

Dabis Gábor
A.A. Stádium Kft.

Csővezetékrendszer rezgéscsökkentése

A csővezetékrendszerek vizsgálata a rezgésdiagnosztika egyik viszonylag ritkán alkalmazott, és talán kevésbé ismert területe. Ez a viszonylagos ritkaság egyrészt érthető, mivel az összetett gépekkel szemben a csővezetékek nem, illetve sokkal kisebb részben tartalmaznak mozgó, és időről időre elkopó, tönkremenő alkatrészeket, így nincs szükség gyakori ellenőrzésükre, ugyanakkor a csővezetékeken létrejövő rezgések sok helyen éppúgy gondot jelenthetnek, mint a széleskörben vizsgált géprezgések, - *súlyos üzemkiesést, környezeti kárt, balesetet okozhatnak.*

A következőkben egy konkrét példán keresztül azt szeretném megmutatni, hogyan alkalmazhatók a rezgésdiagnosztika eszközei ilyen rendszer vizsgálatára, illetve ami az üzemeltető szempontjából fontosabb, hogy a fellépő káros rezgések milyen beavatkozással, és ezzel összefüggésben mekkora ráfordítással csökkenthetők a megfelelő szintre. A ráfordítás - hasznosság viszony optimalizálása éppúgy mérnöki feladat egy már működő rendszerbe való beavatkozás esetén, mint annak megtervezésekor.

A fent említett konkrét példa egy olajipari cégnél üzemelő kondenzátum adagoló rendszer vizsgálatának megtervezését, az eredmények értékelését és az elemzést követően általunk javasolt beavatkozások elvégzésének eredményeit mutatja be. A rendszer a következőkből áll:

1. 3 db feladószivattyú
2. 1 db feladó gerincvezeték
3. 5 db dugattyús működtetésű membránszivattyú
4. 2 db továbbító csővezeték

A feladószivattyúk centrifugálszivattyúk, melyek egy tartályból dolgoznak a feladó gerincvezetékre, amely a membránszivattyúkat táplálja. Két membránszivattyú háromfejes, a többi négyfejes. A szállított mennyiség fejenként fokozatmentesen szabályozható a lökethossz változtatásával. A membránszivattyúk két különböző átmérőjű csővezetéken továbbítják a kondenzátumot. Ezekhez természetesen tartozik még egy sor alkatrész, - elosztócsövek és a hozzájuk tartozó elzárószerelvények, amelyek segítségével bármelyik szivattyúfej a két továbbító csővezeték akármelyikére dolgozhat, a csőtartó oszlopok, amelyek egymástól technológiailag távol eső csöveket is összekötnek (rezgések tekintetében), és még sok más szerelvény.

Egy ilyen csővezetékrendszer megtervezése, figyelembe véve annak összes elemét, csak a rezgések szempontjából nézve is igen nagy bonyolultságú feladat. A rezgéscsökkentésnek, de már a mérések megtervezésének is a tervezési elvekhez hasonló szempontokat kell követni.

Az elvégzendő vizsgálatok megtervezése

Egy csőszakasz várható rezgésalakjának meghatározásához, - amire többek közt a mérési pontok helyeinek megválasztásakor van szükség -, azt legegyszerűbben hajlítólengést végző, állandó keresztmetszetű egyenes rúdként modellezhetjük. Ezenkívül legfeljebb még az állandó keresztmetszetű könyök várható rezgéseinek vizsgálata indokolt. Ez sok tényezőt figyelmen kívül hagy, a fent említett célra azonban megfelelő módszer.

Ezek figyelembevételével a mérési pontok egyenes csövön a két megfogás közt középen, egy helyen két egymásra és a csőre merőleges irányban, könyök esetén három irányban kerültek kijelölésre. A szivattyúk vezetékain, mivel itt a csövek még bonyolultabb rendszert alkotnak, és sok a szerelvény is, a pontok a helyszín részletes felmérése alapján kerültek kijelölésre. Ilyen módon **234** lett a **mérési pontok száma**. Hátra volt még az e pontokon elvégzendő mérési sorozatok számának meghatározása, ugyanis az öt szivattyú, a két továbbító vezeték és a többféle szállított mennyiség, számtalan különböző üzemállapotot határozhat meg, valószínűleg üzemállapotonként változó rezgésekkel. Az üzemeltetővel egyeztetve kiválasztottuk a gyakrabban előforduló kombinációkat, végül tizenkét üzemállapot került meghatározásra oly módon, hogy két-két gép üzemel együtt, két különböző szállított mennyiség meghatározása mellett. Ha kiszámoljuk ez így is **2808** mérést igénylő munka.

