

## Rezgésvizsgálat

### 1. Bevezetés

A rezgésdiagnosztikai vizsgálat alapelve, hogy **a géprezgés alapján következtetni lehet a gépállapotr**a, ezen túl pedig az egyes géprészek állapotára. Az észlelhető rezgésjellemzők harmonikus összetevőkre bontásával, az egyes géprészek által keltett rezgések elkülöníthetőek, ezáltal a rezgéskeltő elem is meghatározható. Ez az alapelv természetesen csak akkor érvényesül, ha egyéb fontos szempontokat is figyelembe veszünk a mérés előkészítés – mérés – értékelés sorrendjében elvégzett diagnosztikai tevékenységünk során. Ezen túl – tekintettel arra, hogy a diagnosztikai tevékenység nem lehet öncélú - az értékelés során tett megállapításokat a gép üzemeltetéséért felelő dolgozók/menedzsment vagy karbantartó személyzet tudomására kell hozni oly módon, hogy ez kellően érthető legyen és meg lehessen hozni a szükséges döntéseket.

A berendezésen mérhető rezgés mozgásjellemzője bonyolult, és érzékszervi úton történő ellenőrzése igen sok hibát hordozhat magában. A „régikorok” eljárásai közé tartozik a csapágybakon élére állított pénzérme, melynek eldőlése rezgésnövekedésre utal, a gép környezetében észlelhető zaj és rezgés figyelése, a rezgés „kézzátételes” ellenőrzése vagy az ún. „csavarhúzó” csapágyvizsgálat, ahol a csapágybakra helyezett jól vezető fém csavarhúzó segítségével a tapasztalt szakember meghallgatta a csapágyzajt. Léteztek még egyéb eljárások is, ahol az emberi lelemény és a tapasztalat segítségével könnyebbé lehetett tenni gépállapot ellenőrzést. Ez előbbi eljárásokat az első mondatokban vázolt törvényszerűség hívta életre. A technikák és eszközök fejlődésével újabb és újabb lehetőségek nyíltak a pontosabb és pontosabb jelfeldolgozásra, ezen túl pedig a pontosabb diagnózishoz. Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy a modern eljárások is a gép fizikai-dinamikai jellemzőit próbálják feltérképezni, és ahhoz, hogy a jelek értékelését követően megfelelő diagnózist lehessen készíteni kellő tudással és tapasztalattal rendelkező mérnöki tevékenység szükséges.

A forgóberendezéseken (villamos motorok, fűvók, ventilátorok, kompresszorok, szivattyúk stb...) előforduló hibák nagy része (forgórész kiegyensúlyozatlanság, excentricitás, egytengelyűségi hibák, csapágyhiba, alapozási hiba stb...) megjelenik a rezgésképben. Emiatt alakult ki, hogy a forgógépek egyik legelterjedtebb diagnosztikai eljárása a **csapágyrezgés mérése**. Természetesen ahol a gép sajátos jellemzői ezt megkívánják, egyéb diagnosztikai eljárások alkalmazása (pl. kopadék vizsgálat, hőmérséklet mérése) válik szükségessé.

A csapágyazás tekintettel arra, hogy hordozza a forgórészt, felveszi a forgórészt terhelő erőket és önmagában is rezgéseket generál, kiválóan alkalmas arra hogy a mintavétel innen történjen. A rezgésvizsgálat mérési helyeit természetesen kibővíthetjük a géptestre, csővezetékre, gépalapra, és minden olyan helyre ahonnan a vizsgálathoz szükséges diagnosztikai (rezgés)információt meg lehet szerezni.

Elsősorban turbó gépcsoportokon alkalmazható rezgésvizsgálati módszer még a tengelyrezgés mérése. Ezzel a diagnosztikai eljárással anyagunkban nem foglalkozunk tekintettel arra, hogy alkalmazási területe az iparban használatos forgó berendezéseknek csak igen kis hányadát érinti.

Az üzemelést/karbantartást felügyelő szakemberek általában a következő kérdésekre keresik a választ a rezgésdiagnosztika segítségével:

- a) Előfordul valamilyen hiba a berendezésen?
- b) Milyen hibák fordulnak elő a berendezésen?
- c) Mennyire súlyos az adott hiba?

- d) Mely intézkedések szükségesek a hiba elhárításához?
- e) Az észlelt hiba befolyásolja-e a gép üzemét?
- f) Az észlelt hiba mikor fogja befolyásolni a gép üzemét?

A feltett kérdések sorrendjében egyre nehezebb a válasz. Sok esetben az a) pontban feltett kérdésre adott válasz már elegendő, van ahol az f) pont kérdésére keressük a feleletet. Amennyiben ezen vagy hasonló berendezéseken már vannak tapasztalatok könnyebb a válaszadás, illetve a válasz pontosításához sok esetben kiegészítő vizsgálatokra is szükség van.

## 2. Alkalmazások

Tekintettel arra, hogy a géprezgés információt hordoz, minden olyan esetben alkalmazható a rezgésvizsgálati technika, ahol ezekre az információkra szükség van.

### Alkalmazási lehetőségek:

- Forgóberendezések,
  - Villamos motorok,
  - ventilátorok, szivattyúk,
  - kompresszorok,
  - fűvók,
  - turbó gépcsoportok, fogaskerék hajtóművek,
  - papíripari gépek,
  - dekanterek,
  - nyomógépek,
  - őrlőgépek,
  - stb...
- gépalapok,
- csővezetékek,
- épületek,
- egyéb helyek, ahol a rezgés, mint információ hordozó megjelenik.

### Alkalmazási területek:

- Nagyértékű berendezések, ahol az alkatrész meghibásodásából eredő járulékos géphiba nagy költségekkel párosul.
- Nagy technológiai értékű folyamatok, ahol a géphiba miatti termelés kiesés költsége magas.
- Ahol a gép meghibásodása közvetlenül vagy közvetve a dolgozókat veszélyezteti.
- Ha a gép meghibásodása környezeti károkat okoz.
- Ahol a diagnosztikai vizsgálat alkalmazása, az ebből eredő előnyök költséget takarítanak meg.

