

# Gépállapot-felügyelet



Brüel & Kjær 

## Bevezetés

Ezen kis könyvecske azt a fontos szerepet kívánja bemutatni, amelyet a rezgésmérés és analízis játszhat egy üzem karbantartásában és üzembiztonsága védelmében. Bár a könyvecske a téma alapjaiba vezet be, feltételezi, hogy az olvasó ismeri a rezgésmérés alapvető módszereit, amelyeket a "Rezgésmérések" c. hasonló könyvecske foglal össze.

A jelen könyvecskében foglalt témák az alábbiak:

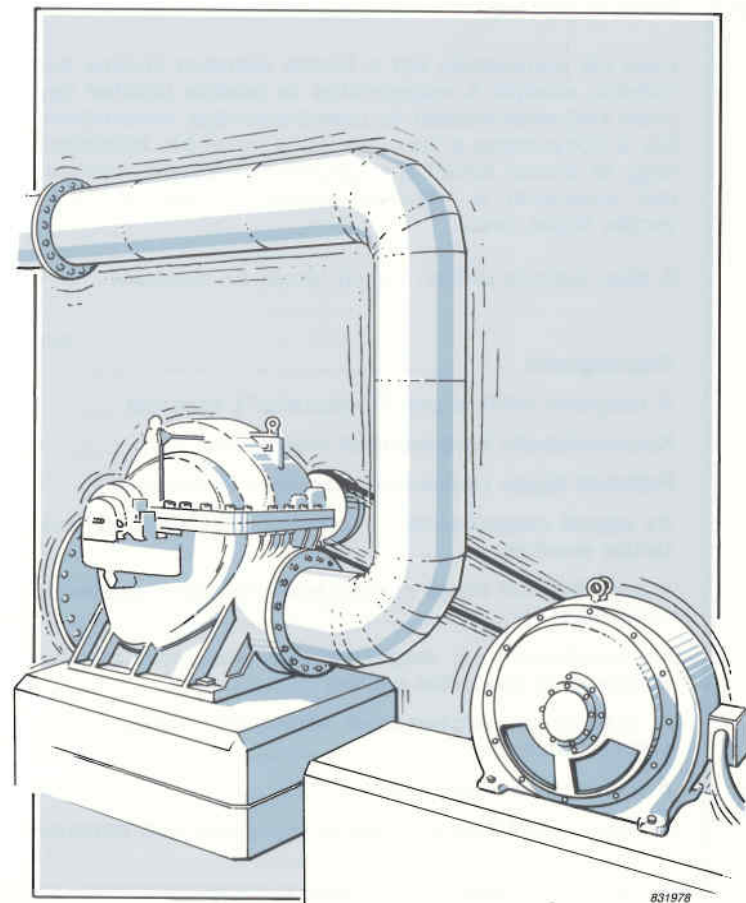
	Oldal		Oldal
<b>Géprezgések</b> .....	2	<b>Egy fejlett, számítógépes gépállapotfelügyeleti rendszer (monitoring)</b> .....	14
<b>A rezgések jelzik a gép ("egészségi") állapotát</b> .....	3	<b>A "gépállapotfüggő karbantartási" program felépítése</b> .....	16
<b>Konvencionális karbantartási módszerek</b> .....	4	<b>Rezgésérzékelők és mérési jellemzők</b> .....	18
<b>Futásidő függő (tervszerű) megelőző karbantartás</b> .....	5	<b>Az amplitúdó és frekvencialéptékek megfelelő megválasztása</b> .....	20
<b>Az egyedi megközelítés — gépállapottól függő karbantartási rendszer</b> .....	6	<b>Rezgéserősségi határértékek a géprezgések megítélésére</b> .....	22
<b>A gépállapottól függő karbantartási rendszer gazdasági előnyökkel jár</b> .....	7	<b>Néhány szó a hibabehatárolásról</b> .....	25
<b>Mérőrendszerek a rezgésmérésre alapozott gépállapotfüggő karbantartás céljaira</b> .....	8	<b>Hibabehatároló táblázatok</b> .....	26
<b>A szélessávú rezgésmérést alkalmazó legegyszerűbb megközelítés</b> .....	9	<b>Gépek folyamatos rezgésfelügyelete</b> .....	28
<b>A frekvenciaelemzés előnyei</b> .....	10	<b>Javasolt további irodalmak</b> .....	30
<b>A frekvenciaelemzést biztosító legegyszerűbb rendszer</b> .....	12		

