

## Géprezgések spektrumanalízise (ill. frekvenciaanalízise) -4-

Szerző: Rahne Eric, okl. villamosmérnök  
Copyright © PIM Profeszionális Ipari Méréstechnika Kft.

### Meglazult gépelemek, mechanikus játék

A meglazult elemek és a nagy hézagok elsősorban nagy radiális rezgéscsúcsokat eredményeznek a forgásfrekvencia 1-, 2-, 3- vagy 4-szeres, de akár 5-10-szeres többszörösein is. Így a lazaság jelenléte a spektrumból egyértelműen felfedezhető (lenti ábra), de a diagnózishoz - a rezgések irányfüggő tulajdonsága miatt - mérni kell vízszintesen és függőlegesen is. Sok esetben vízszintesen a legerősebbek a rezgések, függőlegesenaxiálisan pedig csak gyengébben, axiálisan pedig vagy többnyire egyáltalán nem fordulnak elő. A fordulatszám-többszörös rezgéseken túl szubharmonikus rezgésekre (tipikusan 1/2-szeres forgásfrekvencián) és interharmonikusokra (3/2, 5/2 stb. többszörös forgásfrekvencián) is számítani lehet. Súlyos problémák esetén előfordulhatnak rezgéskomponensek az 1/3-1/4-szeres forgásfrekvencián és annak harmonikusain is.

Mivel a rezgések jellegéből nem állapítható meg, hogy pontosan melyik a meglazult elem, csak kizárásos módszerrel kereshetők meg a problémás alkatrészek. Erre többféle eljárás létezik, amelyek közül kettőt emelünk ki:

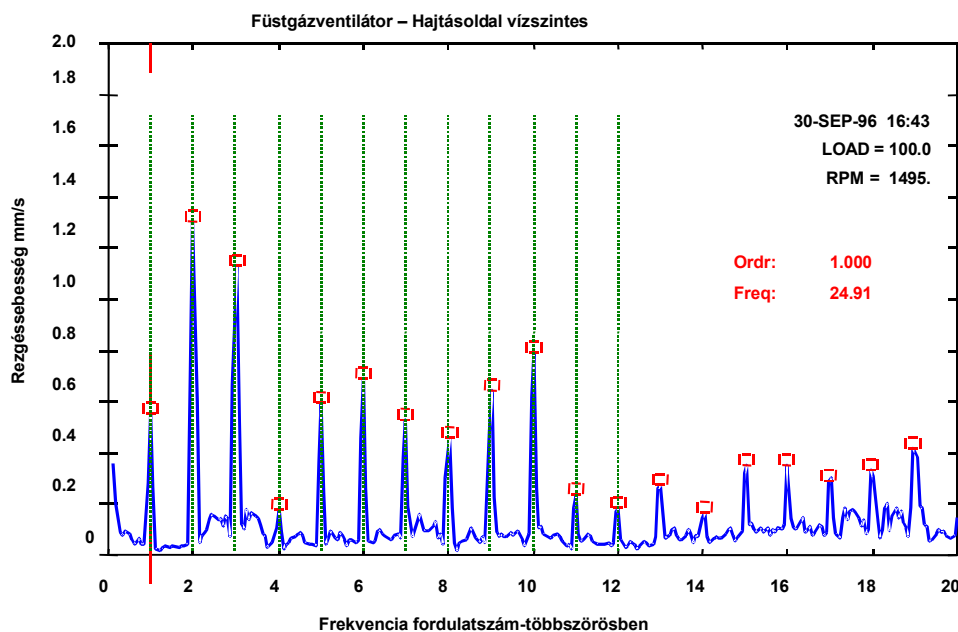
### Műszeres mérés

Két, mechanikailag szoros összeköttetésben lévő gépelemnek nagyság és spektrumösszetétel tekintetében megegyező rezgést kell mutatnia - az összeköttetés mindkét oldalán - a lazaság kizárásához.

