

# Gépszerkezetek vizsgálata mozgásanimációval

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

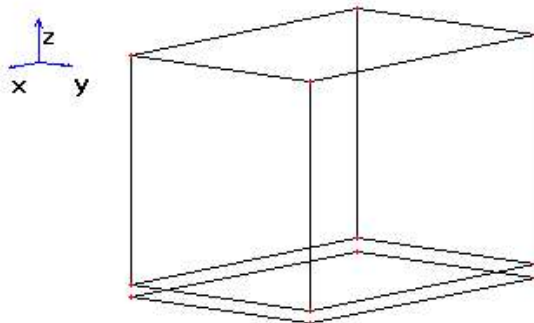
Amíg a működés közbeni géprezgések spektrumanalízise bizonyíthatóan az egyik leghatékonyabb módszer a gépek legtöbb hibájának - például kiegyensúlyozatlanság, egytengelyűségi hiba, görbe tengely, csapágyhiba - felfedezésére és bizonyítására, addig a gép tartószerkezetének bevizsgálására más eszközök szükségesek. A megoldást a végeelem-modellezés vagy a mozgásanimáció nyújtja. A kisebb mérési és számítási igény miatt a legegyszerűbben a mozgásanimáció alkalmazható.

Induljunk ki abból a feltételezésből, hogy a gép minden szerkezeti eleme (alap, emelvény, keret, alátámasztás, tartógerenda, csapágybak stb.) az üzemeltetés alatt a gép működéséből adódóan - a rá ható periodikus erők miatt - kimozdul a helyéből, illetve deformálódik. Mivel a legtöbb gép 1500-3000 fordulat/perces fordulatszámmal üzemel, az ilyen mozgások többsége 25, illetve 50 Hz-en, vagy ezek valamilyen egész számú többszörösének frekvenciájával megy végbe. Szabad szemmel két okból nem látjuk ezeket a mozgásokat. Egyrészt az 50 Hz és előlötti frekvenciával végbemenő változásokat a szemünk nem tudja követni (például a tévé esetében azért alkalmazzák az 50 Hz-es vagy gyorsabb képfrissítést), másrészt gyakran csupán mikrométeres (ezredmilliméteres) mozgásokról van szó.

Hogyan lehetne mégis a gépelemek mozgását láthatóvá tenni? Természetesen legegyszerűbben stroboszkóp alkalmazásával: világítsunk meg minden második (vagy harmadik, negyedik) mozgást! Mivel szemünk csak az erős felvillanás pillanatában képes a tárgy felismerésére, úgy tűnik, mintha a folyamat például 50 Hz helyett csupán 25 Hz-en vagy akár csak 12,5 Hz-en menne végbe. Ezt pedig a szemünk már képes követni, tehát így a megfelelően nagy amplitúdójú - de egyébként láthatatlanul gyors - mozgások láthatóvá válnak. (Természetesen csak abban az esetben, ha stroboszkóplámpánkat nem pontosan a vizsgálandó frekvenciára hangoljuk, mert ellenkező esetben állóképet látunk.) A módszernek több hátránya is van:

- a kis, néhányszor tíz mikrométeres mozgásokat sajnos továbbra sem látjuk
- csak korlátozott terület világítható be, illetve elemezhető
- a látottak kiértékelése meglehetősen szubjektív, az adatok tárolása kizárólag az emlékezettel történik

