmény és nyomaték üzembiztos átvitele. A tengelykapcsolók rendkívül sokféle kiviteli változatban készülnek, amelyre néhány jellegzetes példát az 1. ábrán mutatok be. A termelő berendezésekben a leggyakrabban az állandó kapcsolatot megvalósító, nem oldható, merev, illetve kiegyenlítő kapcsoló típusokat alkalmazzuk. Ez utóbbi kapcsoló típus nevében is szerepel az a tulajdonságuk, hogy lehetővé teszik, kiegyenlítik a tengelyvégek kismértékű elmozdulását. Az iparban ezek terjedtek el a legszélesebb körben, mivel a tervező asztalon megálmodott ideális egytengelyű állapotot a valós körülmények között megvalósíthatjuk.[1]



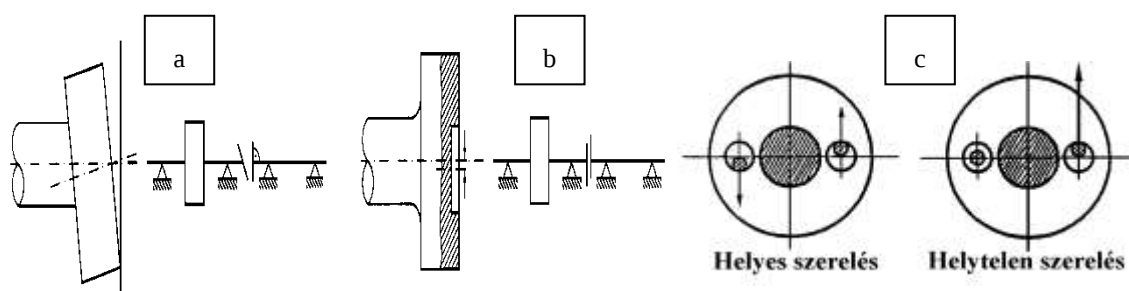
1. ábra Az iparban alkalmazott különféle kiegyenlítő tengelykapcsolók [3]

1. 1. A tengelykapcsolók jellemző hibái

A géplánc tökéletes működése, a tengelyek elméleti középvonalának találkozása érdekében a gépeket pontosan kell alapozni és a tengelyeket is gondosan kell beállítani. Mindezek előtt azonban ügyelni kell a tengelykapcsolók tökéletes gyártási pontosságára, valamint a gondos összeszerelésére. A hibásan elkészített vagy hanyagul összeszerelt tengelykapcsolóknál a tengely ugyanolyan deformációt szenved, mintha pontatlanul állítanánk be tengelyeket. A deformáció következtében a csapágyakra olyan nagymértékű körbeforgó terhelés adódik, amely jelentősen befolyásolja a gép élettartamát. A tengelykapcsolók esetében a 2. ábrán látható

háromféle geometriai hibát különböztetünk meg: [1]

- **Síkütés:** a tengelykapcsoló homlokán axiális irányban mérhető ki. Ez olyan esetben áll elő, amikor a tengelykapcsoló homloksíkja nem merőleges a geometriai forgástengelyre. Lásd 2. a. ábra.
- **Radiális ütés:** vagy másik nevén külpontosság, a tengelykapcsoló henger felületén mérhető radiális irányú geometriai hiba, mely a legtöbb esetben a pontatlan gyártásból ered. Lásd 2. b. ábra.



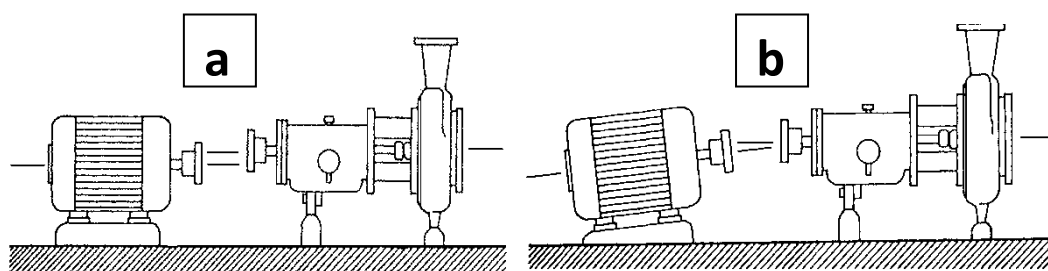
2. ábra A tengelykapcsolók hibái. Síkütés (a), Radiális ütés (b), Osztáshiba (c)

- **Osztáshiba:** a tengelykapcsolók fogainak, dugóinak, lamelláinak, egymásba kapcsolódó részeinek az egyenlőtlen elosztása. Ennek következtében az erő és nyomaték átvivő elemek nem egyenlően részesülnek a terhelésben, amely ezen elemek korai kopását eredményezi. Lásd 2. c. ábra.

1. 2. Az alapvető tengely-beállítási hibák

A tengelykapcsolók lehetséges geometria hibáinak ellenőrzése mellett a tengelyek helyzetpontosságát is feltétlenül ellenőrizni kell, mivel a tengelyek a térben a legritkább esetben találkoznak. A tengelykapcsolók beállításakor azzal az elméleti feltételezéssel élünk, hogy a tengelyek egy egyenesbe esnek. A valóságban azonban egy géplánc tengelyei számtalan különféle helyzetet vehetnek fel. Az ideális helyzet, az egybeesés, tökéletesen nem valósítható meg, de napjainkra már igen jól meg tudjuk közelíteni. A tengelyek helyzete szerint három alapesetet különböztetünk meg. [1][2][5]

- **Párhuzamossági eltérést:** A 3. a. ábrán jól látható, hogy párhuzamossági hibáról abban az esetben beszélhetünk, ha a két gép geometriai értelemben vett forgástengelyei párhuzamosak ugyan, de nem esnek egybe. A hiba természetesen a függőleges és vízszintes síkban egyaránt előfordulhat. [4]



3. ábra A tengely beállítási hibák két alaptípusa. Párhuzamos eltérés (a), Metsződés, vagy szöghiba (b) [1]

- **Metsződést (szöghiba):** Metsződés esetén a geometriai értelemben vett forgástengelyek nem párhuzamosak egymással, hanem a vízszintes és/vagy függőleges síkban szöget zárnak be. A metsződés lehet a tengelykapcsoló szimmetria síkjában, de azon kívül eső ponton is. Lásd. 3. b. ábra. [1]
- **Kitérést:** Kitérés esetén a kapcsolódó tengelyek egyszerre párhuzamosan és szögben, illetve vízszintesen és függőlegesen is eltérnek az ideálistól. Az iparban ez a leggyakrabban előforduló tengely-beállítási hiba, kiküszöbölését mindkét síkban el kell végezni. [1]