Az értékelésnél nem elég egyszerű effektívérték mérés, ismernünk kell a frekvenciákat is, mivel a csövek igénybevétele függ a rezgés frekvenciájától, egyszóval rezgési spektrumot kell felvennünk. Azonban 2808 értékelhető spektrum felvétele egy csővezetékrendszer pontjainak bejárása mellett, - még az általunk használt valóban gyors adatgyűjtővel is -, több mint egyhetes munka lenne.

E munka lerövidítése céljából ismét egyszerűsítésre volt szükség, nevezetesen a mérés egészét elvégeztük először effektív rezgéssebesség mérővel, amely esetében a mérési idő töredéke a spektrumfelvétel idejének, nem beszélve a magunkkal vitt eszközök tömegéről.

Ebben az esetben azonban nem ismerjük a rezgés frekvenciáját, amelynek szükségességére éppen az imént hívtam fel a figyelmet. Ilyen esetben meg kell húzni egy rezgéssebesség határt, amely fölött az adott ponton spektrumot is veszünk fel. Ez megtehető, ha kellően tanulmányozzuk a szóba jöhető rezgéseket, arra kell csak vigyáznunk, hogy jóval a biztonság javára tévedjünk. Mi 10 mm/s-ban állapítottuk meg ezt a limitet, ami az értékelés során jónak bizonyult. Ilyen módon **689** spektrum került felvételre, ez már jelentősen kevesebb elemzési munkát igényelt.

Az eredmények értékelése

Az eredmények értékelésére a különböző források többféle módszert ajánlanak. A közös az bennük, hogy legtöbbjük a csúcstól-csúcsig elmozdulás értéket használja. Ez nem jelent gondot, mivel a sebesség- vagy gyorsulásspektrumot az értékelő szoftver könnyen átalakítja elmozdulás spektrummá.

Léteznek különböző, a dinamika ide vonatkozó összefüggéseit grafikusán megjelenítő nomogramok, melyek meglehetősen pontos eredményeket adnak.

Ezeknél azonban a bemenő adatok száma olyan nagy, hogy problémás pontonként külön-külön elvégezve az értékelést nagyon sok munkát venne igénybe. El lehet képzelni, hogy a fent említett nomogram használata 689 esetben mennyi időbe telne. Ez talán egy csővezetékrendszer megtervezésénél szóba jöhető módszer, a mi esetünkben azonban célszerű egyszerűbb metódust választani. Bár ezek valószínűleg kevésbé pontosak, léteznek nemzetközileg ismert, és széleskörben alkalmazott ajánlások, melyek pontatlansága ismét csak a biztonság javára téved. Az általunk alkalmazott Thomassen BV ajánlás alkalmas nagyszámú adat viszonylag gyors értékelésére.

Ezen ajánlás megkülönböztet veszélyes, korrekciót igénylő, és három további rezgésszintet, - értékelésünk során az első kettővel foglalkoztunk. Látható, hogy a frekvencia növekedésével a megengedhető elmozdulás-amplitúdó csökken (többek közt ezért nem elég a rezgéseket egy számmal jellemző effektív érték mérés). Ez alapján értékelve a felvett spektrumokat, a **12 üzemállapotban összesen 219 korrekcióra szoruló értéket** találtunk, ezek közül **30 a veszélyes határértéket is túllépte**. A vizsgált rendszer tehát rendkívül sok problémával volt terhelt.

A beavatkozások megtervezése

A rezgéscsökkentési módokat csoportosítva beszélhetünk aktív illetve passzív módszerről. Az előbbi a rezgést kiváltó okra hat, esetünkben ilyen lenne például a szivattyú nyomóágába beépíthető, a pulzálást csillapító üst, vagy a fordulatszám megváltoztatása. A passzív módszerre jó példa egy az üzemeltető által korábban végrehajtott módosítás: egyes szivattyúk csőveibe flexibilis csőszakaszt iktattak, ezáltal próbálták a további csöveket elszigetelni a magas rezgések forrásától.