### Vizsgálati technikák

- Csapágyrezgés vizsgálat,
- rezonancia vizsgálat,
  - leállítás-felfutás vizsgálat,
  - ütésimpulzus vizsgálat – dinamikai merevség teszt,

- mozgás-animációs vizsgálat.

Sok esetben a gép közelében észlelhető magas zaj és rezgés hívja fel a figyelmet a célirányos rezgésvizsgálat szükségességére. Ez a hibafeltáró vizsgálat sokszor már csak a meghibásodás tényét erősíti meg. Ekkor a hiba pontosítható, lehet hogy a rezgéscsökkentő beavatkozás is elvégezhető (pl. egytengelyűség beállítása, forgórész egyensúlyozás) és a berendezés üzembe állítható. Egyes járulékos hibák miatt (pl. csapágyak fokozott igénybevétele miatti idő előtti elhasználódás, alapesavarok fellazulása) a továbbiakban meghatározza az üzembiztonság. Cél, hogy a létrejövő – vagy gyártáskor már meglévő - hibát már a korai szakaszban is fel lehessen ismerni, ezáltal a meghibásodás kockázata a későbbiekben lecsökken.

A vizsgálatok ez előző szempontok figyelembe vételével a következők lehetnek:

- **Gépátadás/gépátvételi vizsgálat**

A szállító sok esetben alkalmazza a gépátadás során az ellenőrző vizsgálatot bizonyítva ezzel az általa leszállított berendezés megfelelő műszaki állapotát.

Az üzemeltető szempontjából is fontos a vizsgálat, mivel ekkor megállapítható, hogy vannak-e rejtett hibák ellenőrizhető, hogy a géprezgés teljesíti-e a vonatkozó előírásokat. Az időben feltárt hiba nagy segítséget jelenthet az üzemeltetőnek mivel, az elhárítás költségeit még a garanciális időn belül a szállítóra/gyártóra terhelheti.

- **Nagyjavítás előtti vizsgálat**

A nagyjavítás időtartama a fokozott termelési tempó miatt sok esetben lerövidül. Tovább nehezíti a feladatot, hogy a karbantartó személyzet létszáma kevés. Amennyiben még üzemidő alatt a berendezések állapotfelmérése megtörténik a gépleállítás/nagyjavítás idejére meghatározható, hogy melyek a problémás berendezések, és melyek azok ahol nincs rendellenesség. Ezáltal a javítás során elegendő a meghibásodott berendezések célirányos javítása, mely időt és energiát takarít meg.

- **Nagyjavítás utáni vizsgálat**

A korábban hiba nélkül üzemelő rendszerben előfordulhatnak problémák az indulást követően. Célszerű továbbá ellenőrizni az elvégzett javítások hatékonyságát is, tekintettel arra, hogy minden javításnál előfordulhatnak hiányosságok. A hibák feltárásával és javításával a későbbiekben nagyobb meghibásodások előzhetőek meg.

- **Rendszeres vizsgálat**

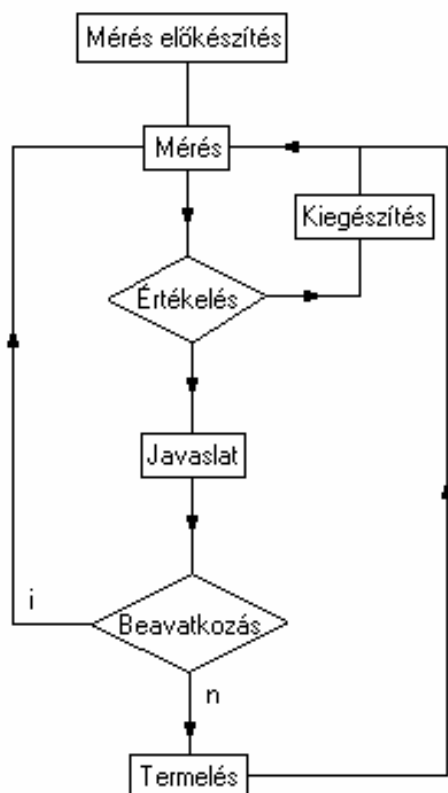
Amennyiben a kopási folyamatokat nyomon követjük előre felmérhető, hogy mikor éri el a meghibásodás az üzem számára is kritikus mértéket. A hibák így idejében észlelhetőek és ütemezett módon javíthatók.

A rendszeres mérés idejének a gyakoriságát úgy kell meghatározni, hogy potenciális (üzemet még nem veszélyeztető) hiba kialakulásától a funkcionális (üzemet veszélyeztető) hiba bekövetkezéséig eltelt idő alatt legalább egy ellenőrzés legyen. Tapasztalataink alapján a rendszeres vizsgálatok optimális ciklusa 2-4 hónap.

Az előzőekben vázolt felhasználások bármelyik karbantartási rendszerbe beilleszthetők, ezáltal elérhető diagnosztikai munka maximális hatékonysága.

### 3. A rezgésvizsgálat menete

A rezgésdiagnosztikai vizsgálat a – mérés előkészítés – mérés – értékelés tevékenységek láncolatából áll (1. ábra). Ezek a tevékenységek egymáshoz szorosan kapcsolódnak és egymással kölcsönhatásban vannak.



1. ábra  
A rezgésdiagnosztikai vizsgálat menete

A rezgésdiagnosztikai vizsgálat első lépése a mérés előkészítése. Ekkor szemrevételezzük a vizsgálandó gépet és lehetőség szerint a legtöbb információt megszerezzük annak érdekében hogy megismerjük a berendezés belső felépítését és a működés módját. Ezek ismeretében tudjuk kiválasztani a megfelelő mérőeszközt és mérési, jelfeldolgozási eljárást. A mérés végrehajtásakor a korábban meghatározott mérési helyeken rögzítjük a mérendő rezgésadatokat.