1. 3. A tengely-beállítási hibák okai

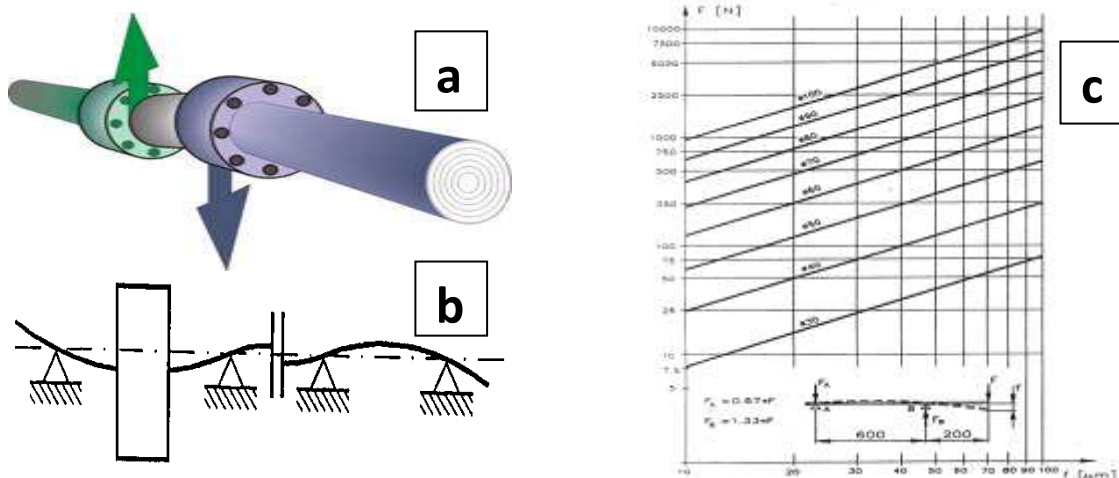
Bármennyire is ügyelünk a tengelykapcsolók gyártási tűréseinek betartására, valamint a gépek telepítésénél a tengelyek helyzetpontosságára, előfordulhatnak egyéb tényezők is, amelyek a tengelyek kitérő helyzetét eredményezhetik. A leggyakrabban előforduló okok az alábbiak lehetnek:

- tervezésnél figyelembe nem vett terhelések okozta deformációk;
- a tengelykapcsolók gyártási hibái, vagy anyaghibái;
- az üzemi hőmérséklet hatására, az eltérő „hőtágulás” miatt létrejött deformációk;
- a szerelés pontatlansága, nem megfelelő mérőműszer használata;
- a forgórész tömege alatt meghajló tengelyek speciális rugalmas szál lehajlása;
- emberi hanyagságra visszavezethető ok (a technológiai utasítások figyelmen kívül hagyása).

2. A TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK KÁROSÍTÓ HATÁSAI

2. 1. Tengely deformációk és csapágy károsodások

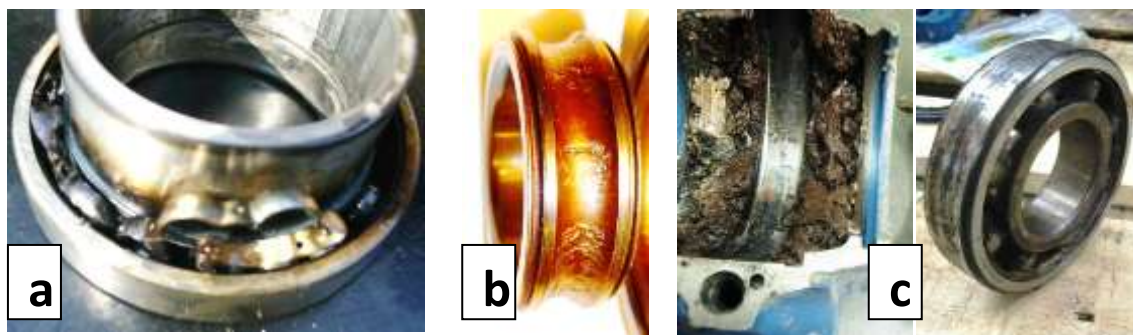
Mi történik akkor, ha egy hajtásláncba hibás tengelykapcsolókat építünk be, vagy az egyébként kitérő helyzetű tengelyeket a szerelés során egy közös egyenes felvételére kényszerítjük? A két tengelykapcsoló fél összekapcsolása (összehúzatása) során ebben az esetben olyan reakció erők jönnek létre, amelyek a tervező által nincsenek a gépszerkezetbe „álmodva”, viszont jelentősen megnövelhetik a csapágyak terhelését, a tengelyek és a tengelykapcsolók deformációját eredményezhetik, amint azt a 4. a és 4. b ábrák is szemléletesen mutatják.



4. ábra A kitérő tengelyeket terhelő erők
(a), A tengelyek deformációja (b), A deformációból eredő reakció erők (c)

A gép beindításakor a 4. b ábrán látható deformálódott tengely a térben álló semleges szál körül forog, azaz az egész tengely állandó rugalmas deformációt szenved teljes hosszában. Ez az állandó deformációs munka energia veszteséget és a tengelyek idő előtti kifáradását idézheti elő. A rugalmas szál síkgörbe, vagy térgörbe lehet aszerint, hogy a csapágyak egy síkban vannak-e, vagy sem. [1]

A tengely-beállítási hiba okozta lehajlás hatását a 4. c ábra segítségével szemléltetem. Egy tengely csapágyázását a mechanikából ismert egyszerű kéttámaszú tartóként kezelve, az ábrán látható adott geometriai helyzetre kiszámítottam a lehajlásból (a tengelykapcsoló felek összekapcsolásából) adódó kényszererő, illetve az ezzel egyensúlyt tartó csapágy reakcióerők nagyságát. A tengelyátmérőket $\varnothing 30 - \varnothing 100$ mm, a tengelybeállítás hibáját szimbolizáló lehajlásokat 10 - 100 μm között 10 μm -es lépésenként vettem fel. Logaritmikus léptékben ábrázolva a kapott eredményt, jól látszik, hogy a tengelyátmérő és a tengely-beállítási hiba nagyságának növekedése egyaránt az F erő növekedését eredményezi. A legnagyobb értékeket figyelembe véve pedig megállapítható, hogy egy $\varnothing 100$ mm-es tengelyátmérőnél és mindössze 0,1 mm-es tengely-beállítási hibánál a tengelyek "összekényszerítéséből" akár $F_B = 13\,300$ N csapágy reakcióerő is keletkezhet a gép egyéb üzemszerű (előre tervezett) terhelésén túlmenően. Ha figyelembe vesszük, hogy egy átlagos 100 mm-es furatátmérővel rendelkező (pl. 6320 típusszámú) mélyhornyú golyóscsapágy maximális dinamikus alapterhelése 45.000 N, akkor könnyen beláthatjuk, hogy a helytelen beállítás idő előtti csapágy tönkremenetelhez vezethet és közel 30%-os élettartam csökkenést okoz. A csapágy és csapágyház károsodásra mutat példát az 5. ábra képei, melyeken nem megfelelő beállítás miatt bekövetkezett kosár törés (a.), belső gyűrű pittinges kopása (b.), illetve egy csapágyház közel 1 mm-es kopása látható, melyet a tengely-beállítási hiba és a 5. c. képen látható házban megforduló csapágy okozott.



