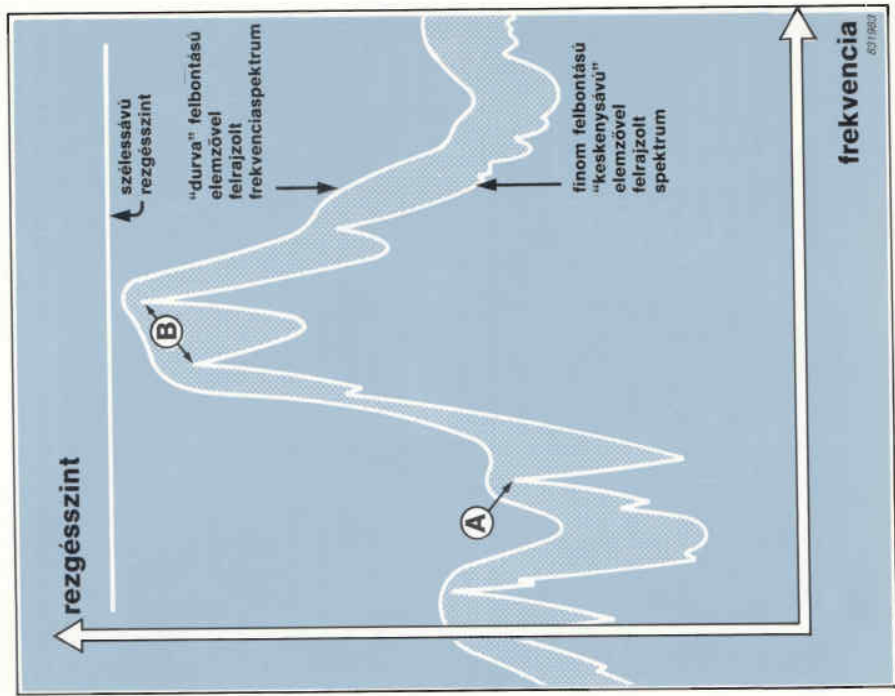


A frekvenciaanalízis előnyei — korai hibafelismerés, diagnózis és meg- hibásodás előrejelzés

Az előző oldalon említett egyszerű, széles sávban működő rezgésmérő műszerekkel a mért eredmény egyetlen számadat. Ezt döntően a domináns frekvenciaalkomponens(ek) szabják meg, aminek figyelemmel kísérése természetesen fontos. Ha azonban az előbbi rezgésjelet frekvencia-elemezzük és a kapott spektrumot grafikusán ábrázoljuk, továbbá, kisebb szintű frekvenciaalkomponensek is láthatóvá válnak, amelyek azonban ugyanolyan fontosak lehetnek. (A 23. oldalon leírt módon kis komponensek is származhatnak nagy erőkből!)

Korai hiba-felismerés

A mellékelt ábrából jól látható a különbség: mivel a széles-sávú rezgésszintet döntően a B-vel jelzett frekvenciaalkomponensek szabják meg, az esetleg fontosabb a komponens megnövekedését csak a frekvenciaanalízis tudja kimutatni már a korai stádiumban is. Erdemes azt is megjegyezni, hogy ahogyan az analízis sávszélessége csökken, úgy válik a spektrum részletesebbé, az egyes közeli csúcsok megkülönböztethetőkké. Altalában, minél keskenyebb az analízis sávszélessége, annál korábbi stádiumban lehet egy kialakuló meghibásodást felismerni. Ugyanakkor, minél keskenyebb a sávszélesség, annál hosszabb időt igényel az analízis elvégzése, ha csak nem használunk bonyolultabb műszereket.