Az általános gyakorlat hogy a gép csapágyain mérünk a tér három irányában (függőleges, vízszintes és axiális) irányokban. A mérési pontok meghatározásánál segítséget nyújthatnak az ide vonatkozó ajánlások és a gyártó által kialakított/javasolt mérési helyek.

A legtöbb forgógép stabil fordulaton és terhelés mellett üzemel. Sok berendezés fordulatszáma és terhelése változtatható, de a vizsgálat idejére megoldható a stabil fordulaton és üzem a termelés veszélyeztetése nélkül. Tekintettel arra, hogy az észlelhető rezgések stacioner jellegűek és periodikusan ismétlődnek, a feldolgozás során úgy kezeljük az eredményeket mintha a mért jellemzők egy adott pillanatra vonatkoznának. Speciális esetben előfordulhat, hogy egyszerre több ponton kell mérni a rezgésjellemzőket (nem biztosítható a stabil üzem). Ekkor egyszerre több érzékelőt használó (és az adatokat rögzítő) többcsatornás analizátorokra van szükség.

Ezt követően történik az adatok feldolgozása és értékelése Amennyiben további információkra van szükség ezeket be kell szerezni. A további adatok lehetnek a gép gyártójától kapható újabb információk, de egyes esetekben célirányos kiegészítő vizsgálatokra (pl. rezonancia vizsgálat, mérés egyéb üzemi körülmények mellett) is szükség lehet.

A vizsgálat végeredményeként meghatározhatók a szükséges intézkedések. melyek végrehajtását követően ellenőrzés szükséges.

Ha a vizsgálat során nem észlelhető rendellenesség akkor beavatkozás nélkül folytatódik az üzemelés. A következő ellenőrzés során a mérés előkészítést már nem kell végrehajtani mivel a szükséges adatok már a rendelkezésünkre állnak.

#### 4. Rezgéstani ismeretek

A harmonikus rezgőmozgás legfontosabb jellemzője a rezgés frekvenciája, és nagysága.

Az időegység (egy másodperc) alatt végzett teljes rezgések száma a rezgés frekvenciája. Jele  $f$  és mértékegysége Hz.

Meghatározása  $f = \frac{1}{T}$  összefüggés alapján történik ahol T a rezgés periódusideje (másodpercben).

Ha a harmonikus mozgást egy körbe forgó vektor vetületének tekintjük, akkor  $\alpha$  a

lengőrendszer körfrekvenciája:  $\alpha = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  [1/s]

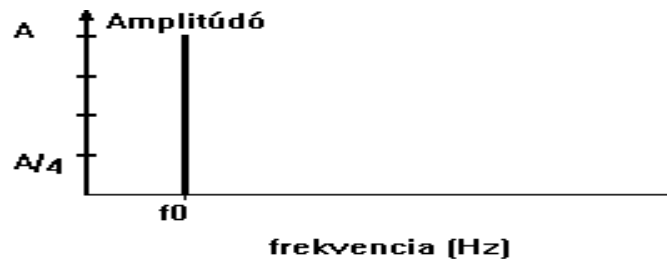
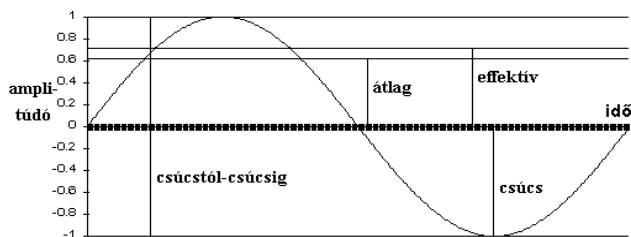
A harmonikus rezgőmozgást végző pont mozgását az idő függvényében a 2. ábrán látható sinusgörbe írja le. A pont mozgását jellemezhetjük kitérésével, sebességével vagy a gyorsulásával. A sebesség a kitérés első, a gyorsulás pedig a második idő szerinti differenciál hányadosa.

A kitérés:	$y = A \sin(\alpha t + \varphi)$	
a sebesség:	$v_0 = \alpha A$	
a gyorsulás:	$a_0 = A\alpha^2$	összefüggés alapján számítható.

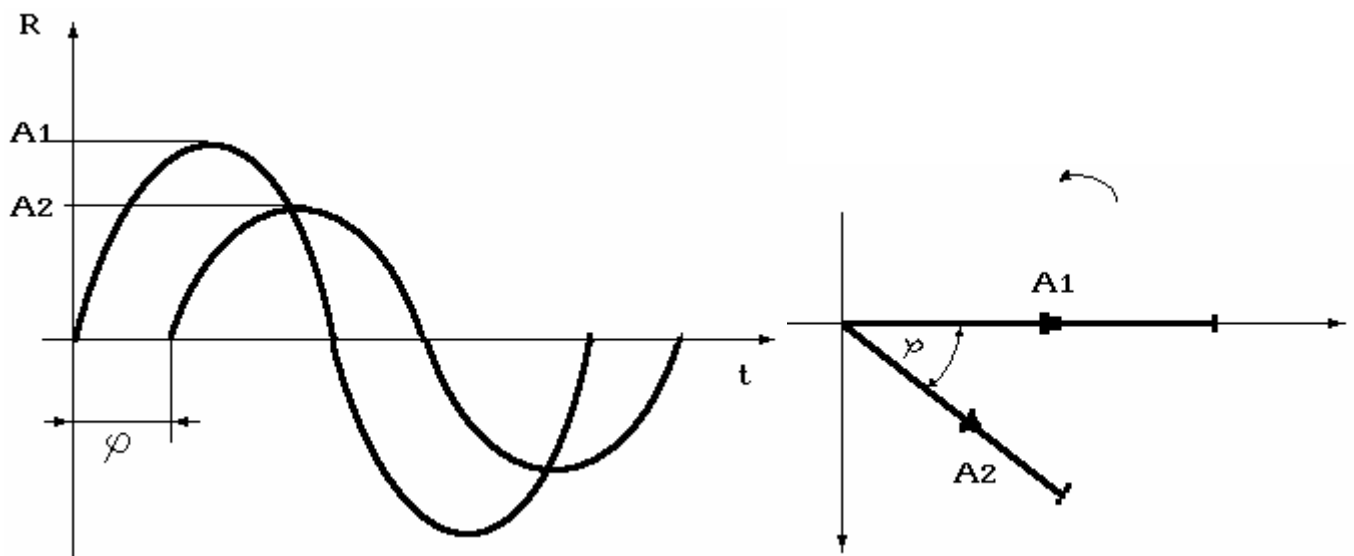
Használatos mértékegységek:	rezgés kitérés:	$\mu$ (mikron)
	rezgés sebesség:	mm/s
	rezgésgyorsulás:	$m/s^2$ , vagy $g'$ ( $1 g = 9,81 m/s^2$ )