## Géprezgések

Ha létezne ideális gép, azon semmiféle rezgés nem lépne fel, mivel az összes energiát az elvégzendő munkára fordítaná. A gyakorlatban a rezgések a mechanizmuson üzem-szerűen áthaladó ciklikus erők átviteli folyamatának mellék-termékeként lépnek fel. A gép elemei egymásra kölcsönhatást gyakorolnak és a szerkezetben energia nyelődik el rezgések formájában. Egy jó konstrukció esetén a keltett rezgésszintek alacsonyak. Ahogy azonban a gép kopik, a gép alapozása leül, a gépalkatrészek deformálódnak, a gép dinamikai sajátságai alig észrevehető kis változások kezdődnek meg. Egytengelyűségek állítódnak el, alkatrészek kopnak meg, forgórészek válnak kiegyensúlyozatlanná, hézagok nőnek meg, ezek mind a rezgési energiák megnövekedésében nyilvánulnak meg. Ezek az energiák a gépben mindenfelé terjedve rezonanciákat gerjesztenek és a csapágyak jelentős dinamikus többletterhelését okozzák. Ok és okozat egymást erősítik, míg a gép a végülis bekövetkező meghibásodás felé halad.

Régebben, a gyakorlott üzemi emberek képesek voltak arra, hogy hallás és tapintás útján megítéljék, a gép simán fut-e, vagy meghibásodás van kialakulóban.

Ma már két okból sem bízhatjuk rá magunkat ilyen megoldásra: először is az olajozó kannával és zsírzópréssel körbejáró, "saját" gépüket gondozó gépmesterek kora lejárt. A régi, ember és gép közötti személyes kapcsolat gazdaságilag nem megvalósítható, de nem is szükséges, mivel a gépektől automatikus üzemet várnak el — csak esetenkénti szervizeléssel. Másodszor, mivel a legmodernebb gépek gyorsan járnak, a lényeges információt hordozó rezgések frekvenciája olyan magasra esik, hogy mérésük és értékelésük csak műszerekkel lehetséges.



## A rezgések jellemzik a gép állapotát

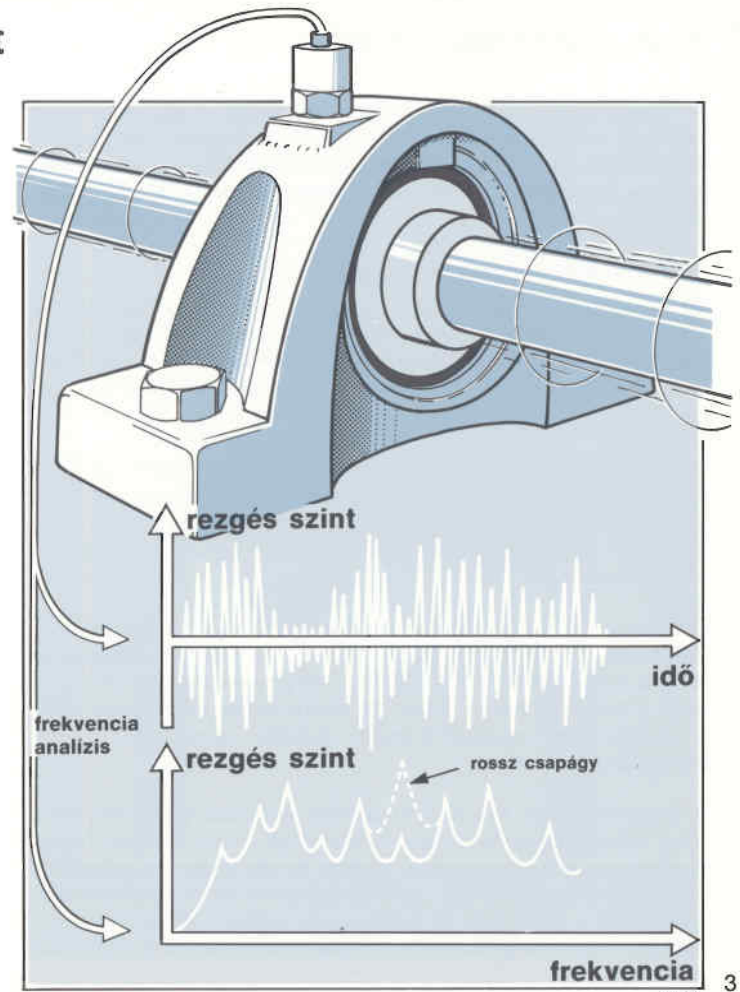
Mint láttuk, a géprezgés normálisan a gépen történő erőátvitel káros mellékterméke, amely kopást idéz elő és gyorsítja a meghibásodást.