A stroboszkóplámpás módszernél jobb eredményeket érünk el, ha a modern rezgésmérő műszerek képességeit és a számítástechnikát hívjuk segítségül, hiszen itt is rezgéseket akarunk megfigyelni. Első feladatunk, hogy modellt készítsünk a bevizsgálandó gépszerkezetről, amely minden egyes szerkezeti csomópontot tartalmaz. A modellalkotásnál természetesen tartuk szem előtt, hogy csak annyi mérőpontot vegyünk fel, amennyi a bevizsgálandó vagy feltételezett probléma detektálására feltétlenül szükséges - a pontokon ugyanis mérni is kell. (A túlzott mennyiségű pontok figyelembevétele nem javítja a vizsgálati eredményt.) Az lenti ábrán egy lemezre szerelt gépelem (lehet például alaplemez és csapágybak) modellje látható. Utána következik a modellünkhöz igazodó „adatgyűjtés”. Annak mindegyik csomópontján meg kell mérni a térbeli (x, y és z irányú) rezgéseket (mozgásokat). Mivel több pont mozgását kívánjuk egymással összehasonlítani (illetőleg együtt megjeleníteni), így nyilvánvaló, hogy nemcsak a mozgások amplitúdója, hanem egymáshoz viszonyított időpontja (fázisa) is fontos információ. Az alábbiakban a szóba jöhető mérési módszereket tekintjük át.



## Mérési módszerek

Mivel több pont mozgását kívánjuk egymással összehasonlítani (ill. együtt megjeleníteni), így nyilvánvaló, hogy nem csak a mozgások amplitúdója, hanem az egymáshoz viszonyított időpontja (fázisa) is fontos információ.

### Amplitúdó-fázis mérés triggereléssel

Mivel leginkább a gép forgásával kapcsolatos elmozdulások érdekelnek minket, az időbeni viszonyítás alapjaként a gép főtengelyének forgásfrekvenciáját vehetjük. Ehhez az összes mérést a fordulatszám-érzékelő jelével (fordulatonként egy impulzus) kell triggerelni (tehát a fordulatszámmal szinkronizálni), és utána az érzékelt rezgésjelet feldolgozni: a forgásfrekvenciájú, illetve valamely többszörös komponens amplitúdóját és fázisszögét kell meghatározni.

Méréseink eredményeként ez esetben tehát szerkezeti csomópontként három-három (mindegyik térbeli irányra vonatkozó) rezgésamplitúdó-érték és fázisadat áll rendelkezésünkre. Ezek az adatok együttesen azt írják le, hogy a vizsgált mérőpont (egy-egy adott frekvenciára nézve) milyen térbeli mozgást végez. Ha más frekvenciájú (forgásfrekvencia-többszörös) mozgás is érdekel bennünket, úgy a méréseket mindegyik ponton meg kell ismételni a kérdéses frekvenciára nézve.

A módszer előnye, hogy a mérések elvégzéséhez nem szükséges bonyolult műszer, és viszonylag gyorsan végrehajthatók. Hátránya viszont, hogy egyszerre csupán egy (forgásfrekvencia-függő), illetve a műszertől függően kettő-három kitüntetett (forgásfrekvencia-többszörös) frekvencián jutunk adatokhoz, és feltétlenül szükséges, hogy egy triggerelésre alkalmas jel legyen a forgórészen jelen.

### Referenciajel- (kétérzékelős) módszer

Ennél az eljárásnál két rezgésérzékelővel dolgozunk, amelyek közül az egyiket referenciának tekintjük és a mérés ideje alatt nem mozdítjuk el a helyéről. A másik érzékelőt pedig egymás után felhelyezzük az egyes mérési pontok meghatározott irányába. A mérés során a rezgések fázis- és amplitúdóspektrumát rögzítjük. A jelek egymáshoz történő időbeni viszonyítása tehát nem a forgástengely triggerjele alapján, hanem a referenciaérzékelő által mért rezgésekhez képest történik. A referenciaérzékelős módszer előnye a triggerimpulzusos méréssel szemben az alábbiakban foglалható össze:

- nem szükséges triggerelésre alkalmas jelnek lennie a forgórészen (sok esetben a triggerjel létrehozásához meg kell állítani a gépet), sőt egyáltalán nem szükséges "látható" forgórész;
- nemcsak előre definiált frekvencián jutunk animálható adatokhoz, hanem a spektrumokban szereplő minden olyan frekvencián is, amelyen megfelelő a koherencia a referenciaérzékelővel mért értékekkel.