A rezgések lefutása egymáshoz képest időben eltolódhat. Ezt a jelenséget a rezgés fázisával vagy a rezgések fázis különbségével írhatjuk le. A forgó rezgésvektorokat polárkoordináta rendszerben ábrázolhatjuk (3. ábra).

Egy gép mozgása alapvetően más jellemzőkkel bír, ha a különböző pontokon mérhető rezgések fázisa eltér, ezért a gyakorlatban sokszor szükség van a fázis szinkronizált mérésre. Ezekben az esetekben a forgó tengelyre erősített markerjel, fázisjeladó előtti elhaladása indítja a mérést.



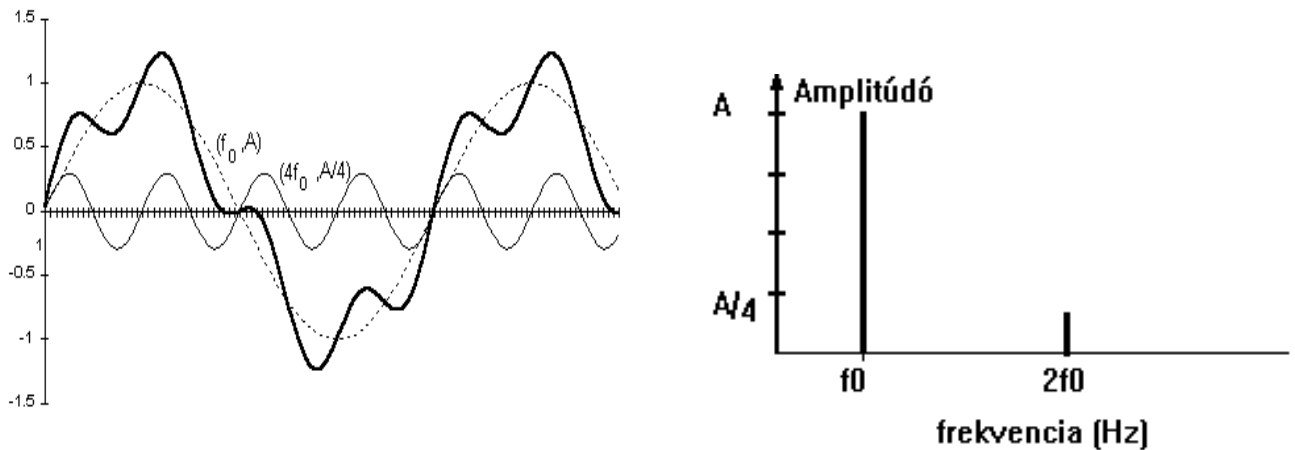
2. ábra  
A harmonikus rezgőmozgás időjele és rezgésspektruma



3. ábra Fázisban (és amplitúdóban) eltérő rezgés időjelek és a rezgés vektorok

Az egyes dimenziókban megkülönböztetünk csúcs, csúcstól-csúcsig, átlag és effektív (négyzetes közép) értékeket (2. ábra).

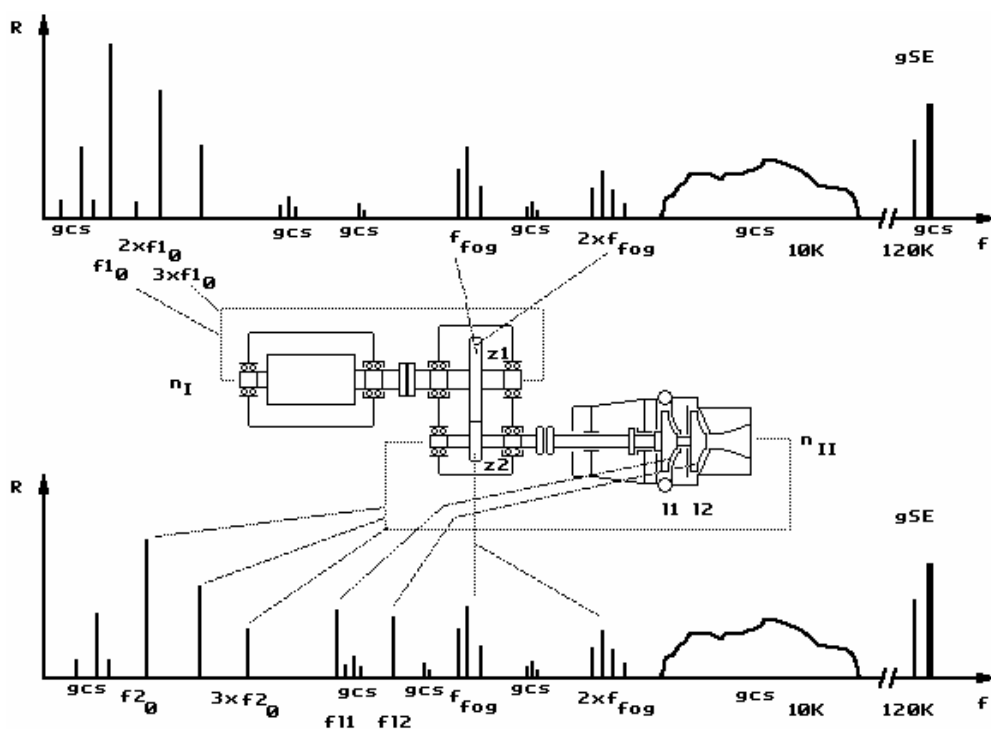
A rezgésmérés során rögzített időjel az esetek többségében bonyolult, több harmonikus összetevőt tartalmaz (4. ábra). A rezgésanalizátor a „nyers” időjeleket Fourier transzformációval harmonikus összetevőkre bontja. A számítás eredménye a rezgésspektrum, mely a rezgésjellemzők legáltalánosabban alkalmazott megjelenítési formája. A rezgésspektrum diagram függőleges tengelyén a rezgés nagyság míg a vízszintes tengelyen a frekvencia skála található.