### Kézi ellenőrzés

A szerelési hézagra helyezett kézzel ellenőrizhetők a gépelemek, azaz a gépalap, a főegységek, a szilenttömbök, a csapágybakok és a csapágyházak: ahol a szerelési fugánál "becsípést" lehet érezni, ott változó hézagszám van - tehát lazaságot okozó elemet sikerült találnunk.

Ha sehol sem fedezhető fel a lazaságra utaló jelenség, akkor - kizárásos alapon - túl nagy hézag lehet a tengely csapágyaiban, vagy magában a forgórészben van a lazaság.



Tipikus rezgésspektrum lazaság esetén [forrás: PIM]

## Szíjhajtások rezgésjelenségei

Szíjhajtások esetén kétféle hibajelenséggel állhatunk szemben: a szíj és a szíjtárcsák sérüléseivel kapcsolatos jelenségekkel, valamint a szíj passzív (terheletlen) félhosszának berezonálásával. A két esetben teljesen más rezgések keletkeznek.

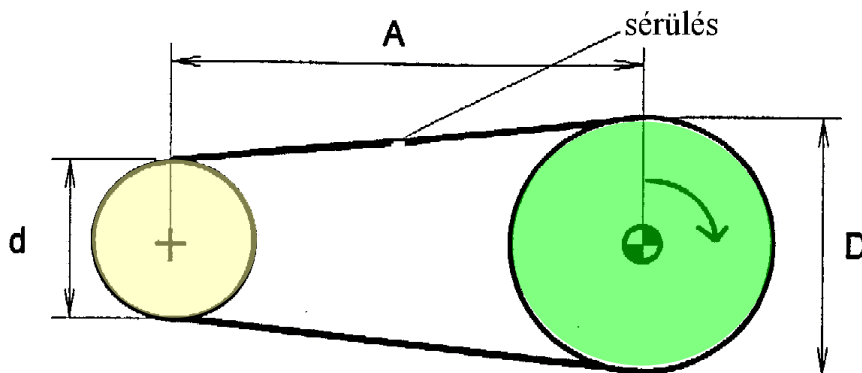
### A szíj és a szíjtárcsa sérülései

A szíj (lehet lapos-, ék- vagy fogasszíj) öleli át a hajtó és hajtott tengelyen lévő szíjtárcsát. Ha megjelölünk a szíjon egy tetszőleges pontot, ennek annak körbefutási frekvenciája természetesen kisebb lesz a lassabban forgó szíjtárcsa forgásfrekvenciájánál. Ez a szíj alapfrekvenciája (rövidítve szíjfrekvencia). A szíjfrekvencia egyenlete:

$$f_{sz} = \frac{d \cdot f_d \cdot \pi}{H} \quad \frac{D \cdot f_D \cdot \pi}{H}$$