Azok a géprészek, amelyek kényszerűsítik ezeket az erőket, pl. csapágyházak, többnyire hozzáférhetőek kívülről úgy, hogy a gerjesztő erők által kiváltott rezgések ezeken a pontokon mérhetők.

Amíg ezek a gerjesztő erők állandók, vagy csak megadott határok között változnak, a mért rezgésszint is állandó, vagy hasonló korlátok között változik. Ezen túlmenően a legtöbb gépnél egy tipikus rezgésszintet és annak jellegzetes lefutású spektrumát találjuk a gép jó állapotában. Ezt a frekvenciaspektrumot (a rezgésamplitudó lefutását a frekvencia függvényében) a gép "rezgéslenyomatának" nevezzük és a gép rezgésjelének frekvencia-elemzésével lehet megkapni.

Ha meghibásodás kezd kialakulni, a gépben lezajló dinamikus folyamatok megváltoznak és a gép részeire ható erők közül is néhány megváltozik — ily módon befolyásolva a rezgés szintjét és a rezgésspektrum alakját.

Az a tény, hogy a rezgésjelek sok információt hordoznak a gépek műszaki állapotára vonatkozóan, az alapja annak, hogy a rendszeres rezgésmérést és -analízist fel lehet használni a gép műszaki állapota változási trendjének és a karbantartási igénynek előrejelzésére.



## Konvencionális karbantartási módszerek

A gépkarbantartási gyakorlatot történelmileg nézve, az iparban szokásos módszerek durván kétféle csoportba sorolhatók: Az **“üzemelés meghibásodásig”**, ill. a **“rendszeres, tervszerű megelőző karbantartás (TMK)”** -csoportba.

### Az “üzemelés meghibásodásig” rendszer

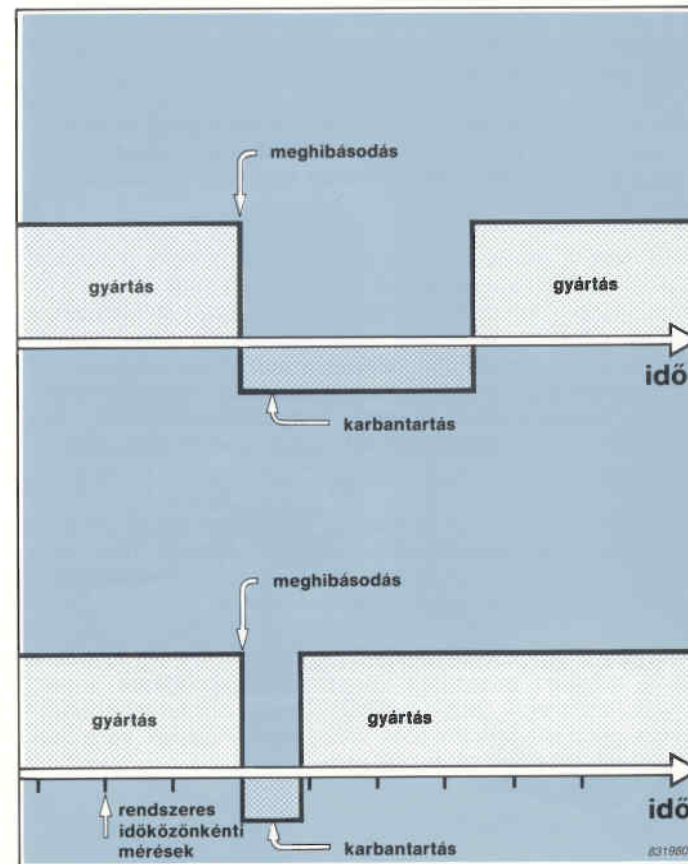
Az olyan ipari üzemekben, ahol sok olcsó gép üzemel és minden fontosabb folyamat duplikálva fut, a gépeket általában meghibásodásukig üzemeltetik. A termeléskiesés nem túl nagy, mivel általában át lehet kapcsolni a tartalékgépekre.