4. ábra  
Összetett idője és az ebből nyert rezgésspektrum

### 5. Jellemző frekvenciák/hiba jelenségek

A gép és üzemi adatok alapján számítható az egyes szerkezeti elemek által gerjesztett rezgések frekvenciája. A mért és számított adatok összevetésével történik a hibás/hibátlan elemek kiszűrése. A következőkben (a teljesség igénye nélkül) szemléltetjük, hogy mely jellemző frekvenciák fordulhatnak elő egy berendezésen.



5. ábra Jellemző frekvenciák

A bonyolult gépek esetében – mivel több a rezgékeltő elem – a rezgésspektrum is összetettebb. A két különböző fordulatú tengelyen Az 5.sz. ábrán két különböző spektrumban ábrázoltuk az adott tengelyen vonatkozó jellemző frekvenciákat. Ezt megfelelő szemléltetés miatt tettük, a gyakorlatban egy-egy gerjesztő elem rezgése az egész berendezésen nyomon követhető, és az egyértelmű azonosítása pontos és hosszadalmas munkát igényel.

A fenti berendezésnél a következő hibák fordulhatnak elő, melyek azonosítását a rezgésdiagnosztika segítségével lehet elvégezni:

**a) Egyensúlyozatlanság**

Forgási frekvencián radiális irányban jelentkezik az egyensúlyozatlan forgórész keltette rezgés. A statikus kiegyensúlyozatlanság esetén a forgórész két csapágyán mérhető rezgés fáziskülönbsége kicsi, a dinamikus kiegyensúlyozatlanság esetében viszonylag nagy a fázis különbség.

Számítása:  $f_0 = \frac{n}{60}$  [Hz] Ahol  $n$  a tengely percenkénti fordulatszáma.

**b) Tengely görbeség**

A görbe tengely – tekintettel arra, hogy a forgórész súlypontja is megváltozhat – egyensúlyozatlanság okozta rezgéseket gerjeszt. Ezen túl – a geometriai hibák miatt – magas axiális rezgések lépnek fel a forgási és kétszeres forgási frekvencián. A két csapágyon fellépő axiális irányú rezgések fázisa ellentétes.

**c) Egytengelyűségi probléma**

Az egytengelyűségi probléma előfordulásakor a két csatlakozó tengely forgástengelye nem esik egy egyenesbe. A hiba jellege és a - tengelykapcsolók kialakításától függően – axiális és radiális irányú rezgések lépnek fel. A rezgés a tengely forgási frekvenciáján és ezek felharmonikusán jelentkezik.

**d) Mechanikai lazaság**

Előfordulhat, hogy a – hajtó vagy hajtott- gép rögzítése vagy valamely szerkezeti elem (pl csapágybak) rögzítése nem megfelelő. Ekkor mechanikai lazaság jellegű problémáról beszélhetünk. A rezgések a forgási frekvencián és első két-három felharmonikusán jelentkeznek radiális irányban. A meghibásodástól függően előfordulhat magasabb számú felharmonikus tartalom is.

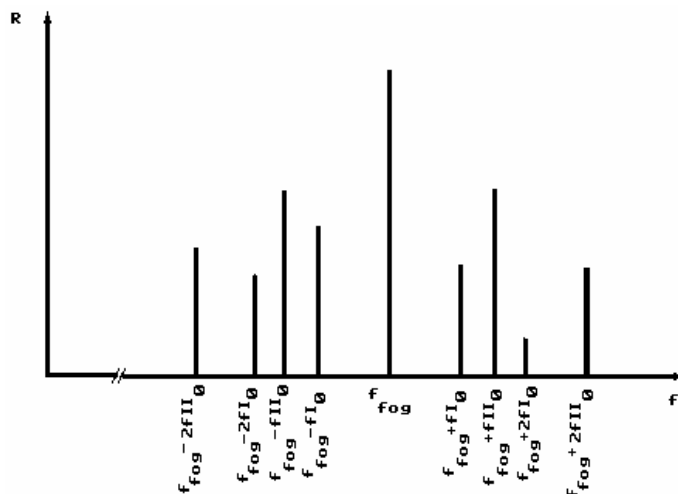
**e) Fogaskerék áttétel problémák**

A fogaskerék áttételek vizsgálata és a hiba analízis az egyik legbonyolultabb diagnosztikai feladat.

A fogkapcsolódás frekvenciája:

$f_{fog} = f_1 z_1$  vagy  $f_{fog} = f_2 z_2$  [Hz]

A fogkapcsolat minőségétől függően a fogaskerek forgási sebességén fázis és amplitúdó modulációk lépnek fel. Ennek következtében a fogkapcsolódási frekvencia (vagy a többszörös fogkapcsolódási frekvencia) környezetében oldalsávok jelennek meg (6. ábra). Az oldalsávok jellegéből következtetünk a meghibásodás jellegére.



6. ábra oldalsávok

A fogkapcsolatoknál a következő hibák kimutatása

lehetséges:

- Laza, kopott fogkapcsolat.
- Excentrikus kerék.
- Túlterhelt fogkapcsolat.
- Egytengelyűségi hiba (nem párhuzamos fogaskerék tengelyek).
- Törött fogak.