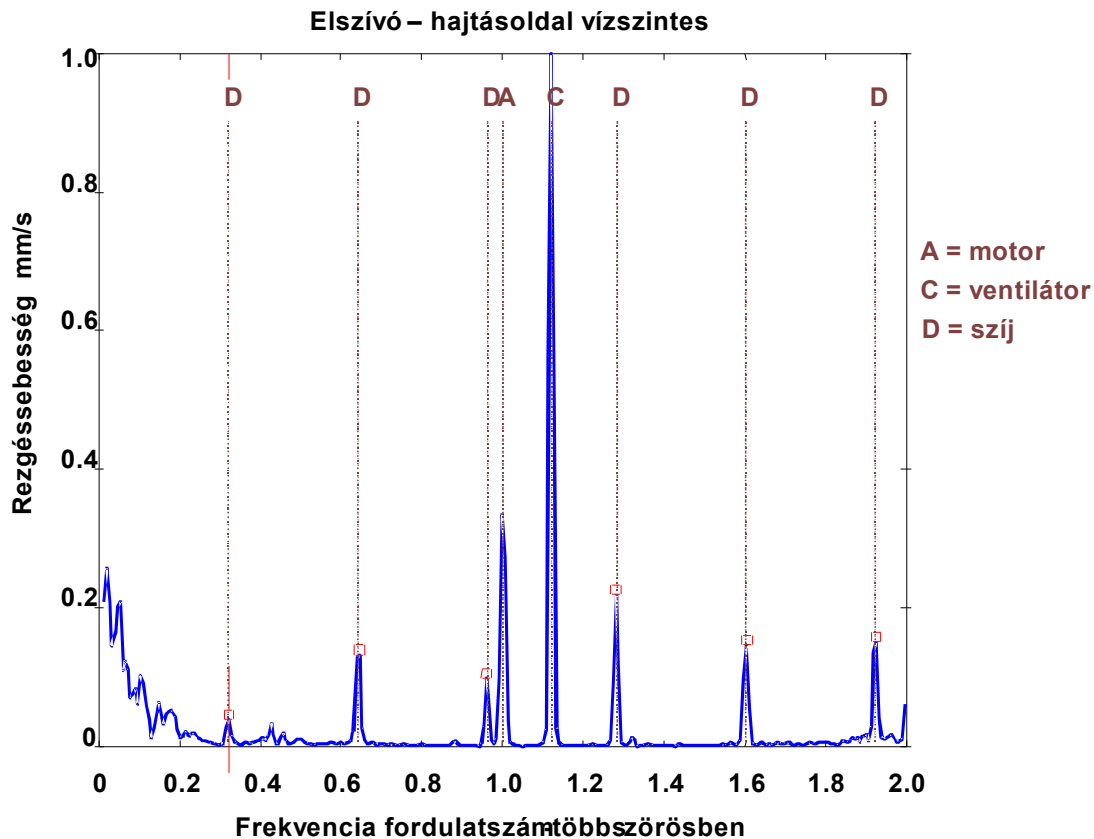
ahol:  $f_{sz}$  ... a szíjfrekvencia  
 $d$  ... a kisebb szíjtárcsa átmérője  
 $f_d$  ... a kisebb szíjtárcsa forgásfrekvenciája  
 $D$  ... a nagyobb szíjtárcsa átmérője  
 $f_D$  ... a nagyobb szíjtárcsa forgásfrekvenciája  
 $H$  ... a szíj hossza

Ha a szíjon helyi sérülés fordul elő, akkor az a körbefutás során egyszer érintkezik a hajtó és egyszer a hajtott szíjtárcsával. Különösen a hibahely és a szíjtárcsa összetalálkozásánál keletkezik ütősszerű rezgésgerjesztés - befutási impulzus. Ráadásul a szíj hibái ugrásszerű változásokat okozhatnak a szíj feszttségében is akkor, amikor a sérült helyek az egyik vagy a másik szíjtárcsával érintkeznek, illetve elhagyják azt.



A szíjfrekvenciával kapcsolatos geometriai összefüggések

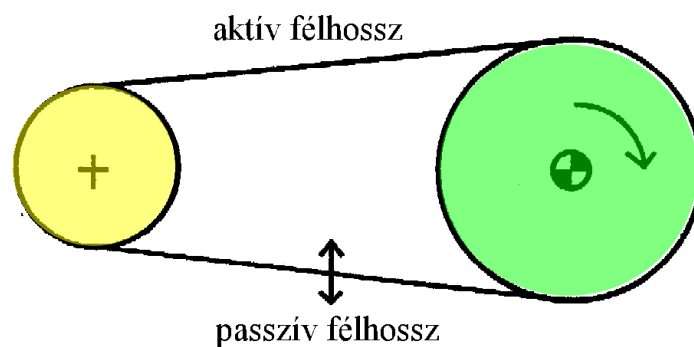
Mivel a körbefutás során kétszer megy végbe az ütősszerű rezgésgerjesztés, a szíjfrekvencia kétszerese és annak többszöröse jelennek meg radiális rezgésként a spektrumban (következő ábra). Fogasszíjaknál még a szíjfrekvencia és a fogszám szorzata is előfordul. A szíjtárcsák beállítási hibái esetén pedig erős axiális rezgések várhatók a szíjfrekvencia kétszeresén. Megjegyzendő, hogy a szíj által okozott ütések nem mindig láthatók az időjelben, és többnyire a spektrumokban is csak nagyon gyengén jelennek meg. Ez abból adódik, hogy a gumiszerű szíj nem képes nagy energiatartalmú impulzusokat átadni a hozzá képest nehéz szíjtárcsáknak.