Ilyen esetekben a rezgésmérések nem jelentenének túl nagy segítséget, mivel általában nem származna gazdasági, vagy biztonsági előny abból, ha a meghibásodási időpontot előre ismerenék és a legegyszerűbb gépeknél az ok is többnyire kézenfekvő.

Néhány esetben a nagy, nem duplikált folyamat-gépeket is meghibásodásig üzemeltetik. Ilyen esetben *életbevágóan* fontos előre tudni, hogy *mi* kezd elromlani és *mikorra* várható a meghibásodás. Ezek az információk megszerezhetők a rendszeres rezgésméréssel kapott rezgésspektrumok trendvizsgálatával.

A meghibásodni készülő alkatrész előzetes ismerete lehetővé teszi az üzemeltetési mérnöknek, hogy időben megrendelje a szükséges pótalkatrészt és ily módon feleslegessé teszi az állandó nagy raktárkészletet pótalkatrészekből. Ezen felül a karbantartó személyzet jobban fel tud készülni és várhatóan megbízhatóbb javítást tud elvégezni, rövidebb idő alatt.

4

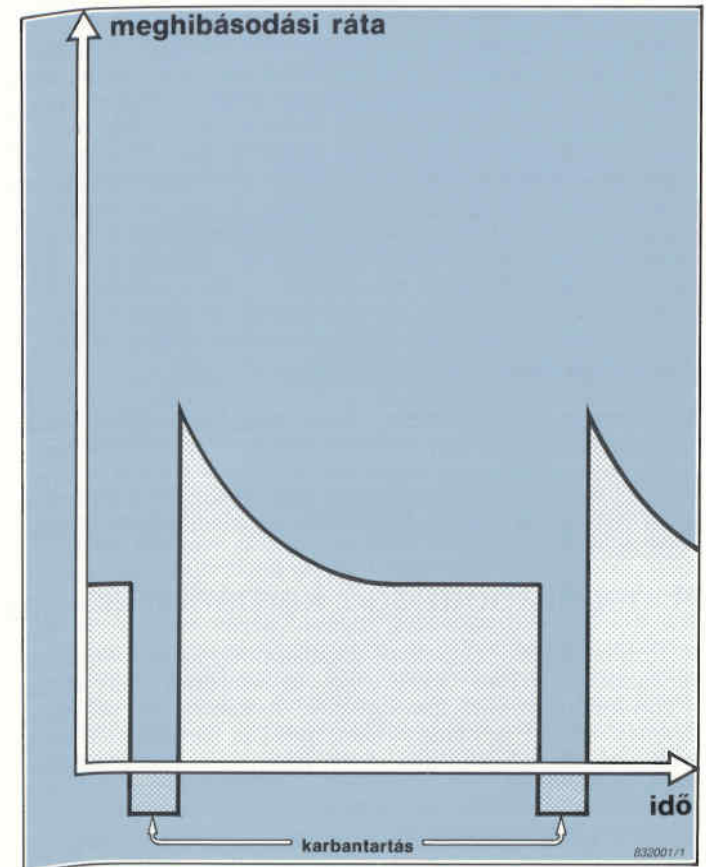


### Időbázisú tervszerű megelőző karbantartás (TMK)

Olyan esetekben, amikor fontos gépek nincsenek teljesen duplikálva, vagy amikor egy váratlan gépleállás nagy veszteségekhez vezethet, a karbantartási műveleteket gyakran rögzített időközönként, pl. 3000 üzemóránként, egyszer évenként, stb. végzik el. Ezért az ilyen rendszereket tervszerű megelőző karbantartásnak, vagy még pontosabban "futásidő függő tervszerű megelőző karbantartásnak" nevezik.

A szervíz időközöket leggyakrabban statisztikai módszerekkel határozzák meg, úgy, hogy az az időtartam, ameddig a teljesen új, vagy frissen szervizelt gép üzemelni tud anélkül, hogy a hasonló gépek populációjának 2%-ánál több hibásodna meg. Ezekben az időpontokban történő karbantartás esetén általánosan elfogadott, hogy a futási időszakot a gépek 98%-a meghibásodás nélkül üzemeli végig, a meghibásodás ritka eseménynek számít.