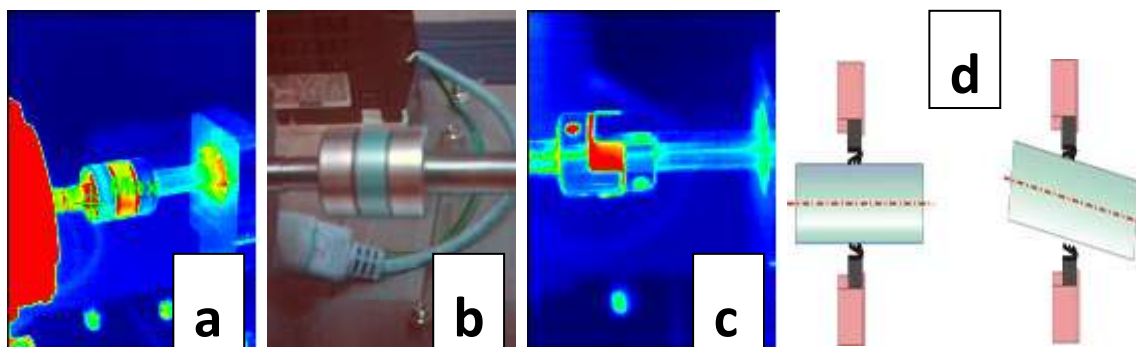
5. ábra Tengely beállítási hiba miatt bekövetkezett gördülőcsapágy és a csapágyház tönkremenetel [11]

A pontatlan tengelykapcsolatból származó erőket a csapágy radiális-, axiális-, vagy szöghézagai némileg ugyan csökkenthetik, de az a paradox helyzet áll elő, hogy minél robosztusabb és merevebb egy gépcsoport, annál pontosabban kell a tengelyeket beállítani a reakcióerők minimalizálása érdekében. Már itt is szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy ezek szerint a beállítást 0,1 mm-nél pontosabban kellene végrehajtanunk, egy átlagos ipari szerelésnél alkalmazott élvonalzó pontossága viszont ez alatt van.

2. 2. A tengelykapcsoló melegedése és a tömítések károsodása

A tengely alakváltozását okozó erőhatás mind a hajtó, mind a hajtott gép csapágyainak élettartamára hatással van. Abban az esetben, ha rugalmas tengelykapcsolót alkalmazunk, az erő a

rugalmas elemen jelenik meg és annak tervezettnél korábbi kifáradását, élettartam csökkenését okozza. A belső súrlódás és a deformációs munka következtében a deformációban részt vevő gépelemek, elsősorban a tengely-kapcsolók rugalmas elemei, a tengelyek, illetve a csapágyak melegsznek fel, melyet plasztikusan ábrázol az 6. a, 6. b. és 6. c. ábra. A deformációs munka nem csak hő-fejlődéssel okoz veszteséget, de a súrlódás miatt növeli az energia felhasználást is, hiszen az ily módon hővé alakuló munka növeli a motorok áramfelvételét. Mérésekkel és számításokkal kimutatható, hogy az áramfelvétel növekedés éves viszonylatban akár 4-5 %-os elektromos áramfogyasztás növekedést is okozhat. [5]



6. ábra Rotex tengelykapcsolós hajtás hőképe (a)

Fényképe(b), A tengelykapcsoló betét melegedése(c), A tengely-beállítási hiba tömítés károsító hatása (d) [11]

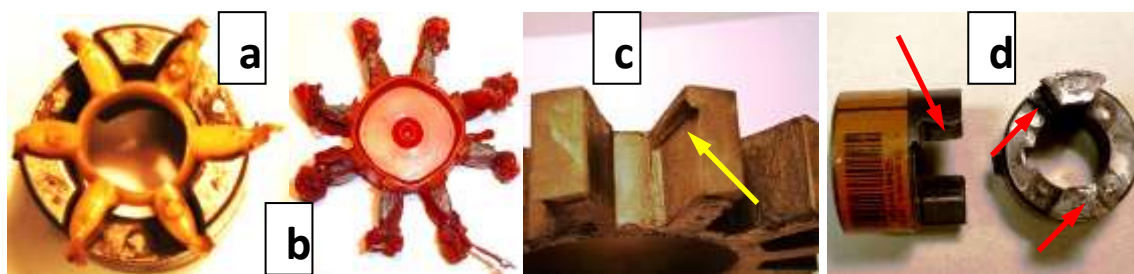
Figyelembe kell még vennünk a károsító hatások elemzése kapcsán azt a tényt is, hogy a tengelykapcsoló felekkel összekényszerített ferdén álló tengelyek nem koncentrikusan helyezkednek el a tömítésekben sem. Ezt szemlélteti a 6. d. ábra, amelyen egy tömítés igénybevétele látható. A tönkremenetel folyamata un. primer károsodásként gyors tengelykopással, a tömítés előregedésével és vetemedésével kezdődik, ebből következően idegen anyag (pl. por) jut a gép belsejébe, ez olajszennyeződést okoz, ami un. szekunder károsodásként a belső gépelemek, csapágyak, fogaskerekek berágódásához vezet. [2][4]

2. 3. A tengelykapcsoló betét és a tengelykapcsoló agy károsodása

A tengelyek kitérő helyzetéből adódó deformációt a tengelykapcsolók rugalmas elemei veszik fel, amelyek a hővé alakuló deformációs munka következtében kilágyulnak, sőt akár el is olvadhatnak. A 6. b. ábrán példaként látható Rotex műanyag betétes tengelykapcsolók alkalmazásával a szerelésre, beállításra fordított idő jelentősen csökkenthető, azonban a műanyagok a hő hatására hamar kilágyulnak, amint azt a szakértői gyakorlatomból származó 7. a. 7. b. és 7. c. ábrák példái is mutatják. Amikor a betét elolvad és a tengelykapcsoló felek kisajtolják maguk közül a műanyagot, megkezdődik a fém részek kopása. Erre egy jellemző példát a 7. d. ábrán kísérhetünk figyelemmel, melyen nyilakkal jelöltem a kopás helyét.

