Diagnosztikai vizsgálatok megmunkáló gépek előrelátó illetve megelőző karbantartásához

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

Az ipari termelőknek a gyártási kapacitásai egyre nagyobb kihasználtsága mellett egyre fontosabb olyan karbantartási rendszer alkalmazása, mely képes a termeléskiesést okozó váratlan meghibásodások megakadályozására. A Tervszerű Megelőző Karbantartás (közismert nevén TMK) és a dinamikusan fejlődő korszerű kenőanyagok alkalmazásával jelentős sikerek érhetők el, azonban még így is túl magas marad a kockázati tényező. De a TMK hátránya - a *még* jó vagy akár teljesen hibátlan alkatrészek fölösleges cseréjéből adódó többletköltségek (veszteségek) - is indokolja más módszerek szükségességét.

Napjainkban a rezgésdiagnosztika (rezgésellenőrzés) elméleti és gyakorlati fejlődése a korábbiaknál lényegesen hatékonyabb, új karbantartási módszereket tesz lehetővé. Állapotfüggő ill. megbízhatóság-alapú karbantartás néven sok kül- és belföldi cég sikeresen alkalmazza a rendszeres rezgésdiagnosztikai értékelések alapján megszervezett karbantartást. Az ilyen módszereknek az az alapja, hogy a gépek rezgésjellemzőinek mérésére alapozva az üzemeltető/karbantartó a gépek alkatrészeinek műszaki állapotáról, továbbá az esetleges várható problémákról és meghibásodásokról időben olyan információkat kapjon, melyek alkalmasak a váratlan hibaesemények megelőzésére.

Érthető a gépek illetve azok alkatrészeinek meghibásodása megelőzésének előnye, ha figyelembe vesszük, hogy a váratlan meghibásodás mekkora és milyen napi, esetleg heti veszteségeket okozhat. Az iparban tapasztalt felfokozódott versenyhelyzetben egyre inkább szükség van a meglévő felszereltség jó állapotának megőrzésére. Arról még nem is beszélve, hogy egyre különlegesebb gépekkel történik a termelés és egyre nehezebb rövid időn belül beszerezni a speciális alkatrészeiket. Pótalkatrészeket raktározni pedig hely- és tőkeigényes. Célszerűnek látszik az is, hogy a kisebb hibák időben történő orvoslásával megelőzzük a miattuk bekövetkező nagyobb és költségesebb gépsérüléseket is.

A rezgésdiagnosztikai vizsgálatok fizikai elve

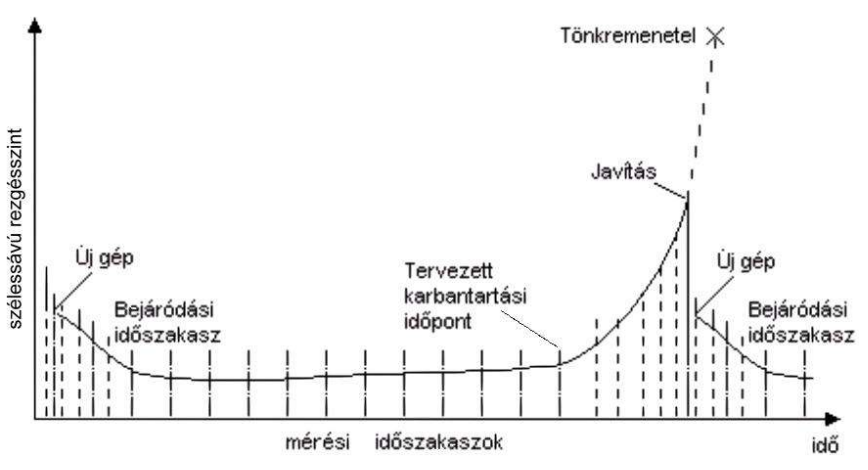
Minden szilárd test több irányban különböző frekvenciájú rezgések végzésére képes. A legnagyobb kilengéseket a testspecifikus sajátfrekvencián tapasztalhatjuk, mivel e frekvencián „rezonál" a test az adott irányban (innen eredt a rezonanciafrekvencia fogalma). Természetszerűleg egyetlen test sem kezd el magától rezgéseket végezni, hanem ehhez gerjesztés – tehát külső erőhatás – szükséges. Minél nagyobb ez az erő, és – alternáló erők esetében – változási üteme minél inkább megegyezik a test sajátfrekvenciájával, annál nagyobb rezgéseket végez a szilárd test az erőhatás által meghatározott irányban.