A gyakorlat azonban azt mutatta, hogy az esetek nagy többségében ez a futásidőfüggő TMK gazdaságtalan. Fontos tapasztalat, hogy a gépek meghibásodási rátája *nem* javul meg azáltal, hogy a kopott alkatrészeket rendszeresen kicserélik. Ellenkezőleg, az újonnan karbantartott gépek megbízhatósága az emberi beavatkozás következtében sokszor még romlik is átmenetileg. Mivel a tényleges meghibásodási görbe nem jósolható meg az egyes gépekre előre, a futásidő-függő TMK-t nem lehet gazdaságosan alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy egyedi megközelítésre van szükség és ez éppen a gépállapotfüggő karbantartási rendszerek alaptörvénye.



## Egyedi megközelítés — Állapotfüggő karbantartás

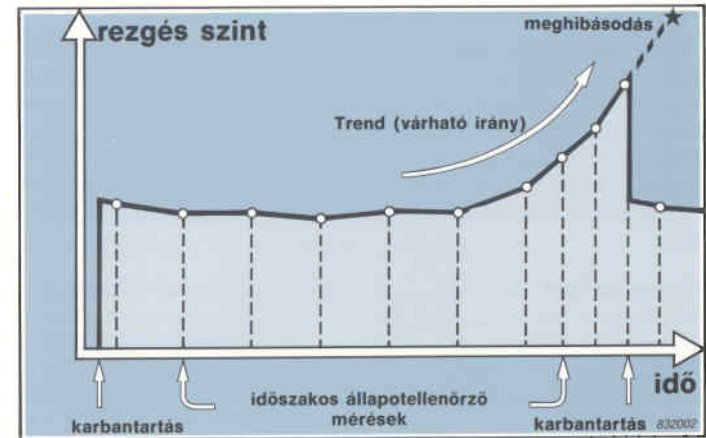
Ezzel a karbantartási módszerrel minden egyes gép önállóan kezelhető. Azáltal, hogy a rendszeres időközönkénti karbantartást a rendszeres időközönkénti mérések váltják fel, lehetővé válik minden egyes gép állapotának pontos nyomonkövetése. Mint már előzőleg láttuk a mechanikai rezgésekből igen jól lehet következtetni a gép mindenkori "egészségi" állapotára és épp ezért a *gépállapot-felügyelet* legelterjedtebb megvalósítási formája a rezgésméréseket alkalmazza indikátorként. **A gépállapotfüggő karbantartási rendszer alaptörvénye az, hogy a karbantartásra csak akkor van szükség (akkor megengedett), ha a mérések azt szükségesnek mutatják.** Ez megegyezik a gépészek azon véleményével is, hogy nem szabad hozzányúlni egy megfelelően futó géphez.

A rendszeres rezgésmérés révén egy kialakulóban levő meghibásodás idejében felfedezhető és nyomonkövethető. A mérések eredményei alapján a változások trendje (iránya) extrapolálható és megállapítható, hogy mikorra várható egy adott határérték túllépése, ill. válik szükségessé a javítás.