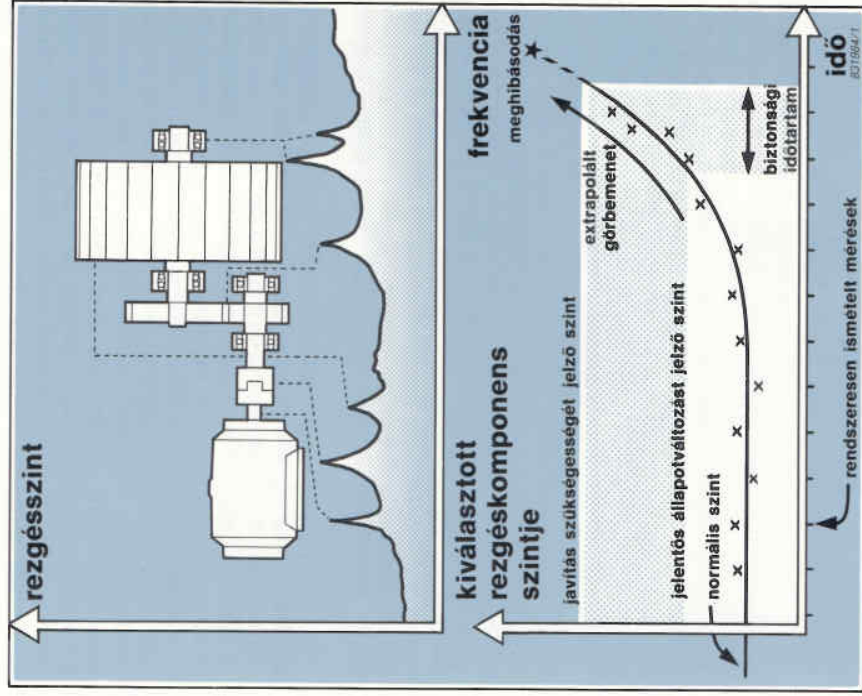


Hiba behatárolás (diagnózis)

Az egyes frekvencia-komponensekben jelentkező növekedések nemcsak a hiba megjelenéséről adnak korai jelzést, hanem frekvenciájukkal arra is utalnak, melyik gépalkatrészről van szó. Az egyes meghibásodásfajták, mint pl. ki-egyensúlyozatlanság, egytengelyűségi hiba, csapágykopás, fogaskerékfoghiba, stb. mind-mind a rájuk jellemző frekvenciák okoznak szintnövekedést — ami viszont a frekvenciaelemzéssel kimutatható. A 26–27. oldalon található "hiba-kereső" táblázat ezeket az összefüggéseket foglalja össze.

Trend előrejelzés

Ha az azonos frekvenciákon különböző időpontokban azonos körülmények között mért rezgésszintnövekedéseket az idő függvényében ábrázoljuk, lehetővé válik a hibakialakulás szint-ido lefutásának nyomkövetése. A megfelelő számú pontból megrajzolt görbék időben extrapolálhatók, ezzel előrebecsülhetővé válik, hogy mikor érné el a növekedés a veszélyességi határértéket, azaz a szükséges gépleállítás előre tervezhetővé, a karbantartás/javítás kellően előkészítetté válik.