3. A TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBA KIMUTATÁSA REZGÉSMÉRÉSSSEL

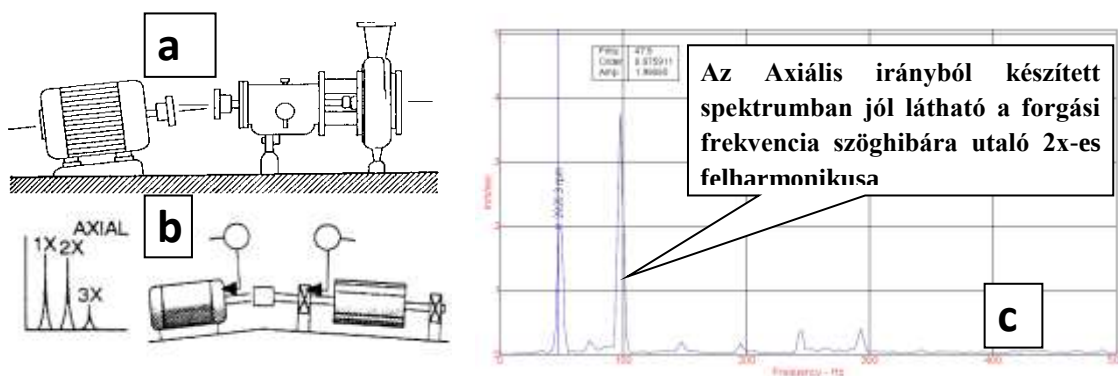
Sajnos még napjainkban is előfordul, hogy a szükséges ellenőrzések és beállítások nélkül állítanak üzembe gépeket, amely sok esetben korai tönkremenetelhez, esetleg géptöréshez vezethet. Attól a pillanattól kezdve, amikor egy gépet üzemeltetni kezdenek már csak teljes terhelés alatt, megbontás nélkül tudunk a műszaki állapotáról információt szerezni.



7. ábra Műanyag tengelykapcsoló betétek (a,b,c) és tengelykapcsoló agy (d) károsodása [11]

Erre a legalkalmasabb a műszaki diagnosztikai módszer a rezgésdiagnosztika, amely a rezgések idő- és frekvenciatartománybeli jellemzőinek meghatározásával a gép leállítása, vagy szétszerelése nélkül is képes a mechanikus hibák kimutatására. A tengely-beállítási hiba hatására keletkező erőket, illetve az ezekből létrejövő rezgéseket a modern rezgésmérő műszerek az időjel és a frekvenciaspektrum grafikus megjelenítése útján jelzik ki. Ezekben a spektrumokban a rezgés amplitúdó, a frekvencia és fázisszög alapján sok más jellegzetes hiba mellett a tengely-beállítási probléma is beazonosítható. [5]

A tengely-beállítási hiba jelenléte a tengelyek deformációjában nyilvánul meg, amely a tengely körülfordulása miatt pulzáló erőhatásokat hoz létre a csapágyazási helyeken. Az ismétlődő erőhatások jellegzetes frekvencia spektrumot hoznak létre, hiszen az erő impulzusok a tengely fordulatszámán, valamint ennek egész számú többszörösein (felharmonikusain) fognak rezgés-amplitúdókat gerjeszteni. A tengely beállítási hibákat jellemző szimptómák ismeretében a különféle más hibáktól, pl. csapágyhibák, kiegyensúlyozatlanság, fellazulás, stb. el tudjuk különíteni a rezgésjeleket, így a pontos diagnózis ismeretében megfelelő karbantartási intézkedéseket lehet fogantatosítani.



8. ábra A szöghiba sematikus ábrája [4] (a). Jellegzetes spektrumképe, [5] (b).

Egy általam mért centrifugál szivattyú szöghibára utaló axiális rezgésebbesség spektruma (c) [11]

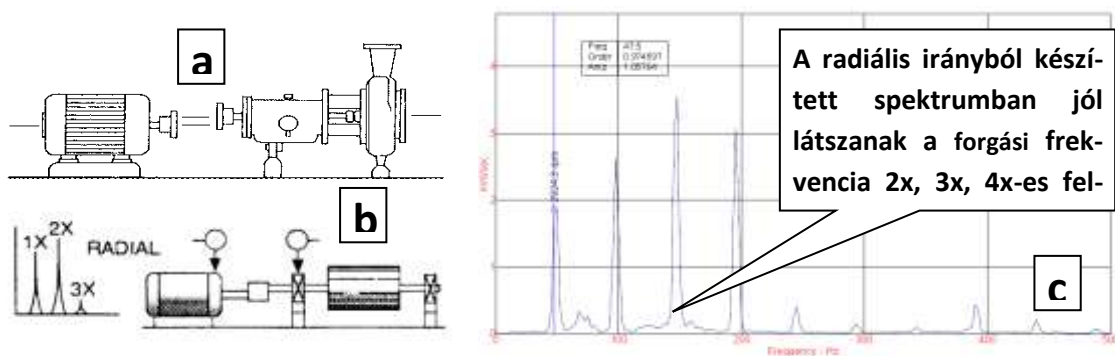
3. 1. A szöghibára utaló jellegzetes rezgésspektrum

Az egymáshoz képest szögben álló tengelyeket a pulzáló erők egy körülfordulás alatt kétszer hajlítják meg, ezért a szöghiba jelenlétét a rezgésspektrumban magas axiális irányú rezgés és a tengelykapcsoló két oldalán szintén axiális irányban mérhető 180°-os fázisszög különbség jellemzi, amint az a 8. ábrán is megfigyelhető. Ez arra utal, hogy a tengely egy körülfordulása során egyszer pl. lefelé, egyszer felfelé hajlik. A hiba jellegzetessége, hogy magas amplitúdót találunk a spektrumban a forgási frekvencia 1x-es és 2x-es harmonikusainál, azonban nem

ritka, a 3x-os frekvencián, vagy az ezeknek egész számú többszöröseinél jelentkező magas amplitúdó sem. A hiba tökéletes azonosítása a 2x-es axiális felharmonikus 180° -os fázisszög különbségével lehetséges. A szöghiba megjelenésére mutat példát az 8.c. ábra, melyen egy szeszipari centrifugál szivattyú tengelykapcsoló felőli motorcsapágyának axiális irányból készített rezgésebbesség spektrumképe látható. A szivattyún lézeres tengelybeállító készülékkel is azonosítható volt a megengedhetőnél nagyobb mértékű szöghiba jelenléte. [5]

3. 2. A párhuzamos tengely-beállítási hibára utaló jellegzetes rezgésspektrum

A párhuzamos tengely-beállítási hiba hasonló rezgés jelenségeket produkál mint a szöghiba. A magas rezgés amplitúdók és a tengelykapcsoló két oldalán mérhető 180° -os fázisszög különbség ez esetben, amint a 9. ábrán is látható, radiális irányban jelentkeznek. A 2x-es harmonikus gyakran magasabb mint az 1x-es amplitúdó, ezek egymáshoz viszonyított arányát általában a tengelykapcsoló típusa, illetve a hajtás kialakulása határozza meg. Amikor egy párhuzamossági tengely-beállítási hiba veszélyessé válik, a spektrumban a magasabb (4x-es - 8x-os) felharmonikusokon is magas rezgéscsúcsokat, vagy a magasabb felharmonikusok teljes sorozatát diagnosztizálhatjuk.