### A gépállapotfüggő karbantartás gazdasági előnyökkel jár

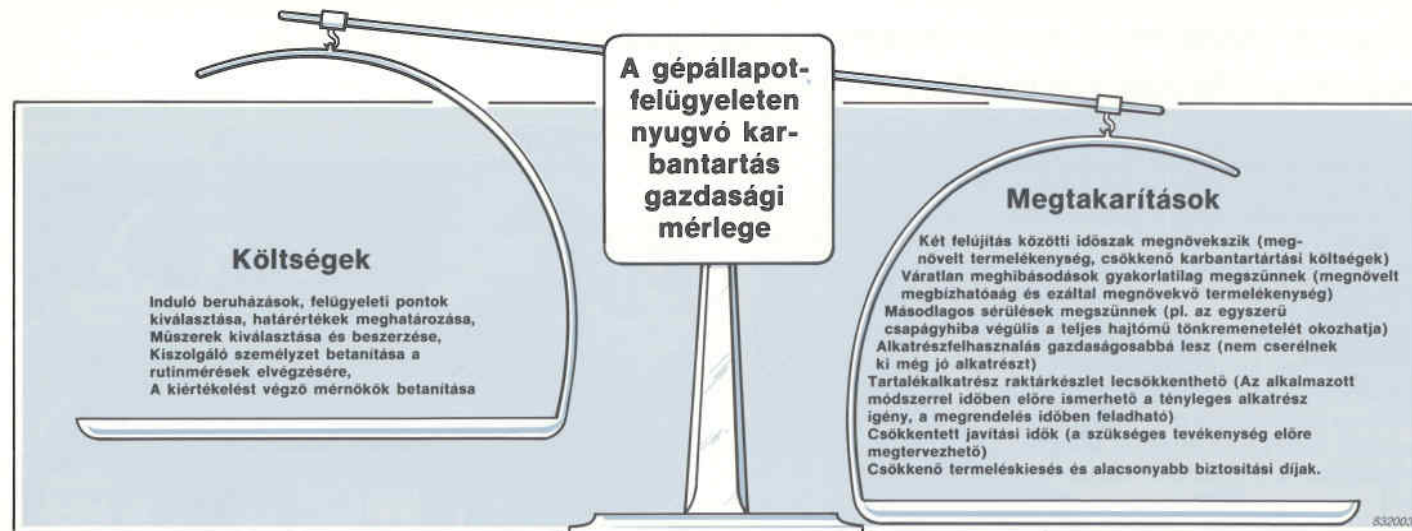
A rezgésmérésre alapozott gépállapotfüggő karbantartási rendszereket a 70-es évek eleje óta sikeresen alkalmazzák a folyamatos üzemű iparágakban. A kőolaj- és vegyipari üzemek ezeket a módszereket gyorsan befogadták és a lecsökkentett gépállásidők révén jelentős megtakarításokat értek el.

Azóta a gépállapotellenőrzési módszerek a többi, forgógépeket alkalmazó iparágban is gyorsan elterjedtek. A sikeres történetek száma nem csekély. Egy vegyi üzemben pl. a



Ezt nevezzük **trend-felügyeletnek**, és ez ad lehetőséget a karbantartás kellő időben történő megszervezésére.

karbantartási/javítási műveletek száma évi 247-ről 14-re csökkent és ezek is csaknem előre tervezettnek tekinthetők voltak, mivel az okot és a meghibásodás várható időpontját majdnem mindegyik esetben előre lehetett ismerni. Hasonló eredményt értek el egy kőolajfinomítóban, ahol a villamosmotorok karbantartási költségeit lehetett 75%-kal csökkenteni. Egy papírgyárban már az első évi több, mint 250.000 \$-os megtakarítás is tízszerese volt az alkalmazott mérőberendezések beszerzési és üzemelési költségeinek.