Flexibilis csőszakaszok

Ismert, hogy ha egy rendszert sajátfrekvenciáján gerjesztünk, a válaszamplitúdó sokszorosa egy eltérő frekvenciájú azonos nagyságú gerjesztés által kiváltottnak. Törekedni kell arra, hogy a rendszer elemeinek sajátfrekvenciája távol essen a működési frekvenciáktól. A rezgéscsökkentés egyik alapvető eszköze tehát az elhangolás, ami vagy a gerjesztő frekvencia megváltoztatását, vagy a rezgő rendszer sajátfrekvenciájának módosítását jelenti.

Vizsgáljuk meg, - most már a konkrét példára szorítkozva -, milyen rezgésekre számíthatunk.

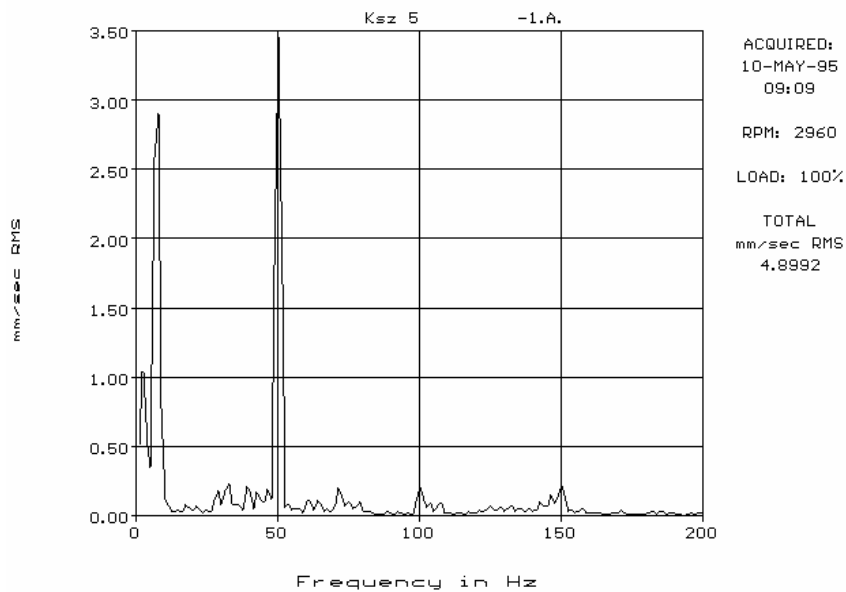
Minden csővezeték rendszerben van néhány gerjesztő forrás, amely káros mértékű rezgések okozója lehet. Ilyen esetünkben például:

- a membrán szivattyú okozta pulzáló áramlás,
- az alternáló és forgó mozgást végző géprészek rezgései,
- a feladószivattyúktól származó rezgések,
- turbulenciák.

A másik oldalon pedig ott van az a rugalmas és bonyolult felépítésű rendszer amelyre a fenti gerjesztések hatnak. Hogy az ezek által okozott rezgés mekkora lesz, a következő tényezők függvénye:

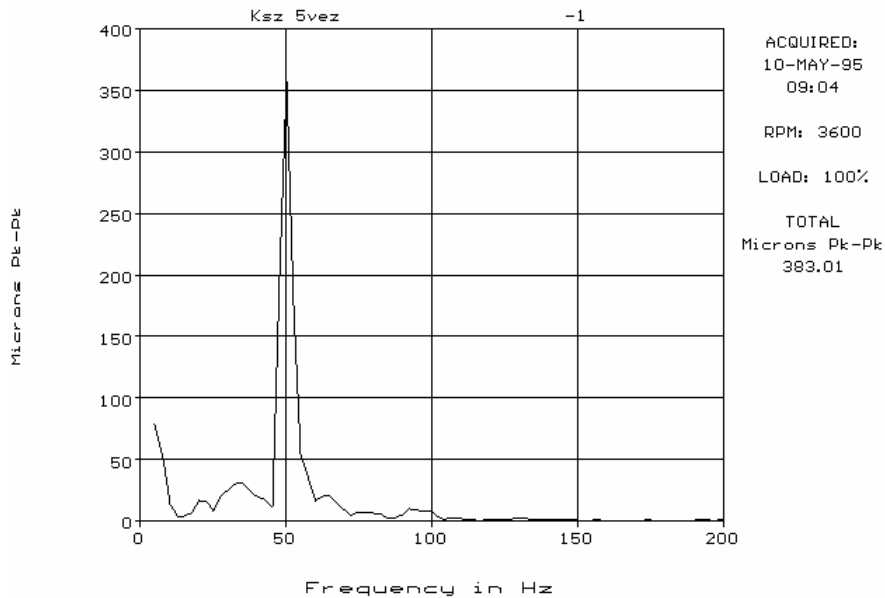
- a gerjesztő erők nagysága
- a gerjesztő erők frekvenciája
- a gerjesztő erők helyzete
- a rendszer egyes elemeinek csillapítása
- a rendszer elemeinek rezonanciafrekvenciája (sajátfrekvencia)

Ahhoz, hogy az említett gerjesztő forrásokat megismerjük, rezgésvizsgálatot végeztünk a feladó- és membránszivattyúkon is. Ezek spektrumait elemezve megfigyelhettük a jelentősebb rezgéscsúcsok frekvenciáit.

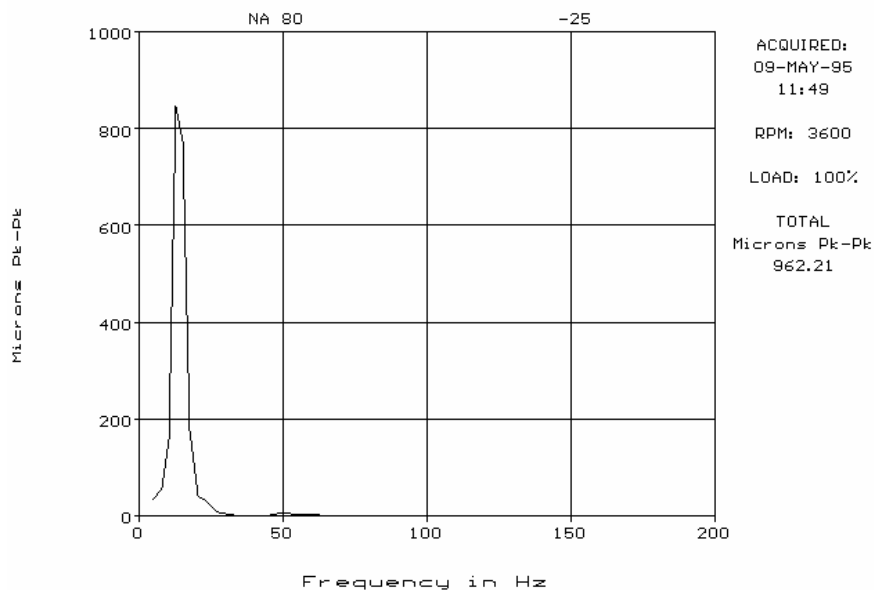


Membránszivattyú rezgésebbesség spektruma

Nézzük meg, - most már elmozdulásban -, hogy a fent bemutatott szivattyú rezgések hogyan jelentkeztek a csőrendszer egyes pontjain.



Membránszivattyú nyomóági vezeték elmozdulás spektruma



Továbbító csővezeték szivattyútól távoli pontjának elmozdulás spektruma

A szivattyúhoz közel eső, rövid szakaszonként megfogott nyomóági vezeték érzékenyen reagál a szivattyú motorjának forgási frekvenciáján jelentkező gerjesztésre, míg a továbbító csővezeték, mely a szivattyútól távol esik és megfogási távolsága a beavatkozások előtt 4 m, az alacsonyabb frekvenciájú gerjesztésre érzékeny. A megfogások távolsága jelentősen befolyásolja az adott csőszakasz rezonancia frekvenciáját, ezért és egyszerűsége miatt is a megfogás az esetünkben legkézenfekvőbb beavatkozási módszer.