9. ábra A párhuzamos eltérés sematikus ábrája[4] (a), Jellegzetes spektrumképe[5] (b), Egy általam mért centrifugál szivattyú párhuzam hibára utaló axiális rezgésebbesség spektruma(c) [11]

Ipari gyakorlatomból a párhuzamos tengely-beállítási hiba megjelenésére az 8. c. ábrán mutatok példát, melyen szintén egy centrifugál szivattyú tengelykapcsoló felőli motorcsapágyának radiális irányból készített rezgésebbesség spektrumképe látható. A szivattyún lézeres tengely-beállító készülékkel azonosítható, a megengedhetőnél nagyobb párhuzamos eltérés volt. [7]

A műszaki gyakorlatban a feszültség alatt forgó géprendszerek esetében a szinuszos gerjesztésre adott válasz nem lesz harmonikus, mert a gépek a feszültség hatására a rugalmassági tenzor nem lineáris szakaszára terelődnek. Abban az esetben, ha a válasz függvény nem harmonikus, akkor ennek felbontása során felharmonikusok és oldalsávok jelennek meg a spektrumban. Az összekapcsolt gépek feszültség alatt járnak, ha a spektrum első három felharmonikus amplitúdójának összege meghaladja a forgási frekvencia amplitúdóját.

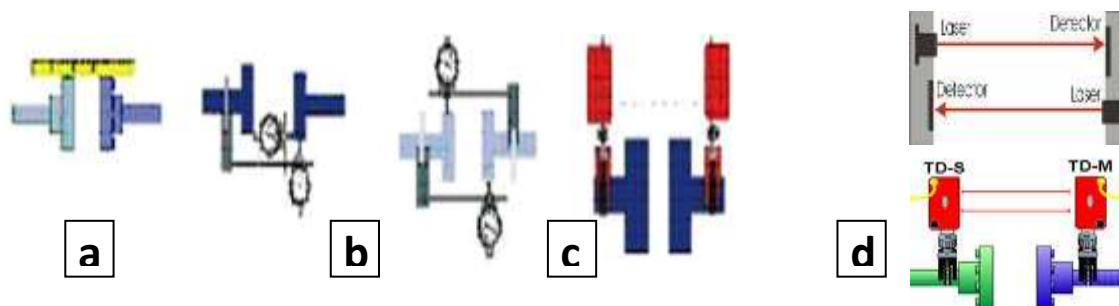
4. A TENGYELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK ELLENŐRZÉSE ÉS BEÁLLÍTÁSA

4. 1. A tengely-beállítási módszerek

Amint az előzőekből láttuk a tengely-beállítási hibák rezgésméréssel üzem közben is kimutathatók, a pontos tengelybeállítás azonban csak álló gép esetén lehetséges. A következőkben

nézzük meg, hogyan történik a tengely-beállítás ellenőrzése, illetve nem megfelelő beállítás esetén a probléma kiküszöbölése. [2]

Mivel a tengely-beállítási hibák leggyakrabban „kitérő” tengelyhelyzetként jelennek meg, a gépcsoportok beállítását a vízszintes és függőleges síkban egyaránt el kell végezni. A vízszintes mozgatás elcsúsztatással a függőleges pedig alátétlemezekkel történik. Gépláncok esetében a beállítást mindig a munkagépnél kell kezdeni, a munkagép ugyanis általában a legnehezebb, így hozzá képest a hajtóművet, illetve a hajtóművekhez képest a villamos motort egyszerűbb mozgatni. A géptengelyek egymáshoz képest vett helyzetét a hagyományos mérési eljárások segítségével durva beállítás esetében élvonalzóval (lásd 10. a. ábra), illetve a 10. b. ábrán látható módon, mérőórákkal lehet kimérni. Ez az a klasszikus módszer, amikor a mérőórát nullázva, majd a tengelyt körbeforgatva négy mérési pozícióban le kell olvasni, dokumentálni kell az eredményeket, majd trigonometriai számítással határozzuk meg az eltérést. Mindkettő hosszantartó és a korszerű lézeres tengelybeállításhoz képest pontatlan művelet.



10. ábra A tengely-beállító módszerek (a.), (b.) és (c.), valamint az iker lézer adó-vevő kialakítása (d.) [5]

Napjaink korszerű 10. c. és 10. d. ábrán látható iker lézeres elven működő tengelybeállító eszközeiben a mérőórákat lézer detektorok váltották fel, amelyek ezredmilliméter pontossággal képesek a lézersugár becsapódási helyét érzékelni akár 20 méter távolságban is. Az időigényes és emberi tévedésre lehetőséget adó számológépet beépített számítógép váltotta fel, amely a lézer detektor által szolgáltatott mérési eredményeket másodpercenként többször is képes kiértékelni, majd az érintős képernyőn megjeleníteni. [7]

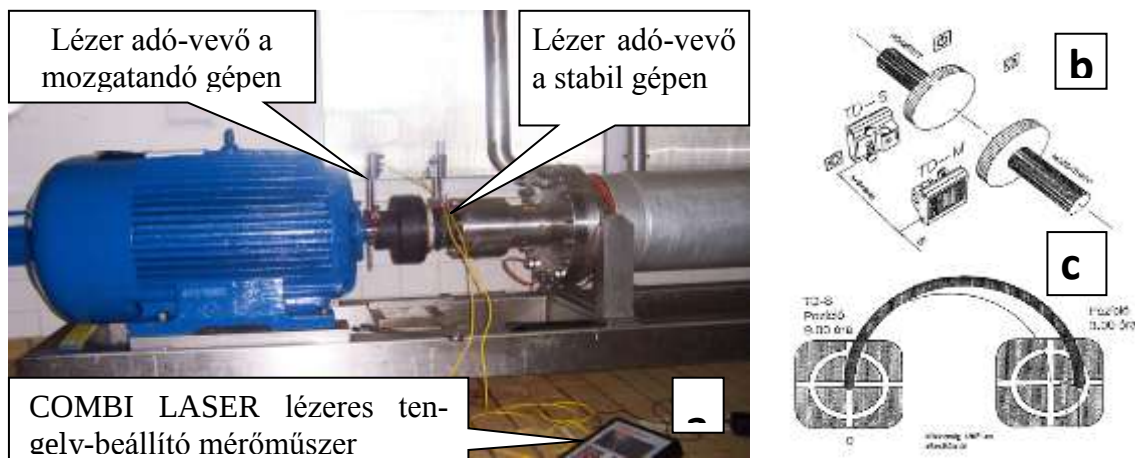
Ez nemcsak a mérés pontosságát növeli, de a tengelybeállítás időigényét is jelentősen csökkenti, nem is beszélve a gyors dokumentálhatóságról, amely áttekinthető formában ad képet a beállítás előtti és utáni állapotról.