A módszer hátrányaként a fokozott eszközigeny említhető.

Általános eset, hogy méréseinket a vizsgálandó gép üzemelése alatt végezzük, hiszen legtöbbször a jelentős gép- és gépszerkezeti rezgések kiváltó okaira vagyunk kíváncsiak. Emiatt - bármelyik mérési módszert alkalmazzuk is — mindenképpen figyelembe kell venni az eljárás fizikai korlátait. A legfontosabb talán az idő az egyszerre mérhető csatornák (mérési pontok) száma miatt. A mérést a legtöbb esetben egy, illetve két érzékelővel (egyszerre egy, illetve két csatornán) végezzük, ebből adódóan tehát csak akkor kapunk összehasonlítható adatokat, ha időben - legalább a mérés ideje alatt - állandó rezgések vannak jelen. Ez komoly korlát, mivel több száz mérési pontnál a szükséges idő akár órákban is mérhető, tehát mindenképpen hosszúidejű stabilitás (azonos üzemi állapot) szükséges. Ha ez nem biztosítható, akkor könnyen elképzelhető, hogy a változó amplitúdó- és fázisviszonyok téves eredményre vezetnek. (Ebből a szempontból a referenciaérzékelős módszer kevésbé érzékeny, mivel a fázisviszonyok változása többnyire egyenletesen kiterjed az egész rendszerre, így a referenciaérzékelő által rögzített jelre is. A relatív mérési módszer miatt a - mindkét jelben fellépő - változás kiesik, és ezért nem rontja a kiértékelhetőséget.)

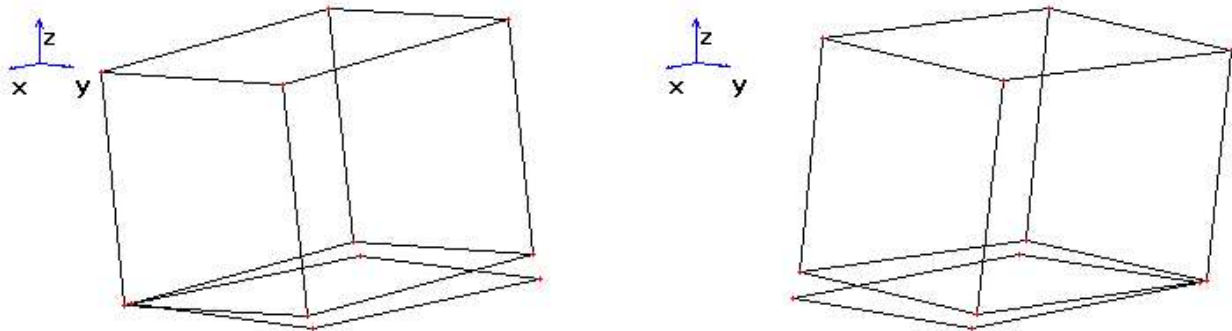
Ha lehetőség vagy szükség van rá, a vizsgálandó gépszerkezet üzemi rezgéseit helyettesíthetjük egy gerjesztő géppel is, amely az általunk meghatározott – általában bizonyos határok között változtatható – erővel és frekvenciával folyamatosan rezgéseket kelt. Ez esetben természetesen nem kell attól tartanunk, hogy a rezgések amplitúdója és fázisa időben nem állandó.

## Modellalkotás, kiértékelés

A mérési adatok begyűjtését követően jöhet a kiértékelés. Az eredmények kitaró elemzésével (összehasonlítással, koherenciavizsgálattal stb.) megállapíthatók ugyan a vizsgált szerkezet esetleges hibái, de a tévedés lehetősége - főleg nagy adathalmaz esetén - meglehetősen nagy, mivel a hiba nem biztos, hogy kiugróan jelentkezik. Az elemzés gyorsítása, illetve a tévedések minimalizálása érdekében alkalmazzuk a számítógépes - grafikai megjelenítésen alapuló - mozgásanimációt. Az animáció során elnagyolt amplitúdókkal - de fázishelyesen - és erősen lelassítva kerül ábrázolásra a gépszerkezet egy-egy kitüntetett frekvenciájú mozgása.