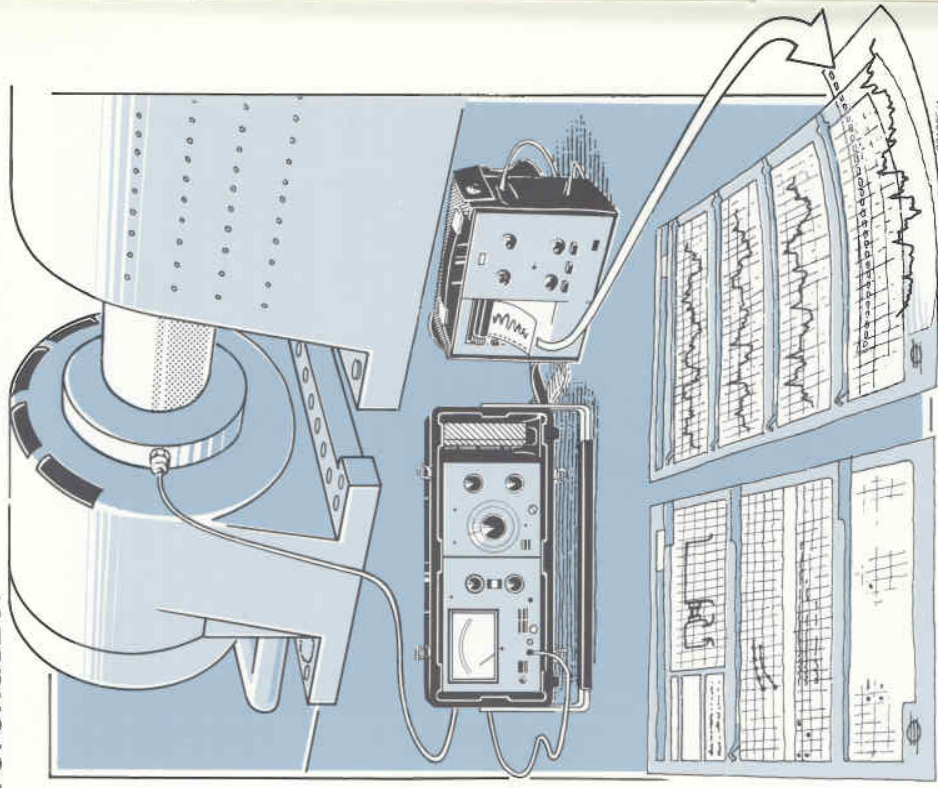


Egy egyszerű frekvenciaanalizáló mérőrendszer

Gépállapot-felügyelet céljára frekvenciaanalízist alkalmazó rendszerek sokféle összeállításban kaphatók. Azok számára, akiknek fontos az alacsony beszerzési költség, és a mérendő pontok száma nem túl nagy (< 100), tökéletesen megfelel egy hordozható, telepes táplálású rezgéselemző-szintirő összeállítás. Egy ilyen összeállítással a keskenysávú frekvenciaspektrumok minden egyes felügyelt pontra a helyszínen kimérhetők. A rendszer könnyen kezelhető, ha az üzemeltető mérnök előre meghatározza a mérési paramétereket. Az egyes mérés/analízisek végrehajtása néhány perccel vesz igénybe és a mért adatok jegyzőkönyvi rögzítése manuálisan történik minden egyes mérési pontban.

Minden egyes mérési pontban először referencia (alap) spektrum kerül rögzítésre, amelyet átlátszó lapokra másolnak át. A további spektrumokra ezt ráillesztve a mutatózó eltérések közvetlenül láthatók. Amint a szintek konzervens növekedése tapasztalható valamelyik frekvencián, azt szintidő diagramban ábrázolják, hogy a később várható lefutást előre lehessen becsülni. Ezzel lehetővé válik a hiba behatárolása, a szükséges pótalkatrészek megrendelése és a javítás legkedvezőbb időpontra történő betervezése.

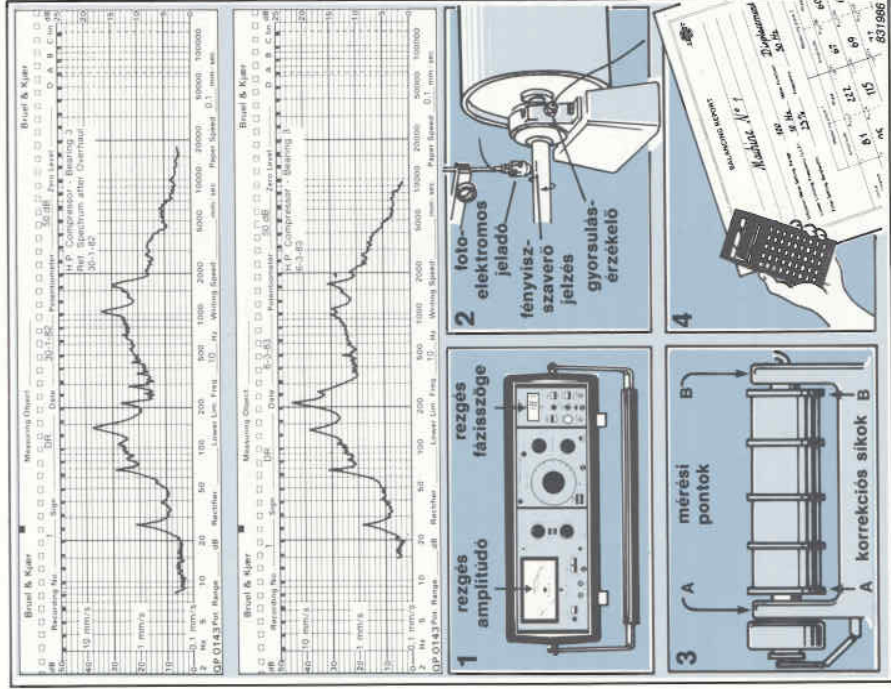
Egyes felhasználók a frekvenciaelemzést csak akkor végzik el, ha a rendszeres időközönként elvégzett szélessávú mérés során jelentős (szignifikáns) változásokat tapasztalnak. Bár ebben az esetben is segít az analízis a hiba behatárolásában, a módszer rendszeres alkalmazása által nyújtott többi előny – a korai hibafelismerés és a trend-analízis/extrapoláció lehetőségei elvesztek.