4. 2. A tengely-beállítás folyamata lézeres tengely beállító készülékkel

A két lézer adó-vevő egységet a beállítandó tengelyekre szereljük a láncos, vagy mágneses rögzítő elemek segítségével. A TD-S jelűt mindig az álló vagyis a stabil gépre, míg a TD-M jelűt a mozgatható (beállítandó) gép tengelyére, amint azt a 11. a. ábra szemlélteti.

A mérések úgy végezhetők el, hogy a tengelykapcsolót tengelyekkel együtt elfordítjuk a három különböző 9.00, a 3.00 és a 12.00 órát reprezentáló pozíciókba lásd 11. c. ábra. Ha a tengelyeket elfordítjuk 180°-kal, a lézersugarak és a detektorok a 11.b. ábrának megfelelő módon két különböző félkört írnak le, abban az esetben, ha a tengelyek középvonala között eltérés van. Ezen félkörök középpontjai az álló (stabil) és a mozgó (mobil) egység forgási középpontjait képezik. A detektorok a két félkör helyzetét mérik. A beállítás során 11.c. ábrának megfe-

először 9 óránál nullázzuk, majd 3 óránál a vízszintes, 12 óránál a függőleges egytengelyűséget ellenőrizzük. [7]



11. ábra Példa a COMBI-LASER tengely beállító műszer felszerelésére [11] (a), A műszer három fő mérési pozíciója (b) A mérési elv bemutatása, a lézersugár becsapódási helyének eltérése hiba esetén (c) [7]

A műszerbe épített számítógép és a 12. a. ábrán látható display egység a detektorok távolságából a bezárt szöget és a mért értékek közötti eltérést jelzi ki. A mért értékek az ábrán látható képernyőn párhuzamos eltérésként és szöghibaként jelennek meg. A display egység megmutatja a gép alapjának helyzetét is, vagyis azt az értéket amellyel az aktuális lábat elmozdítva egy egyenesbe kerülnek a tengelyek. A kijelzőn megjelenő értékek a mérés során változnak, tehát mérés közben is láthatjuk, hogy helyes irányban, megfelelő mértékben sikerült-e elmozdítanunk a gépet.

Fordulatszám [1/min]	Megengedhető szöghiba: [mm/100mm]		Párhuzamossági hiba [mm]	
	Jó	Elfogadható	Jó	Elfogadható
3600	0.03/100	0.05/100	0.025	0,05
3000	0.05/100	0.06/100	0,05	0,07
2000	0.06/100	0.08/100	0,06	0,10
1500	0.07/100	0.10/100	0,07	0,15
900	0.10/100	0,15/100	0,10	0,20

1. táblázat A tengelybeállítás ajánlott beállítási pontossága a COMBI LASER típusú műszer esetében [7]

A műszeres beállítás kapcsán szólnunk kell még a tengelybeállítás pontossági előírásairól. Amint az előző fejezetekből kitűnik, ez függ a tengelyátmérőtől, de a legfontosabb paraméter a fordulatszám, mivel ez nagymértékben befolyásolja a tengelyt és csapágyazást terhelő ismétlődő igénybevétel számát. Napjainkban egy tengelykapcsolat beállítási pontosságát már a tervezés során figyelembe veszik. Értékét általában a gépet tervező cég adja meg a gyártó és az üzemeltető részére átadás-átvételi kritériumként. A fordulatszám függvényében általános ajánlásokat minden műszergyártó készít a saját eszközeikhez. Erre példát az 1. táblázatban láthatunk, amely szemléletesen mutatja a fordulatszám növekedésével szigorodó előírásokat.

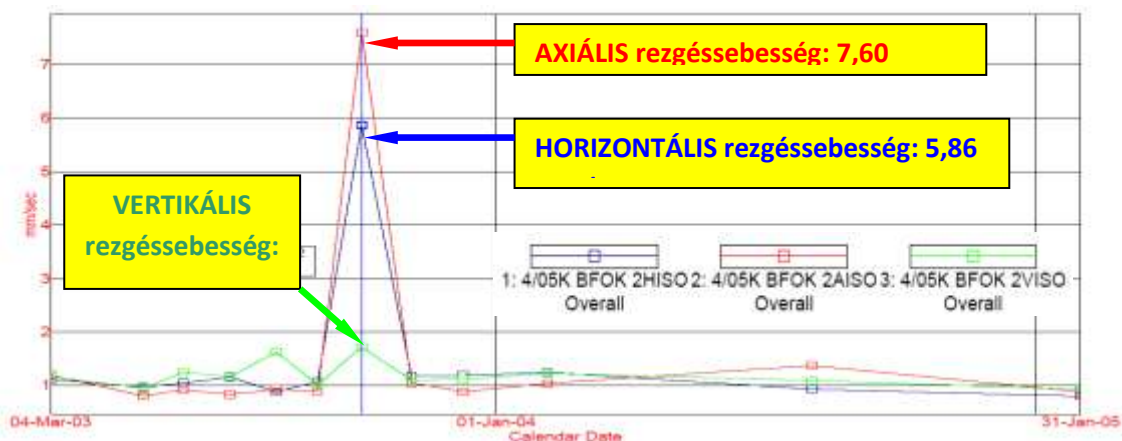
5. VÁKUUMSZIVATTYÚ REZGÉSDIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATA ÉS EGYTENGELYŰSÉG BEÁLLÍTÁSA

Egy élelmiszeripari gyárban üzemelő $P=30$ kW teljesítményű, $n=2980$ 1/min fordulatszámú vákuumszivattyú fényképét a 12. b. ábrán kísérhetjük figyelemmel, amely a valóságban egy egyszerű motorból – tengelykapcsolóból – szivattyúból álló gépláncnak felel meg. [8]



12. ábra A COMBI LASER műszeren kijelzett információk [11] (a),
Az esettanulmányban szereplő vízgyűrűs SIHI LPH típusú vákuumszivattyú képe (b) [8]
A motor-szivattyú egység mérési azonosítóinak felépítése (c)

A szivattyú feladata egy ún. „dobszárító” egység felületére az élesztőtej vákuummal történő „rászívása”, majd szigorú technológiai előírásnak megfelelő, nagymennyiségű nedvesség kiszivattyúzása. A szivattyú fontos szerepet tölt be az élesztőgyártás folyamatában, mivel ennek segítségével állítják elő a végterméket. Tökéletes működése meghatározó az élesztő minőségét illetően, leállása esetén az élesztőgyártás szünetel, nem tudnak élesztőt előállítani.