Szíjfrekvencia és többszörösei megjelenése a rezgésspektrumban [forrás: PIM]

### A szíj passzív (terheletlen) félhosszának berezonálása

A szíjhajtásoknál gyakran előfordul, hogy a szíj terheletlen (passzív) félhossza berezonál. Ezek a rezonanciák elsősorban akkor kritikusak, ha egybeesnek más gépfrekvenciákkal.



A szíj passzív félhosszának berezonálása

Üzem közben csak nehezen lehetne meghatározni, mekkora a szíj passzív félhosszának rezonanciafrekvenciája. Sokkal egyszerűbben történhet ennek a meghatározása álló gép esetén a következő módon: A szíjat hosszirányára merőlegesen meghúzással gerjeszteni kell (szigorúan álló gép esetén!), hasonlóan a gitár húrához. Az ennek hatására bekövetkező szíjrezgés frekvenciája valamivel kisebb lesz az üzemi rezonanciafrekvenciánál, de közelítésnek igen jól használható. (Az eltérés oka az üzem közben fellépő húzóerők jelenléte és az ebből adódó szíj feszítés-változás.)

## Lapátkerek (ventilátorok és szivattyúk) problémái

A forgólapátú gépeknél nemcsak kiegyensúlyozatlanságból és lazaságból adódó problémák léphetnek fel. Ezek a szerkezetek - például ventilátorok, centrifugális szivattyúk és turbinák - további rezgéskritikus tulajdonságokat mutatnak. Ha egy vagy több lapát úgy sérül meg, hogy a súlya megváltozik (például letörik egy darab belőle), a súlypontja eltolódik, vagy egyszerűen szennyeződés telepedik meg rajta, ez az a forgórészekre általánosan érvényes fizikai összefüggések alapján kiegyensúlyozatlanságra utaló rezgésként jelenik meg a spektrumban.

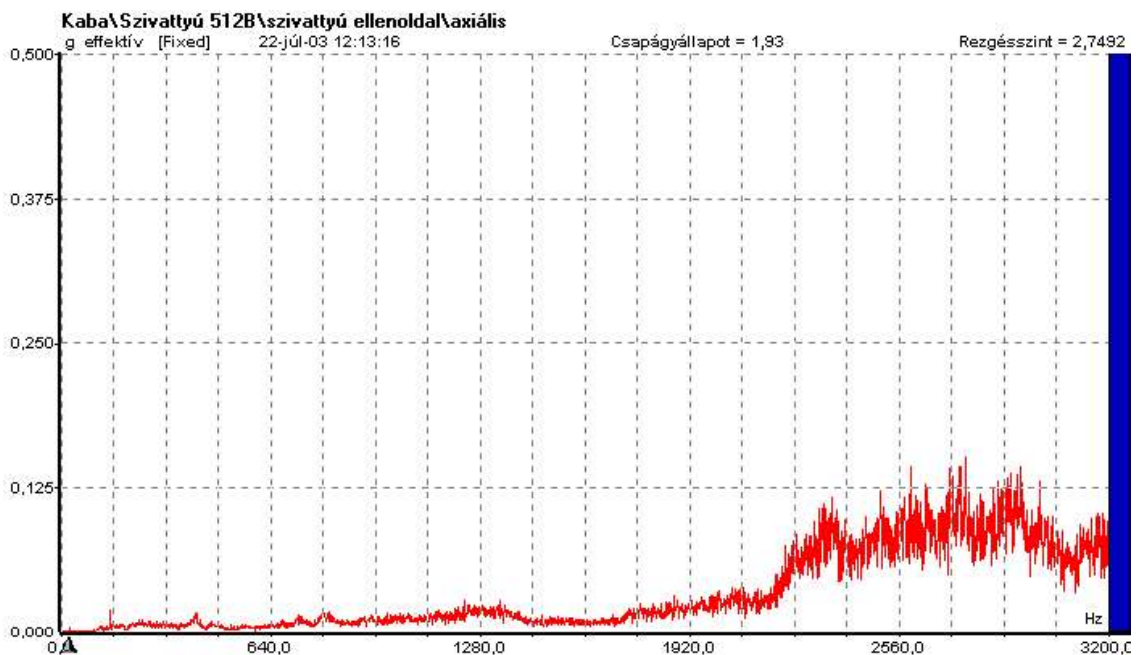
Egészen más okra vezethető vissza a - sok konstrukció esetén "természetes" - lapátelhaladási frekvenciájú (vagy röviden lapátfrekvenciájú) rezgés. E rezgés abból következik, hogy minden egyes lapát egy-egy nyomásimpulzust gerjeszt, amikor valamilyen akadály mellett elhalad. Ilyen akadály lehet akár a bejövő vagy a kimenő csanak is, de bármilyen más áramlástechnikai elem is kiváltója lehet ezeknek a nyomásimpulzusoknak. A lapátfrekvencia egyenlete:

$$F_1 = n/60 * N$$

, ahol  $F_1$  ... a lapátfrekvencia,  
 $n$  ... a tengely fordulatszáma,  
 $N$  ... forgólapát lapátjainak száma

Gyakran a lapátfrekvencia többszörösei is jelen vannak. Ennek oka az, hogy nemcsak egyetlen akadály lehet a szóban forgó eszköz lapátjaihoz közeli áramlás útjában, és nyomásimpulzus-visszahatások is felléphetnek. Többfokozatú forgólapátos szerkezetek minden egyes fokozata külön-külön "termeli" a saját lapátfrekvenciáit (és azok többszöröseit). Ha a szerkezetben statikus (vezető-) lapátok is vannak, akkor nagyobb frekvenciájú rezgések is keletkezhetnek, amelyek frekvenciája a lapátfrekvencia és a statikus lapátok darabszámának szorzatával egyezik meg. Ezen túl a lapátfrekvencia körül forgásfrekvenciájú oldalsávok (modulációk) is megjelenhetnek a spektrumokban, mert a sérült lapát(ok) áramlási tulajdonságai megváltoztak, így máshogyan keletkeznek a nyomásimpulzusok. Ha a lapát még a burkolathoz vagy bármilyen más áramlásvezető elemhez is hozzáér, annak súrlódása vagy ütősszerű impulzusai is észrevehetők a spektrumban. A be- és kimeneti nyomásingadozások is eredményezhetnek forgásfrekvenciájú oldalsávokat.

Az említett lapátfrekvencián túl létezik még egy különös sajátosság a folyadékot szállító berendezéseknél: a kavitáció, amely akkor lép fel, ha az áramlásban akkorára nő a vákuumhatás, hogy a szállított folyadékból gőz válik ki. Ez a gőzkiválás kisebb-nagyobb buborékok formájában történik azon a helyen, ahol a legnagyobb a vákuumhatás, tehát közvetlenül a lapátok oldalain. Mivel minden egyes buborék keletkezése mini robbanásként megy végbe, könnyen el lehet képzelni, hogy mennyire káros a lapátok felületeire nézve. E folyamat jól hallható, és nagy frekvenciájú, szélessávú rezgésként (nagy értékű, széles frekvenciatartományú zajszőnyegként), illetve a lapátfrekvenciák többszöröseitől növekedéseként a spektrumban is észlelhető.



A kavitáció megjelenése a rezgésspektrumban [forrás: PIM]