Forgógépek esetén a rezgések forrásai a gép működése közben elkerülhetetlenül fellépő alternáló erők. Ezek soha nem küszöbölhetők ki teljesen, hiszen többek között a gép üzemszerű alternáló működéséből (például dugattyús gépek), a forgó alkatrészek maradék kiegyensúlyozatlanságából, a hajtásból eredő periodikus erőkből (például hálózati felharmonikusok) adódnak. Az üzemszerűen jelen lévő erőknek az egyes gépalkatrészekre gyakorolt hatását úgy kell elképzelni, hogy minden gépalkatrész egy rúgó-tömeg lengőrendszer része. Maga a forgógép számos ilyen lengőrendszerből áll, amelyek szinte kivétel nélkül egymással is összefüggésben vannak, és egymást gerjesztik.

A szilárd testek rezonanciatulajdonságából következik, hogy mindegyik gépelem igyekszik a rá ható alternáló erő hatását a saját frekvenciáján követni. Ez nemcsak a gép mozgó összetevőire, hanem az összes tartóelemére is vonatkozik. A mechanikus elemek merevsége és tömege függvényében alakul ki a gépen mérhető rezgések frekvenciája és a hozzátartozó amplitúdó. Minél kisebb a gépelem, annál nagyobb frekvenciájú, de kisebb amplitúdójú rezgést végez.

A rezgés erőssége a gép ill. gépalkatrész(ek) élettartama alatt változik a hézagok, felületek és rugalmassági tényezők változása – a gép kopása ill. öregedése folyamán. A változás tendenciáját a lenti élettartam görbén szemléltetjük.

A diagramon (a következő oldalon) látható, hogy a gépelem bejáródási ideje alatt magasabb a rezgés értéke. A bejáródott gépelemre hosszú ideig közelítően azonos rezgéserősség jellemző, a gépelem elhasználódásának utolsó szakaszában pedig növekszik a rezgés erőssége (majdnem exponenciálisan).



1. ábra: Tipikus élettartam-rezgésszint összefüggés forgógépek esetén [forrás: PIM]

A gépállapotfüggő karbantartás bevezetésének célja

A gépállapotfüggő karbantartás bevezetésének és fenntartásának hosszú távú célja minden vállalat esetében a gazdasági megtakarítás, amely két tényezőből tevődik össze:

- Költségmegtakarítás:

1. a gépbeállítás és kiegyensúlyozás rendszeres ellenőrzése miatt a csapágyak élettartama megnő
2. a gépállapotfigyelés alapján gépkárosodás nélkül kihasználható a gépelemek egyedi élettartama
3. kisebb karbantartási költségek

- Bevételnövekedés:

1. a termelés folyamatossá tétele miatt a váratlan állásidők csökkennek, nincs szállítási késés
2. a többlettermelés miatt a bevételek növekedhetnek
3. jobb minőségű termelés érhető el és tartható fenn folyamatosan

A gépállapotfüggő karbantartás előnyei

1. Nagyobb termelékenység, mivel a bevizsgálások közötti időszakokban a gép akár maximumon is dolgozhat. A váratlan meghibásodások számának csökkentésével növekedhet a termelés is.
2. Alacsonyabbak a karbantartási költségek, mivel csak a hibás vagy előreláthatóan meghibásodó alkatrészek kerülnek kicserélésre. Az alkatrészek beszerzése előretervezhető. Kis (könnyen javítható hibák vagy csupán beállítási hiányosságok) miatt előforduló nagyobb károk megelőzhetők.
3. Eredményesebb a javítás, mivel az új alkatrész és annak beszerelése ellenőrizhető. Több tanulmány kimutatja, hogy a foganatosított javítások és az újonnan kicserélt alkatrészek 10%-ánál hibák tapasztalhatók !
4. A készletezési költségek alacsonyabbak, mivel csökken a szükségszerűen tartalékolt alkatrészek száma.
5. A kezelők és működtetők személyes biztonsága növekszik, mivel az állapotfelmérés szerint szükséges javítások kivitelezési időpontja a gép kritikus állapotának elérése előtt van.