A karbantartási költségek ilyen drasztikus csökkentése nem jelenti feltétlenül a karbantartási munkahelyek számának csökkenését. Ehelyett a karbantartó személyzet a rezgésméréseket végzi el és valószínűleg több ideje marad így a leállított gépeken a karbantartási munkák és beszállítók gondosabb elvégzésére, ami viszont feltétlenül pozitív hatással lesz a gépek üzembiztonságára. A sok rohammunka és az ezekkel járó "szükségmegoldások" ezzel a múlté lesznek.

A karbantartással foglalkozó szakember egészen bizonyosan szembekerül a gépállapotfelügyeletre alapozott karbantartáshoz szükséges rezgésmérések saját üzemére vonatkozó költség/előny-értékelésének kérdéseivel. A fenti ábra a fontosabb szempontok kiemelésével ehhez kíván némi segítséget adni.

Érdemes megjegyeznünk, hogy a sikerhez nem feltétlenül szükséges mindjárt egy kifinomult számítógépes analízátor rendszer. Sok-sok sikeres rendszer indult el aránylag olcsó analóg rezgésmérőkkel és analízátorokkal egy-egy jól megválasztott gépcsoporton. Ahogy aztán a tapasztalatok gyűlnek és az alkalmazás további gépcsoportokra is kiterjed, válik természetessé a gyorsabb és kifinomultabb mérőberendezések alkalmazása. Arra azonban ügyelni kell, hogy kezdettől fogva csak megbízható, jó minőségű berendezések kerüljenek beszerzésre, mivel a legtöbb újonnan beinduló rendszer a rezgésmérések interpretálásában még gyakorlatlan emberekkel működik és pontatlan, vagy ellentmondásos mérési eredmények esetén a gépállapotfelügyeletre alapozott karbantartási rendszer igen hamar hitelét vesztheti.



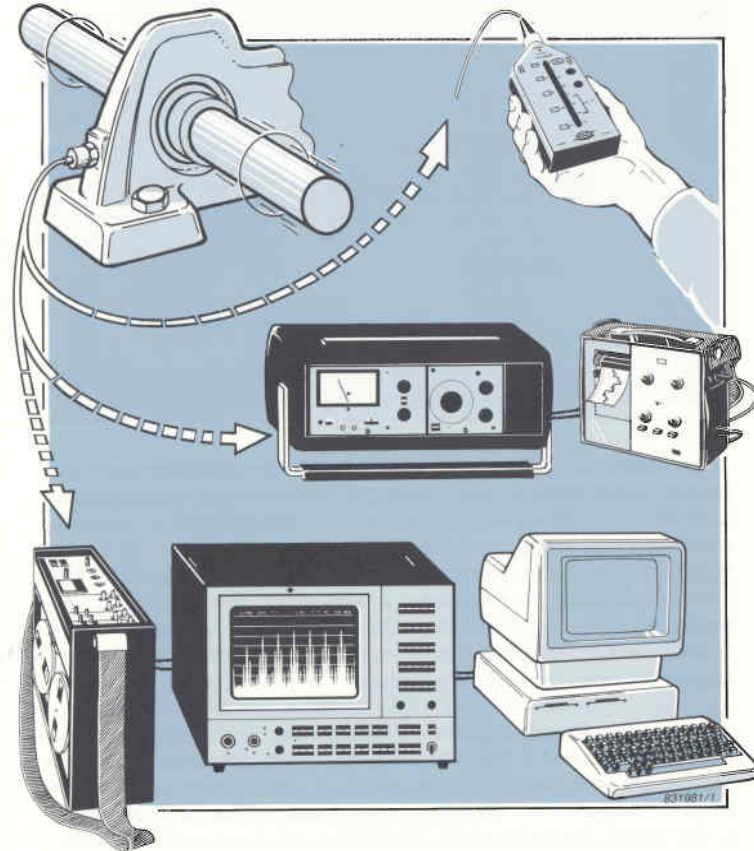
## Mérőrendszerek a rezgésmérésre alapozott gépállapotfüggő karbantartás céljaira

A rendszeres rezgés ellenőrzés műszereit három bonyolultsági csoportba lehet besorolni. A különbség megnyilvánul a gyorsaságukban, abban, hogy milyen korai stádiumban képesek egy meghibásodást kimutatni, ill. annak behatárolásához adatokat szolgáltatni és végül, hogy milyen pontosan lehet a gépmeghibásodás időpontját előrebecsülni.