Az illusztráción szereplő két spektrum a hordozható analízátorral készült. A felső a gép felújítása utáni állapotban készült és ezt használták referenciá, vagy "alap"-adatként. A rendszeres időközönként elvégzett ellenőrzés sokáig nem mutatott eltérést, mígnem több mint egy évvel később a 205 Hz-es komponens elkezdett nőni (1. alsó ábra). Ez volt az első figyelmeztető jel, melynek révén el lehetett jutni egy meghibásodó gördülőcsapágyhoz, melynek állapota a következő hetekben folyamatosan romlott, míg végülis kicserélték.

Dinamikus kiegyensúlyozás

A túlzott géprezgések egyik legáltalánosabb oka a kiegyensúlyozatlanság, ezért a legtöbb karbantartási osztály eszköztárában szükség van az újrakiegyensúlyozást szolgáló eszközökre. Az egyszerű frekvenciaanalízáló mérőrendszert egy további rezgésérzékelővel, valamint egy fotoelektromos érzékelővel és a hozzá csatlakozó fázisszögmérővel kiegészítve olyan mérőrendszer alakítható ki, amely felhasználható helyszíni dinamikus kiegyensúlyozásra. A kiegyensúlyozatlansági fázisszög- és rezgésszint-mérés elvégzéséhez nincs szükség a motor forgórész kiépítésére. Programozható zsebszámítógép segítségével pár perc alatt meghatározhatók a kiegyensúlyozási síkban szükséges korrekciós tömegek és azok szögpozíciója.



Egy fejlettebb, számítógépes gépállapotfelügyeleti rendszer

Több gépre kiterjedő gépállapot-felügyeleti rendszer esetén ajánlatos a számítógépes analízisrendszer alkalmazása. Az adatgyűjtés egyszerű: a kezelőszemély kimegy az üzembe és minden egyes előre preparált (a gyorsuláserzőkel helyes rögzítéséhez előkészített) mérőpontban egy-egy rezgésjelet rögzít az előre beállított mérőmagnetofon szalagjára. Az érzékelő rögzítése és négy felvétel elkészítése tipikusan 5 percet igényel és egy-egy szalagra kb. 70 mérési pont anyaga rögzíthető. Az üzemirodában a felvételek visszajátszása és nagyfelbontású FFT-elemzővel feldolgozásra kerülnek. A kapott spektrumokat az elemzőhöz kapcsolt asztali számítógép segítségével a korábban létrehozott referenciaspektrumokkal hasonlítják össze. Ez a megoldás kihasználja a laboratóriumi készülékek gyorsaságát, sokoldalúságát és nagyobb felbontóképességet, valamint kisebb mérésenkénti költséget eredményez.

Az FFT-elemzők által szolgáltatott lineáris frekvenciaskálájú keskenysávú spektrum kiváló képet ad a harmonikus- és oldalsávi komponensekről, ami különösen értékes tulajdonság, ha diagnosztikai alkalmazásról van szó. Ha az analízis zoom-lehetőséggel is rendelkezik, a spektrum bármely szakasza megnyújtható az egyes komponensek részleteinek jobb szemügyrevétele céljából.

Külön erre a célra készült programcsomag teszi lehetővé, hogy az asztali számítógép segítségével nagymennyiségű felvett géprezgeési adat rutinvizsgálatát végezhessek el. Ennek során a program a keskenysávú spektrumokat állandó relatív sávzélességű referenciaspektrumokká alakítja át. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a gép fordulatszámának kisebb ingadozásait a referenciaspektrum szélesebb küszöbértékei révén a program kompenzálni tudja. A szalagon vagy mágneslemezen 500 spektrumnyi referenciaspektrum tárolható.



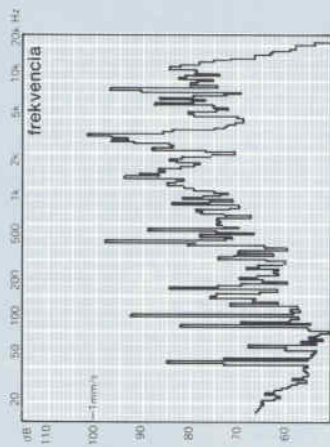
82-1987

Ha az aktuális spektrum valamelyik frekvenciakomponense túllép valamilyen korábban rögzített határértéket, a számítógép a nyomtatón ezt kiírja.