Rezgésmérésen ill. -analízisen alapú gépállapotfelmérő módszerek

1. Szélessávú rezgésmérés vagy rezgésszintmérés

Ha kifejezetten egyszerűen kezelhető, könnyen értelmezhető forgógép-állapotjellemzőt szolgáltató mérési eljárásra van szükség, akkor a szélessávú rezgésmérés vagy rezgésszintmérés a megfelelő módszer. Az erre szolgáló kézi műszerek a rezgéssebesség effektív értékét (angolul RMS, azaz a rezgéskomponensek négyzetes átlaga) mérik.

A mérés szokásos frekvenciatartománya 10-től 1000 Hz-ig (ISO 2372 szerint) vagy 10-től 3200 Hz-ig (az új ISO 10816-3 szerint) terjed. Ezek a tartományok felölelik a forgógépek mechanikus problémáinak többségére jellemző, leggyakoribb frekvenciákat. Kitűnően észrevehető például a kiegyensúlyozatlanság, a mechanikai lazaság, a rezonancia, valamint a tengelyek, illetve áttételek beállítási hibáinak jelenléte. Arról viszont nincs információ, hogy melyik dominál.

A szélessávú rezgésmérő kézi műszerek alkalmazása - különböző rezgésértékelő szabványok javaslatainak megfelelően - a forgógépek csapágyain (illetve ezek burkolatain) történő mérésekhez ajánlott. A tapasztalattal nem rendelkező felhasználóknak javasolható, hogy a mérési eredmények értékeléséhez az ISO 10816-3 szabványt (ez lépett a régi ISO 2372, valamint ISO 3945 helyébe) vegyék alapul. Előfordulnak azonban a szabványnál szigorúbb előírásokat megkövetelő technológiák, valamint a szabványosnál nagyobb rezgésértékeket megengedő esetek is.

2. ábra. Tipikus digitális rezgésszintmérő kéziműszer [forrás: PIM]

A szabványok általában a rezgéssebesség mérésén alapulnak, mm/s effektív értékben (RMS-ben) kifejezve. A mérési eredmény jobb érthetőségét segíti az, hogy a leolvasott értéket az oda-vissza mozgás átlagsebességeként értelmezzük. A rezgéssebesség effektív értéke tükrözi legjobban a nem kívánatos jelenségek, kedvezőtlen hatású energiák (erők) jelenlétének mértékét. Ezek minden mérhető esetben kopást és anyagkifáradást okoznak a gép szerkezetében.

Az ISO 10816-3 szabvány osztályokba sorolja a gépeket, valamint különbséget tesz rugalmasan és mereven szerelt gépek között is. (Az utóbbi megfelel a gépek rezonanciafrekvenciáinak és alapfordulatszámának viszonya szerinti osztályozásnak. Például egy gumialátéttel vagy rugóval – tehát rugalmasan - szerelt gép gyakran alacsony fordulatszámokon mutat rezonanciákat, a gép már igen kis fordulatszámon is nagy lengéseket végez. Ha a fordulatszám meghaladja a kritikus rezonanciafrekvenciákat, a rezgésszint csökken. Mereven szerelt gépek esetén nem beszélhetünk ilyen jelenségről.) A korszerű gépek nagy fordulatszámon dolgoznak, és viszonylag rugalmas csapágyakkal, perifériákkal és alapzattal rendelkeznek. Ezért ezek rugalmasan szereltként kezelhetők akkor is, ha nincsenek gumialátéttel vagy rugóval rögzítve. Ezekben az esetekben az ISO 10816-3 szabvány valamivel magasabb rezgésszinteket enged meg a merev rögzítéshez képest.