Láthattuk, hogy a rendszerben igen sok problémás pont van, ezek közül is kiemelkedően sok **-151 db, ebből 17 db veszélyes** -, a szivattyúk vezetékéin. Ezeken a

helyeken a csőátmérők és a csőszakasz hosszak a működési frekvenciákhoz közeli sajátfrekvenciákat határoztak meg. A rövid szakaszok miatt csak megfogásokkal beavatkozni nem látszott célszerűnek, csőátmérő változtatás látszott szükségesnek. Ezeken az összes vezeték csőátmérő növelését, helyenként a megfogások számának növelését javasoltuk, valamint a csőtartó oszlopok áthelyezését a beton alapra, mivel azok addig a szivattyúk rugalmas alapteretére voltak erősítve. A szivattyúk alapozását egyébként már korábban, azok rezgésvizsgálatát követően kifogásoltuk. A kb. kétszeres átmérő növelés a rezonanciafrekvenciát a kritikus 50 Hz környékéről kb. 150 Hz-re módosította volna.

Ezeken kívül javasoltuk még az elágazások megváltoztatását hegesztett nyerges elágazásra, a továbbító csővezetékek alátámasztásainak megkecszerezését valamint a csőhídhoz való rögzítését. Az említett két csővezeték alátámasztásai beavatkozás előtt 4 m távolságra voltak egymástól, és a megfogások közt középen a már korábban bemutatott spektrum szerinti alacsonyabb frekvenciás magas rezgések voltak mérhetőek.

Észrevehették, hogy a szivattyúk vezetékére vonatkozó beavatkozásokat és várható következményeiket feltételes módban említettem. Érezve, hogy ez a **nagy ráfordítást és üzemkiesést** jelentő munka, - a szivattyúk csőhálózatának teljes kicserélése - nem lesz elfogadható az üzemeltető számára, készítettünk egy **praktikus javaslatot** is.

Kiválasztottuk azt a szivattyúpárt, amely a legkevesebb korrekciós értéket (**összesen 39-et**, köztük **4 veszélyeset**) produkálta mindkét terhelési állapotban, és csak ezek működtetését javasoltuk az üzemeltetőnek. Ez egyfelől pazarlásnak tűnhet, mivel a többi három szivattyú kihasználatlan marad, előnye azonban, hogy a rezgésszegény üzemállapotok elérhetőek **kis ráfordítással, üzemleállás nélkül**. A praktikus javaslat tartalmazta a fentebb említett megfogásszám növeléseket, a csőhídi megfogást, az 1. és 2. szivattyú szívóági elzárószerelvény utáni csőmegfogásokat, továbbá a csőtartó oszlopok említett áthelyezését is.

Eredmények

Miután a megrendelő a praktikus javaslatot választotta, a beavatkozások hamarosan kivitelezésre kerültek. Ezt követően ellenőrző méréseket végeztünk, most már csak a két gép üzeme mellett, a két különböző üzemállapotban.

Az átalakítások hatására a korábbi **39 korrekciós szintű rezgés 10-re csökkent**, mind a 10 azon szivattyú vezetékén, amelyen a csőtartó oszlopok áthelyezésén kívül semmi változtatás nem történt. Ezek valószínűleg csak az említett alapozási probléma megoldásával lennének megszüntethetőek. **Veszélyes érték sehol nem maradt.**

Mivel a rezgésszegény párbaállítás is csak a rezgésdiagnosztikai vizsgálatok alapján történhetett meg, a valóságos csökkenés: 219 korrekciós szintű rezgés 10-re, illetve 30 veszélyes szintű 0-ra. Mindez az eredményekhez képest kis ráfordítással, rövid idő alatt, üzemleállás nélkül.

A bemutatott példán keresztül - a rezgésdiagnosztika ilyen célú alkalmazásának lehetőségén kívül - arra kívántam felhívni a figyelmet, hogy az ésszerű egyszerűsítéseknek, az

egyszerűbb megoldásoknak egy probléma megoldásának elejétől a végéig létjogosultsága van, sokszor ezek biztosítják az egyedül célravezető megoldást.

Felhasznált irodalom:	Dr. Ludvig Győző:	Gépek dinamikája
	Fábry György:	Vegyipari gépezetek kézikönyve
	Pipeline & Compressor	
	Research Council:	Pulsation & Vibration Short Course