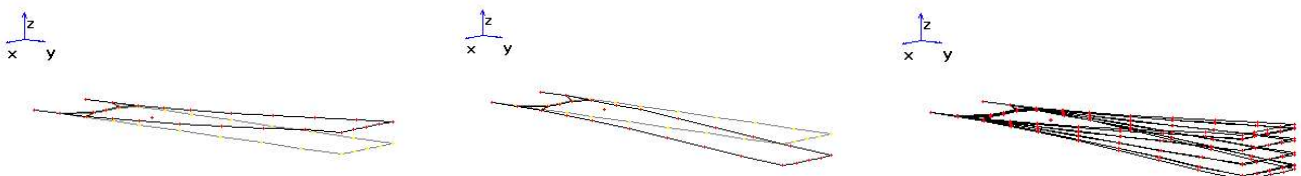
Jól megalkotott 3D-s (háromdimenziós, illetve térbeli) modellen - és természetesen hibátlanul végrehajtott mérésekkel - a gép- és gépszerkezeti hibák garmadája mutatható ki.

Legkönnyebben az egyes gépelemek közötti lazaságok fedezhetők fel. Az együttmozgás hiánya komoly rezgéssel és egyéb következményekkel járhat, ha a gépelemeknek egyébként mereven kellene kapcsolódnuk egymáshoz. A leggyakrabban ellenőrzött kapcsolatok a csapágy-csapágybak-alaplemez-alap alkotta rendszer rögzítési pontjai, illetve a teljes, összetartozó tartó- és épületszerkezetek. Az animációs ábrán a lazaság nagyon könnyen felfedezhető, mivel az egymás mellett (kapcsolódó) gépelemek mozgásában jelentős amplitúdó- és fáziskülönbség van. A lenti ábrán egy, az alaplemezhez nem megfelelően rögzített gépelem mozgásának fázisai láthatók.



A vizsgált szerkezetben a repedések, illetve a törések hasonló módon jelentkeznek, mint a lazaságok, de kimutatásuk már sokkal körülményesebb. Míg a lazaságok keresésénél modellünk megalkotásakor, így a mérési pontok felvételénél egyértelműen tudjuk, hogy az esetleges hibát hol kell keresni (gépelemek kapcsolódása), addig a - kevésbé látványos - repedések, törések kimutatásához egy adott gépelemen belüli mérések szükségesek. Ez esetben a modellalkotáson múlhat a vizsgálat sikere, mivel a túl ritka vagy nem megfelelő síkban felvett mérésekből nem megfelelő következtetéseket vonhatunk le. Itt ezért mindenképp megjegyzendő, hogy ha a mérés elemzése, animálása közben a legkisebb gyanú is felmerül valamilyen hibára vonatkozóan, akkor érdemes az adott pontok környezetében további - részletesebb - vizsgálatokat végezni (természetesen amennyiben ez lehetséges).