rezgéssebesség (effektív) mm/s	1-es és 3-as osztály		2-es és 4-es osztály	
	merev alap	rugalmas alap	merev alap	rugalmas alap
- 1,4 -	JÓ	JÓ	JÓ	JÓ
- 2,3 -			ELFOGADHATÓ	
- 2,8 -	ELFOGADHATÓ		NEM KIELÉGÍTŐ	ELFOGADHATÓ
- 3,5 -				
- 4,5 -	NEM KIELÉGÍTŐ	ELFOGADHATÓ	ELFOGADHATATLAN	NEM KIELÉGÍTŐ
- 7,1 -	ELFOGADHATATLAN	NEM KIELÉGÍTŐ		
- 11,0 -		ELFOGADHATATLAN		ELFOGADHATATLAN

3. ábra: Az ISO 10816-3 által javasolt rezgésszint-határértékek (kivonat)

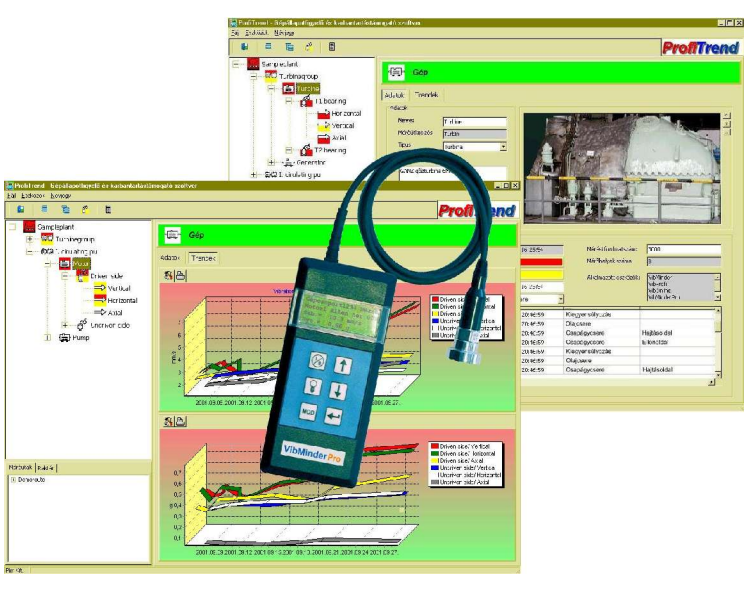
A szabványok használatával nagyon egyszerűen eldönthető, hogy egyes gépek tovább üzemeltethetők-e vagy sem. Alapszabályként elfogadható, hogy a 3 mm/s effektív értéknél nagyobb rezgést mutató gépnél (ide értjük a leggyakoribb géptipusokat, például a villanymotorokat, szivattyúkat, ventilátorokat, generátorokat) a rezgés okát fel kell tárni. Ne üzemeltessünk tovább 7 mm/s-nál erősebben rezgő gépet, ha nem vagyunk biztosak benne, hogy a gép állóképessége megengedi a hosszú idejű üzemeltetést ilyen feltételek mellett.

2. Gépállapot-figyelés trendkészítéssel

A gépállapot romlási sebessége a legértékesebb információ az állapotfüggő gépkarbantartás megszervezéséhez, hiszen ennek alapján megbecsülhető, hogy mikor és milyen beavatkozást kell elvégezni ahhoz, hogy a gép váratlan leállás (és fölösleges javítások) nélkül üzemeljen, de közben a meglévő kezdetleges hibákból eredően nagyobb károkat se szenvedjen. Ehhez a géprezgések trendjét kell elkészíteni, amelynek emelkedési mértéke ad információt a várható időtartamokról.

A trendkészítés módszere nagyon egyszerű: rendszeres időközönként a gépek rezgéseit újra kell mérni (ugyanazokon a helyeken, ugyanabban az irányban és lehetőleg ugyanazzal a mérőeszközzel), és mindegyik mérőpontra vonatkozó adatot az idő függvényében, grafikusan kell kiértékelni. A mindenkori gépre értelmezhető határértékek figyelembevételével megbecsülhető, hogy változatlan terhelés és egyéb körülmények között gépünk rezgései mikor érik el a határ(oka)t, tehát legkésőbb mikor kell beavatkozni.