A fogaskerék áttételek vizsgálatánál nem csak a rezgésspektrumok, hanem sok esetben a rezgéssebesség vagy rezgésgyorsulás időjelek is szükségesek a megfelelő diagnózis felállításához. Az adatgyűjtés során – különösen az alacsony fordulátú berendezéseknél - triggerjel által vezérelt mérést kell végezni, mivel a fázis adatok is szükségesek a megfelelő értékeléshez.

#### f) Hidradinamikai és aerodinamikai jellemzők.

A folyadék vagy gáz szállításakor az áramló közegben **pulzálások** keletkeznek.

Ennek frekvenciája:  $f_{l1}=fII_0l_1$  és  $f_{l2}=fII_0l_2$  [Hz]  
ahol a lapátok száma  $l_1$  és  $l_2$ .

**Áramlási rendellenesség** kialakulhat még fűvókban, mely jelenség véletlenszerű alacsony frekvenciás (1-30 Hz közötti) rezgéseket gerjeszt.

A szivattyúkban kialakuló **kavitáció** véletlenszerűen jelentkező, magasfrekvenciás rezgéseket gerjeszt.

#### g) Villamos problémák

A villamos problémák egy része – főleg ha súlyosabb – kimutatható a rezgésekben.

A villamos motoroknál rendellenesség esetén megjelenik a vonali frekvencia és ennek felharmonikusa a rezgésspektrumban. Megjelenik továbbá pólca elhaladási frekvencia és ennek első felharmonikusa.

Pólcaelhaladási frekvencia:  $f_p=f_0 b_p$  [Hz] ahol  $b_p$  a forgórész pólcaszám.

Rendellenességek, melyek kimutathatók (aszinkron motorok):

- Statikus légrés egyenetlenség.
- Dinamikus légrés egyenetlenség.
- Sziréna effektus.
- Törött forgórész pólca.

#### h) Gördülő csapágyak

A gördülő csapágyak diagnosztikája az egyik legnehezebb feladat. Sok esetben nem ismerjük a csapágyak típusát, ekkor becsült adatokkal dolgozunk. Amikor vannak információink a csapágyról akkor sem lehet minden esetben tökéletes számítást végezni, mivel a csapágyon belüli gördülési-csúszási folyamatokat igen nehéz modellezni.

A gördülőcsapágyak geometriai mérete alapján a tengely fordulatszámának az ismeretében a csapágy szerkezeti elemeinek a jellemző frekvenciái kiszámíthatók.



A hibafrekvenciák számítása:

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \left( 1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \Theta \right) f_0$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \Theta \right) f_0$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left[ 1 - \left( \frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \Theta \right] f_0$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \Theta \right) f_0$$

BPFI	A gördülőttest áthaladása a belső gyűrűn lévő hibán [Hz]
BPFO	A gördülőttest áthaladása a külső gyűrűn lévő hibán [Hz]
BSF	Gördülő elemek forgási frekvenciája [Hz]
FTF	Csapágykosár forgási frekvenciája [Hz]
$N_b$	Gördülő elemek száma
$B_d$	Gördülő elem átmérője [mm]
$P_d$	Csapágy közép átmérője [mm]
$\cos \Theta$	érintkezési szög [ $^\circ$ ]
$f_0$	a gyűrű forgási frekvenciája [Hz]

A gördülőcsapágyak állapotának az értékelésére több mérési-feldolgozási eljárás ismert. (A szemléltető ábrán a csapágy által gerjesztett rezgések frekvenciáit „gcs” betűkkel jelöltük. A gördülő csapágyak igen nagy frekvencia tartományban generálnak rezgéseket. A különböző vizsgálati technikákkal más-más tartományt vizsgálunk és ennek alapján következtetünk a csapágy állapotára.

Ezek közül az eljárások közül mutatunk be néhányat:

- **Alsó (1000 Hz alatti) frekvencia tartomány**

A kopott, felületén sérült csapágy a számított csapágy frekvenciákon (és ezek felharmonikusain) gerjeszt rezgésjeleket. A rezgés frekvencia tartománya az 1000 Hz frekvencia környezetéig terjed. A csapágyazás keltette rezgések kis energia tartalmúak, ezt a rezgést sokszor elnyomja a gépszerkezetek által gerjesztett összetevők. Ez előbbiekből következik, hogy csak az erősen kopott, hibás csapágy jelei mutathatók ki az alsó frekvencia tartományban.

- **Rezgésgyorsulás mérése 10 kHz-ig**

A kopott nem egyenletes futófelületű csapágy által keltett impulzusok rezgést generálnak a csapágy szerkezeti elemein illetve a géptesten is. Ezek az impulzusok megjelennek a berendezés fordulatszámától függően a 3-10 kHz-es frekvencia tartományokban. A legtöbb berendezésnél a működési frekvenciák és az egyéb hibafrekvenciák nem érik el ezt a frekvencia tartományt. Itt kiválóan alkalmazható a rezgésgyorsulás mérése. Az eljárással a csapágy meghibásodást már viszonylag korai szakaszban fel lehet ismerni.

- **A SPIKE ENERGY™ (gSE) mérése**

A csapágy által gerjesztett rezgés modulálja a gépszerkezet magas frekvenciás (30 kHz felett) jelentkező rezonáns rezgéseit. Ez a moduláció a (gerjesztés) csapágyhiba jellegétől függően periodikus jellegű. A periodicitást figyelve meghatározhatók az alacsony frekvenciás összetevők, melyek összefüggésbe hozhatók a csapágy belső elemeivel.

Az eljárás nagy előnye, hogy szűrő alkalmazásával kizárja a gépműködésből és az egyéb hibákból eredő alacsonyabb frekvenciákat. Ennek következtében az igen kis energia tartalmú jelek is észlelhetők, ezáltal lehetőség nyílik a kezdeti csapágy meghibásodások kimutatására.