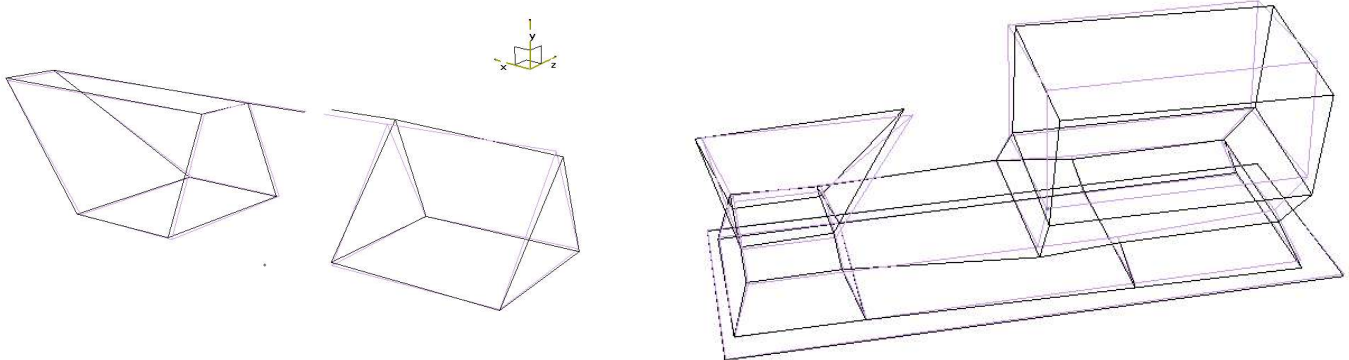
Az animációs módszerrel jól kimutatható továbbá az egyes szerkezeti elemek rezonanciás viselkedése. A vizsgálat egyetlen - de nagyon komoly - feltétele, hogy gerjesztenünk kell a szerkezetet a sajátfrekvenciáknak megfelelő frekvenciájú erővel (ha ez valamilyen konstrukciós vagy szerelési hiba miatt a gép üzeme alatt magától nem lépne fel).



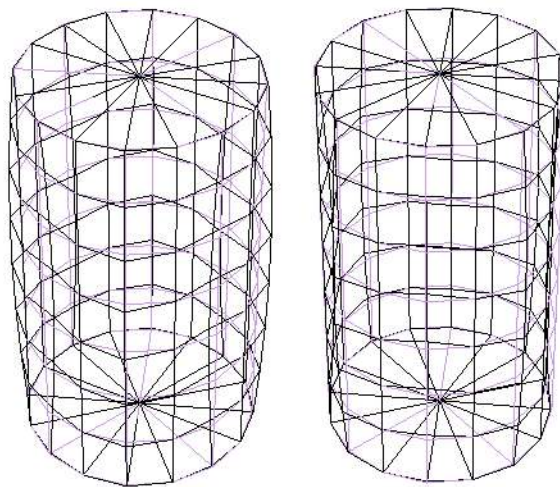


A fenti (és az előző oldali) ábrákon egy egyik végén befogott tartó mozgásának fázisai láthatók az első rezonanciafrekvencián történő hajlításra, illetve csavarásra.

A fenti példákban szereplő egyszerű modelleknél lényegesen bonyolultabbakat is készíthetünk – a modell részletessége (és komplexitása) természetesen elsősorban a feladattól függ. De határt szab a modell pontjainak számával arányosan növekvő mérési munka és az eredmény grafikai áttekinthetősége is.



A lenti ábrán egy nyomás alatt álló tartály pulzálásáról alkotott modell látható. A sok mérőpont adatainak begyűjtése nem kis feladat, a látvány viszont lenyűgöző... (Utóbbi két ábránk a VMI AB termékével, a VibShape hardver-(műszer-) független mozgásanimációs PC-szoftverrel készült modelleket ábrázol.)



Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a mozgásanimáció nagyszerű kiegészítő eszköz a diagnosztika kezében. Láthatóvá, könnyen és gyorsan elemezhetővé, érthetővé teszi az amplitúdó-fázis adatokat a kevésbé gyakorlott vagy más szakterületen dolgozók számára is. Könnyedén észrevehetővé válnak a meglazult gépelemek (fellazult csavarkötések, eltört hegesztések), a szerelési és tervezési hibák (kuplunghiba, rezonancia), valamint a tartó- és épületszerkezeti problémák. (Itt kell felhívni a figyelmet arra, hogy bár a kiértékelés egyszerű, a modellalkotás és a mérés megfelelő szakértelmet és gyakorlatot kíván.) A módszer azonban nem mindenható, ne próbáljunk vele gyorsan lezajló, nehezen reprodukálható, illetve időben változó (instacionális) folyamatokat vizsgálni.