Sok kis és közepes méretű cégnél a gépek nagyobb száma miatt már nem ajánlatos csupán „papírral és ceruzával" végigjárni a berendezéseket, és egyenként feljegyezni, hogy melyik gép rezgése milyen szinten van, majd minderről külön-külön grafikákat készíteni, vagy az adatokat egyenként számítógépre vinni. Sokkal inkább olyan mérőeszközre érdemes beruházni, amely képes a rezgéssebesség effektív értékének mérésére és több gép adatainak tárolására, valamint ezeknek számítógépre való átküldésére. Az ehhez szükséges műszerek viszonylag kedvező áron beszerezhetők, így az alkalmazásukból tetemes haszon származik, hiszen időben tervezhetővé válik a karbantartás. Mivel tudni fogjuk, hogy meddig kell a beállításkorrekciót, illetve a kiegyensúlyozást vagy a csapágycserét elvégeznünk, a fölösleges javítások és a váratlan gépleállások egyaránt elkerülhetővé válnak.



4. ábra. Adatgyűjtő kéziműszer, valamint gépállapotfigyelő és karbantartástámogató PC-szoftver [forrás: PIM]

3. A gépelemek hibáinak pontos felderítése a rezgések spektrumanalízise révén

A rezgések spektrum-, illetve frekvenciaanalízise nemcsak divat, hanem a jelenlegi leghatékonyabb gépállapot-felmérő eszköz is, feltéve, hogy szakértelemmel „olvassák" a benne rejlő információkat. Ugyanis amíg az eddig bemutatott gépállapot-felmérő és -figyelő technológiákhoz nem kell különlegesen képzett szakembert „csatasorba állítani", a spektrumanalízis csak megfelelő képzettséggel és tapasztalattal alkalmazható eredményesen.

A spektrumanalízis alapja a következő gondolatmenet: Minden gép, illetve gépalkatrész (tengely, burkolat, tartóelem, csapágy, tárcsa stb.) mint „merev" test azzal az alapvető mechanikai (fizikai) tulajdonsággal rendelkezik, hogy leginkább egy-egy bizonyos „saját"-frekvencián képes adott irányokban rezgéseket végezni (tehát ezen a frekvencián rezonál külső gerjesztés, esetünkben például a gép forgásából eredő alternáló erők hatására). A felvett rezgésjel spektrumanalízisével „láthatóvá" válik, hogy milyen frekvenciájú rezgések vannak jelen. A rezgésfrekvenciák viszont hozzárendelhetők bizonyos gépalkatrészekhez és tipikus géphibákhoz, természetesen az aktuális gépfordulatszám figyelembevételével.

A rezgések spektrumanalízise révén az egyes gépelemek hibái pontosan felderíthetők, és eldönthető az, hogy beállítási vagy kiegyensúlyozási hiba van-e jelen. Ez a módszer például csapágyhiba esetén képes arra, hogy külön kimutassa a belső, valamint a külső gyűrű vagy a kosár sérülését. Villanymotorok elektromos paramétereinek mérésével akár villamos hibák (többek között aszinkron motor forgórészrúdjainak törése) is felderíthetők.

A géprezgések spektrumanalízise révén már a javítások előtt pontosan tudni lehet, hogy mit kell tenni. Így jelentős megtakarítás érhető el az alkatrészek és a munkaidő vonatkozásában, ráadásul a javítás során nem lehet a nem annyira feltűnő - de szintén jelen lévő - hibák kijavítását elfelejteni. Sőt, nagyon gyorsan és pontosan ellenőrizhető a javítások sikeressége is a javítás előtti és az újbóli beüzemeléskor végzett mérések spektrumainak összehasonlításával. Az így javított és ellenőrzött gépek megbízhatósága nagymértékben nő csökkenő karbantartási költségek mellett.

5. ábra: Korszerű rezgésanalizáló adatgyűjtők, háttérben tipikus rezgésspektrum ill. időjel [forrás: PIM]