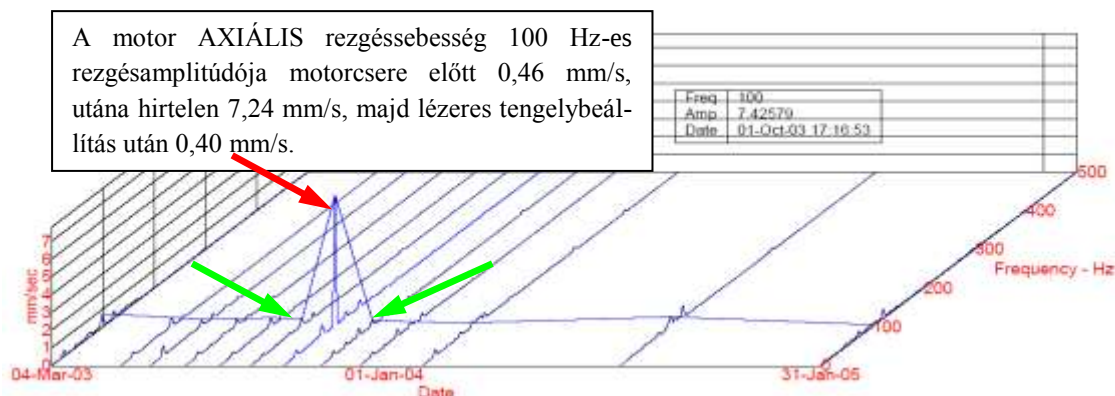


13. ábra A vákuumszivattyú kuplung felőli motorcsapágyának vízszintes, függőleges és axiális rezgésebbesség mérési eredményei, RMS „overall” értékek a 10-1000 Hz frekvencia tartományban[11]

A 13. ábra rezgésmérési trendjén látható időszakban a gépen több éven át, havi, majd negyedéves gyakorisággal rendszeresen végeztem rezgésdiagnosztikai állapotfigyelést a vezetésem alatt álló Mc. Method Műszaki Szolgáltató Betéti Társaságon keresztül. A vákuumszivattyú rezgésmérése a 12. c. ábrának megfelelően, a motor és a szivattyú csapágyazási helyein vízszintes (HOR), függőleges (VER) és axiális (AXI) mérési irányokban történt. A rezgésmérés során ugyanazon műszerbeállításokkal a ugyanazon mérési helyeken a mechanikus hibák kimutatására szolgáló rezgésebbesség, valamint a csapágy elhasználódásra utaló rezgésgyorsu-

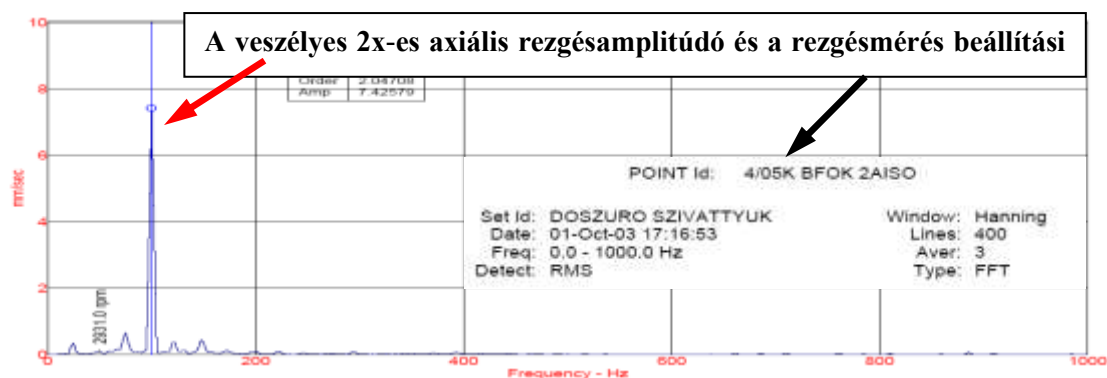
lás, Envelop³, SEE⁴ és HFD⁵ rezgésjellemzők diagnosztikai méréseit végeztem el.

A gép rezgésmérését SKF MICROLOG CMVA 10 típusú digitális rezgésanalizátorral, többfunkciós Wilcoxon CMSS 786 M piezoelektromos érzékelővel hajtottam végre. [9]A mérés során keletkező nagyszámú mérési adat és rezgésspektrum feldolgozását a PRISM4 for Windows mérési adatfeldolgozó és kiértékelő szoftverrel végeztem el. Ezt a szoftvert használtam a cikkben látható rezgésspektrumok, trendek és „palogram” diagramok dokumentálásában is.



14. ábra A motor tengelykapcsoló felőli csapágyának axiális (2AXI) rezgésebbesség spektrumon belüli változásait bemutató "palogram" diagram [11]

A berendezés tartósan elfogadható rezgésszinten üzemelt, (melyet a 13. ábra trendjén és a 14. ábra „Palogram” diagramján figyelemmel kísérhetünk) egészen addig, míg a gépen 2003 szeptemberében egy elektromos probléma, motor forgórész tekercs szakadás miatt, motort nem kellett cserélni.



15. ábra A tengely-beállítási hibára utaló veszélyes (7,42 mm/s) axiális rezgésebbesség amplitúdó [11]

Az szokásos októberi ellenőrző rezgésmérés során a szivattyú tengelykapcsoló felőli csapágyain veszélyes rezgésnövekedést diagnosztizáltam, melynek valószínűsíthető oka az volt, hogy a csere során a szakemberek nem gondoltak a pontos tengelybeállítás fontosságára, így hirtelen jelentős rezgésebbesség növekedés jött létre axiális és horizontális mérési irányban.