A legegyszerűbb rendszerben egyszerű zsebméretű rezgésmérő műszer kerül alkalmazásra, amely megadott széles frekvenciasávban méri a rezgésszinteket. A mért értékeket általános szabványokban megadott, vagy az adott gépre elfogadott referencia-értékkel vetik egybe, azaz a gépállapot megítélése a helyszínen történik. (Részletesebben: ld. 9. old.)

Hamarabb lehetséges a hiba-felismerés és a meghibásodás időpontja is előre becsülhető, ha frekvencia analízisre alkalmas mérőrendszert alkalmazunk. Ebben az esetben minden egyes mérőpontban a helyszínen elkészül a teljes frekvencia analízis, ill. spektrum felrajzolás. Az aktuális spektrum összehasonlításra kerül egy rögzített referencia spektrummal, ilyen módon az egyes frekvenciakomponensekben jelentkező feltűnő szintnövekedések könnyen kimutathatók. (Ilyen célokat szolgáló rendszert ismertetünk a 12-13. oldalakon.)

Ahogy nő az állapotfelügyeleti mérőpontok száma, egyre inkább kifizetődővé válik a spektrumösszehasonlítások számítógépes mérőrendszerrel történő elvégzése. Ebben a rendszerben az egyes gépeken mért rezgésmintákat mérőmagnetofonra rögzítik és az automatikus spektrumösszehasonlítás a visszatérés után az irodában történik. Nagyteljesítményű számítógép programcsomagok segítik a hibafelismerést és végzik el a trendanalízist. (Ld. a 14 old.)



## Egyszerűbb módszer — a szélessávú rezgésmérés

Azok számára, akik minimális induló beruházással kívánnak tapasztalatokat gyűjteni az ÁF\* céljából végzett rezgésmérések területén, az összes szükséges műszerezettség egy jóminőségű kézi rezgésmérő műszer.

Az ilyen műszerről a rezgés gyorsulás-, vagy rezgése sebesség 10 Hz–1000 Hz, ill. 10 Hz–10 kHz frekvenciatartományban mért effektív (RMS) értéke, vagy csúcserőtelje olvasható le. A rezgése sebesség effektív értéke közvetlenül összehasonlítható a különböző szabványosított megítélési rezgése erősségekkel (l.22.old.), aminek alapján a karbantartás esetleges szükségességére lehet következtetni. Egy szélessávú rezgésmérő műszer azonban meglehetősen korlátozott mind a korai hibafelismerést, mind a diagnózist, mind a meghibásodás előrejelzését illetően, ha a lehetőségeit a frekvenciaelemzést végző műszerek szolgáltatásaihoz viszonyítjuk.

Speciálisan a gördülő-csapágyak esetén, és amikor más eredetű rezgések nem zavarnak érezhetően, lehetőség van a kialakulóban levő csapágy meghibásodás korai felismerésére. Ehhez egyidőben mérjük a rezgésszintek effektív és csúcserőteljét 10 kHz felső frekvenciahatárral. Ha ugyanis sérülés kezd a golyókon/görgőkön vagy a belső/külső gyűrűn kialakulni, az nagyfrekvenciás rezgésimpulzusokat gerjeszt, ami a hibátlan állapotú csapágyhoz képest a mért rezgésszintek csúcserőteljének jelentős növekedésében nyilvánul meg, de korai stádiumban az effektív értéket alig befolyásolja. A meghibásodási folyamat előrehaladtával a csúcserőteljek már alig változnak, az effektív érték azonban nő. A csúcserőtelj/effektív érték-hányadost csúcstényezőnek nevezzük és ennek megmérésevel sok gördülőcsapágy meghibásodás már korai stádiumban kimutatható.

\* "(Gép) állapot felügyelet"