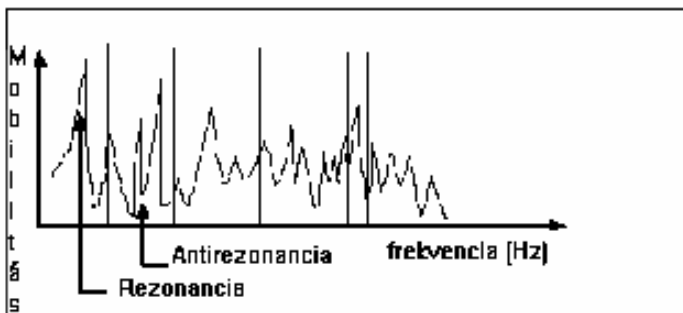
## 6. Az értékelés szempontjai

A rezgést keltő gépelemeket a jellemző frekvencia alapján azonosítani lehet. Ahhoz azonban, hogy a berendezés állapotáról véleményt lehessen alkotni, az egyes rezgésösszetevőket (ezzel együtt az egyes rezgéskeltő elemek állapotát) külön-külön kell értékelni. Meg kell továbbá azt is vizsgálni, hogy a berendezés által gerjesztett dinamikai hatásokon kívül mely tényezők befolyásolják még a gépszerkezeten kialakuló rezgést.

Egy gépállvány gerjesztett rezgésének az amplitúdója a következő összefüggéssel állapítható meg:

$$A = \frac{U\omega}{Z} = \frac{U}{m_a} \cdot \frac{\left(\frac{\omega}{\alpha}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\alpha}\right)^2\right] + 4D^2\left(\frac{\omega}{\alpha}\right)^2}$$

A: a gerjesztett rezgés amplitúdója  
Z: a lengőrendszer komplex ellenállása  
U: a gerjesztő erő nagysága  
 $m_a$ : a gép és gépállvány tömege  
 $\omega$ : a gerjesztés szögsebessége  
 $\alpha$ : a csillapítatlan rendszer saját lengésének a szögsebessége  
D: a rendszer csillapítása



7. ábra Mobilitás spektrum

A 7. ábra egy dinamikai rendszer mobilitás (elmozdulás/erő) spektrumát ábrázolja. Látható, hogy azonos erő esetén a különböző frekvenciákon eltérő a rendszer rezgés válasza.

A rendszer belső csillapítása a különböző frekvenciákon eltérő lehet, és a rezgésválaszt meghatározza a saját frekvencia-rezonancia frekvencia különbsége is.

A fentiek alapján belátható, hogy a különböző frekvenciákon és különböző erővel **gerjesztett rendszer rezgés válasza nem minden esetben azon a frekvencián a legmagasabb ahol a gerjesztés mértéke a legnagyobb.**

A géprezgés és gépállapot értékelése során több szempontot is figyelembe veszünk.

Ezek a következők:

### a) Vonatkozó ajánlások

Mint a gépészet egyéb területén a rezgésmérés vonatkozásában is vannak ajánlások, melyek figyelembe vétele a rezgésdiagnosztikával foglalkozó szakember számára szükséges és indokolt. Az ajánlás tartalmazza azokat az általános ismereteket, melyek a gépegységek csapágybakjain mért rezgések méréséhez és kiértékeléséhez alapvetően szükségesek.

Az ajánlásokban szereplő legfontosabb adatok:

- Mérési paraméterek.
- Mérendő jellemzők meghatározása (általában effektív rezgéssebesség a 10 Hz-től 1 kHz-ig terjedő frekvencia tartományban).
- Mérési helyek meghatározása (csapágybakon vízszintes, függőleges és tengely irányokban).
- Mérési körülmények meghatározása (gépátvételi vizsgálat, üzem közbeni mérés).

- Mérőműszerrel szemben támasztott követelmények.
- Értékelési sávok (jó, megfelelő, még megfelelő, rossz minősítések), ezek magyarázata.
- A kiértékelő sávok határértékei (8. ábra).

Effektív rezgésebesség érték (mm/s)	I. osztály	II. osztály	III. osztály	IV. osztály
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1				
11,2	D	D	D	D
18,0				
28,0				
45,0				

I. osztály: Azon csoportja a motoroknak és a gépeknek, melyek szerves egységet alkotnak az egész géppel normál működési körülmények mellett.

II. osztály: Közepes méretű gépek nem speciális alapozáson.

III. osztály: Nagyméretű erőgépek és más nagyméretű, nagy forgó tömeggel rendelkező gépek merev és erős alapozáson, mely alapozás viszonylag merevnek tekinthető a különböző mérési irányokban.

IV. osztály: Nagyméretű erőgépek és más nagyméretű, nagy forgó tömeggel rendelkező gépek rugalmas alapozáson, mely viszonylag rugalmas a rezgésmérési irányok vonatkozásában.

8. ábra Táblázat tipikus zóna határértékekkel (Kivonat az ISO 10816-1:1995 ajánlásból)

Az ajánlásnak elsősorban a hiba felderítés, nem pedig a hiba lokalizálás a célja. A szélessávú értékek nagyságát több gyakran előforduló rezgéskeltő (pl. egyensúlyozatlanság, egytengelyűségi hiba) meghatározza. A kisebb energia tartalommal bíró összetevők (pl. fogkapcsolat, gördülő csapágyak) nem jelennek meg a szélessávú értékek nagyságában, ez a hibák észlelését is meggyűsíti.

Az előbbieket miatt megállapítható tehát, hogy még a viszonylag egyszerű berendezések (villamos motorok, ventilátorok, szivattyúk) esetében is kockázatos csak az ajánlás alapján minősíteni a berendezést. A bonyolultabb gépeknél azonban egyéb szempontokat is figyelembe kell venni a géprezgés minősítéséhez.

## b) Gyártó ajánlásai

Több gépgyártással foglalkozó cég az előzőekben vázolt nehézségek elkerülésére saját minősítési rendszert dolgozott ki a gépállapot minősítés megkönnyítésére. Tekintettel arra, hogy a gyártók rendelkezésére áll minden fontosabb adat, nagy biztonsággal megadhatók a gép szempontjából kritikus határértékek (sok esetben a jellemző frekvenciákat is figyelembe veszik).