Az ISO 10816 szabvány szerint erre a vákuumszivattyúra a 10-1000 Hz frekvenciatartomány-

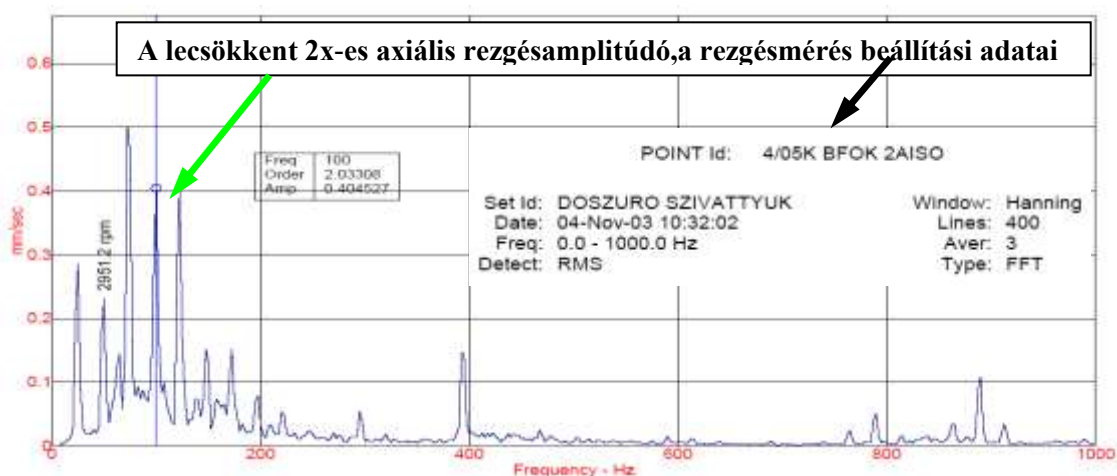
³ Envelop – Az SKF csapágyvizsgálathoz szabadalmaztatott rezgésgyorsulás burkológörbe eljárása [9]

⁴ SEE – Spectral Emitted Energy - Az SKF kenési állapot vizsgálatára szabadalmaztatott eljárása [9]

⁵ HFD – High Frequency Domain - Az SKF nagyfrekvenciás csapágyvizsgálatra szabadalmaztatott eljárása [9]

ban a rezgésebesség RMS⁶ „overall” értékének nem kielégítő értéke 2,8 mm/s, a veszélyes szint határa 7,1 mm/s. [10] Ez alapján megállapítottam, hogy a rezgések veszélyes nagyságúak, ezért azonnali beavatkozásra van szükség. A rezgésspektrumok kiértékelése során kimutattam, hogy a spektrumon belüli rezgésnövekedés axiális irányban a 2x-es forgási frekvencián következett be, amely alátámasztotta a vízszintes tengely-beállítási hiba diagnózist.

Természetesen sürgős egytengelyűség ellenőrzést javasoltam, melyet hamarosan végre is hajtottunk egy COMBI-LASER típusú tengelybeállító készülék segítségével. A tengelybeállítás során a műszer horizontális irányban 0,3 mm-es párhuzamossági, illetve 0,48/100 mm-es szöghibát mutatott ki. Az 1. táblázat alapján ez egyértelműen alátámasztotta a veszélyes szöghiba rezgésspektrum alapján diagnosztizált szimptomáit. Mivel viszonylag kis gépről volt szó a hibát kb. egy óra alatt sikerült megszüntetni, ami a műszer fel és leszerelését is tartalmazta.



16. ábra A tengely-beállítási hiba megszűnésére utaló 0,40 mm/s axiális rezgésebesség amplitúdó [11]

A beállítás után az ellenőrző rezgésmérést elvégezve megállapítottam, hogy a hiba kiküszöbölése tökéletesen sikerült. Ezt mutatja a 13. ábra trendje, a 14. ábra „palogram” diagramja, melyekben jól látszik a beavatkozás előtti és utáni amplitúdó változás. A 16. ábra spektrumképe mutatja, hogy a 100 Hz-es 2x-es rezgésebesség amplitúdó 7,42 mm/s-ról 0,40 mm/s-ra csökkentésével a gép műszaki állapotát sikerült megfelelő szintre visszaállítani.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkemben a tengely-beállítási hibákkal foglalkoztam, melyek a gépek gyors tönkremenetelét okozhatják, ezért a folyamatosan termelő üzemek alapvető érdeke a hiba időben történő felismerése. Az esettanulmány alapján belátható, hogy a korszerű eszközök használata jelentősen megkönnyíti a hiba feltárását, illetve gyors beavatkozást biztosít annak kijavítására is. Hozzá kell még tennem, hogy a vákuumszivattyú esetében egyértelműen sikerült megakadályozni a motorcsapágó váratlan tönkremenetelét, mivel a karbantartók meg voltak győződve arról, hogy a „szerintük” jól végzett karbantartási munka után a szivattyú sokáig hibamentesen fog üzemelni. Az éppen időben elvégzett hatékony beavatkozás nélkül a motor, vagy a

⁶ RMS – Root Mean Square, négyzetes középérték

szivattyú csapágy tönkremenetele, a gép kényszerleállása akár több millió forint veszteséget is okozhatott volna. A tengely-beállítási hiba nem csak a termelő vállalatoknál, hanem a haditechnikai eszközök üzemeltetésében is fontos szerepet játszik, hiszen csak megfelelően beállított gép esetében lehetünk biztosak annak hadrafoghatóságában.

A napjainkban több cég által forgalmazott, egyre népszerűbb lézeres tengelybeállító készülékek a tengelybeállításon kívül alkalmasak pályaegyenesség, síklapúság, függőleges tengelyű peremes gépek, kardántengelyek beállítására, valamint az ún. „puha láb” jelenség kimutatására is. Sajnos e cikk terjedelme miatt nem állt módomban az összes mérési lehetőség részletes ismertetése, azonban gyakorlati tapasztalataim alapján elmondhatom, hogy a lézeres tengelybeállító készülékek rendkívül meggyorsítják az üzemekben működő gépek javítását és jelentős karbantartási időt takaríthatnak meg a felhasználók számára.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk és előadás a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt keretein belül készült. „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

This article made in „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt”. The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZABÓ József Zoltán - Dr. KÉGL Tibor : A tengelybeállítás korszerű eszközei. Gépgyártástechnológia 1994 I – II. szám, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 1994. pp. 65.
- [2] Dr. KÉGL Tibor - SZABÓ József Zoltán: Műszaki diagnosztika (főiskolai jegyzet,) Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Kiadói Hivatala 1993. 2. kiadás 2003, 3.kiadás 2008, L-253.
- [3] ROTEX Tengelykapcsolók <http://www.ktr.com/en/products/couplings/rotex/standard.htm> (2012.03.25)
- [4] C.SCHEFFER-P.GIRDHAR: Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance Verlag: Newnes 30. September 2004
- [5] SZABÓ József Zoltán : Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása Doktori Ph.D. értekezés ZMNE, 2011.
- [6] http://www.skf.com/portal/skf_hu/home?_requestid=4422344
- [7] <http://www.fixturlaser.hu>
- [8] <http://www.sterlingsihi.com/cms/hu/home/gyors-navigacio/letoltesek.html>
- [9] CMVA60 Microlog, Adatgyűjtő/Elemző Kezelési utasítás SKF Condition Monitoring Inc., San Diego, 1999
- [10] ISO 10816-1 – International Standard: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts Reference number: ISO 10816 1:1995/Amd.1:2009(E)
- [11] Dr. SZABÓ József Zoltán : Saját fotó, saját ábra