## c) Hasonló gépen szerzett tapasztalatok

Újonnan üzembe helyezett gépeknél a gépállapot minősítése sokszor nehézséget okoz. A hasonló gépeken szerzett tapasztalatok nagy segítséget nyújtanak mind a mérési eljárás mind pedig az értékelés és hiba azonosítás tekintetében.

#### d) Előző mérés óta bekövetkező változás

Ha nagyszámú adat áll a diagnosztika rendelkezésére, a bekövetkező változások alapján pontosabb következtetések vonhatók le. A rendellenesség kialakulásának az időbeni lefolyása is nyomon követhető. Ennek alapján pontosabban felbecsülhető, hogy a kifejlődő rendellenesség mely időpontban éri el a kritikus szintet.

Az előzőek alapján megállapítható, hogy a **legpontosabb diagnózis** ezzel együtt a legnagyobb találat arány a **rendszeres mérésen alapuló állapotvizsgálattal érhető el**.

### 7. Rezgésdiagnosztikai műszerek

Funkciójukat és képességeiket tekintve többféle rezgésdiagnosztikai rendszert ismerünk. A régi és nehézkes eszközöktől az újszerű és számítógéppel támogatott rendszerig sokféle műszerrel lehet végezni rezgésdiagnosztikai tevékenységet. Az újabb és újabb eszközök és technikák nem csak az adatgyűjtést gyorsítják meg, hanem nagyobb felbontásukkal nagyobb pontosság érhető el. Az adatokat megfelelően rendszerező számítógépes programokkal és számítógépes nyilvántartással pedig könnyebben végezhető az értékelés.

A mérőeszközök telepítésük szerint két nagy csoportra oszthatók:

- Telepített rendszerek,
- hordozható műszerek.

A mérési funkció „tudásszint” alapján:

- Egyszerű mérőműszer,
- rezgésanalizátor.

Mind a telepített, mind pedig a hordozható műszerek között megtalálhatók az egyszerű mérőeszközök és az analizátorok.

A rezgésmérő/analizáló rendszer legfontosabb részei:

- rezgésmérő fej/szonda,
- mérő/analizáló műszer
- számítógép (szoftverrel) az adatok kezelésére.

A legelterjedtebben használatosak a piezo elektromos elven működő rezgés gyorsulás érzékelők. Sok esetben ki kell egészíteni a mérőláncot még fordulatszám és fázis mérő egységgel is.



#### a) Telepített rendszerek

A mérőrendszer gyakorlatilag a gép tartozéka, a rendszer folyamatos figyeli és regisztrálja a géprezgést. A régi 10-20 éves rendszerek sok esetben csak a szélessávú rezgésértékeket rögzítették, szintíróval regisztrálták. A modern számítógéppel támogatott rendszerek valós idejű analízist végeznek, az adatokat tárolják, ha szükséges bizonyos szempontok szerint szelektálhatják is. Beállíthatók a riasztási szintek és a riasztási kritériumok is. A rezgésadatok a többi a mért állapotjellemzővel együtt bekerülnek a folyamatos állapotfigyelés operációs rendszerébe.

A telepített rendszereket nagy értékű gépeknél vagy nagy értékű technológiai folyamatoknál alkalmazzák (kellene egy ábra a telepített rendszer felépítéséről).

## b) Hordozható kéziműszerek

- **Egyszerű rezgémérő**

A mérőműszer a szélessávú, általában a 10-től 1000 Hz-ig terjedő frekvencia tartományban méri a szélessávú rezgéssebesség effektív értékét. Sok eszköz rezgésgyorsulás és kitérés, valamint csapágyállapot mérő adat (pl. gSE) mérésére is alkalmas. A korszerűbb műszerek adattárolás funkcióval vannak ellátva mely segítségével az adatok számítógépbe tölthetők.

Tekintettel arra, hogy a mérési módszer igen egyszerű, a műszer kezelése komolyabb szakértelmet nem igényel. A műszer csak az egyszerűbb berendezések rezgésmérésére alkalmazható.



- **Hordozható rezgésanalizátor**

A korszerűbb rezgésanalizátorok minden olyan funkcióval el vannak látva, melyek a megfelelő diagnosztikai tevékenységhez szükségesek. Alkalmasak adatgyűjtés és helyszíni analízis funkcióra is. A mérési jellemzőket (méréndő paraméter, mérési tartomány, FFT analízis vonalszáma, átlagolás módja, száma stb..) a kívánalmaknak megfelelően lehet megválasztani.



*A rezgésadat gyűjtés főbb lépései:*

- számítógépes adatbázis létrehozása,
- méréndő jellemzők, mérési útvonal betöltése a műszerbe,
- mérés végrehajtása a tervezett útvonalon,
- mért adatok visszatöltése a számítógépes adatbázisba.

*Helyszíni szakértői tevékenység*

Számos esetben nem lehet előre felkészülni a mérési feladatra. Előfordulhat, hogy az ütemezett program során észlelünk olyan jellemzőket, melyek további vizsgálatot igényelnek. Ekkor alkalmazhatóak a mérőműszer helyszíni analízis funkciói.

## **Felhasznált irodalom:**

- ISO 10 816-1:1995-(E) Mechanikai rezgések – Géprezgések kiértékelése a nem forgó részeken történő méréssel. – Nemzetközi szabvány
- MSZ EN 60034-14 – Villamos forgógépek 56 mm és annál nagyobb tengelymagasságú forgógépek mechanikai rezgéseiről. Mérés kiértékelés és határértékek. – Magyar szabvány
- Ludvig: Gépek dinamikája
- Lipovszki-Sólyomvári-Varga: Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás
- Karbantartás és diagnosztika – Diagnosztikai szakfolyóirat
- Taylor: Vibration Analysis Handbook
- Mitchell: Machinery analysis and monitoring