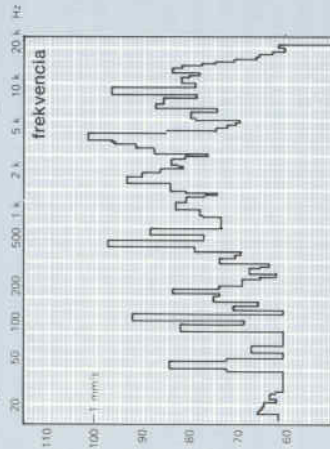
Az automatikus összehasonlító programmal kapott, néhány tipikus eredményt látunk a következő oldalon. A mért spektrumok egy nagyfordulatszámú hajtóműtől származnak, amely a 3000/min (50 Hz) motorfordulatszámot növeli meg a centrifugál-kompresszor meghajtásához szükséges 7260/min (121 Hz) értékre.

A meghibásodásra utaló spektrumokon további vizsgálatok is végezhetők; a programcsomagban szerepelnek cepstrum-analízis, trend-előrebecslő és harmonikus-, valamint oldal-sávcsúrszó programok, melyek a harmonikusok és oldalsávok közti frekvencia távolságok pontosabb meghatározását teszik lehetővé. Ezek különösen a hajtómű hibafelismeréséhez adnak nagyon értékes segítséget.

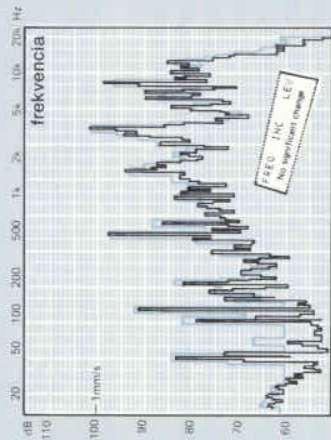
telepítés utáni spektrum



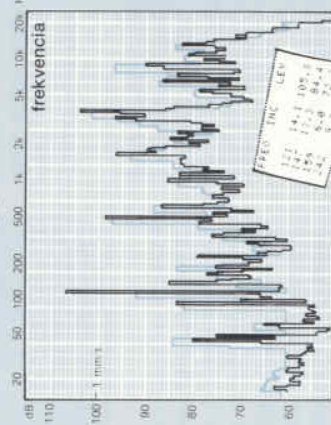
“megszélesített” referencia spektrum



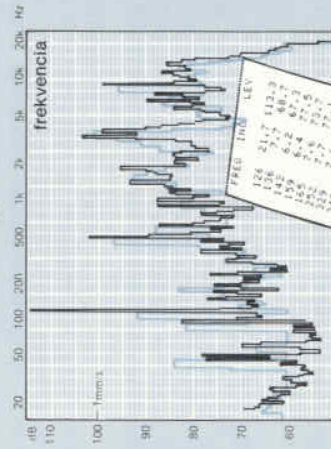
egy hónappal később



két hónappal később



három hónappal később



A "gépellapotfüggő karbantartási" program felépítése

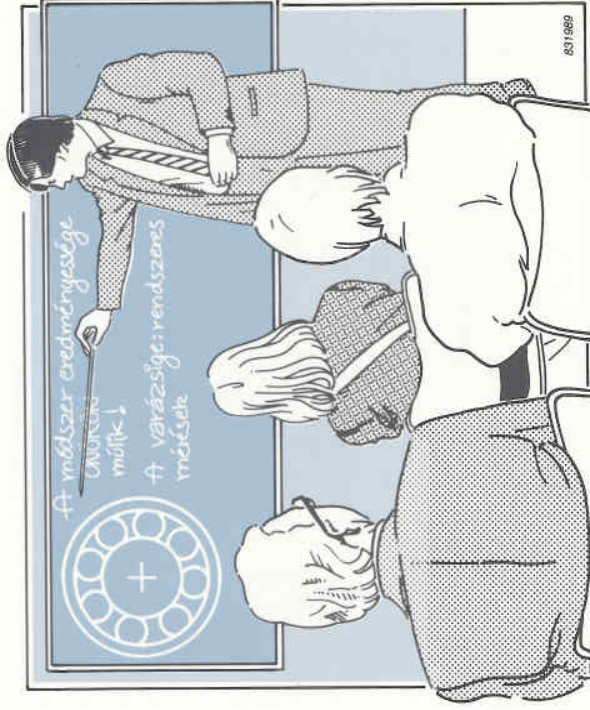
A karbantartásban korábban is alkalmazott személyzet általában el tudja végezni azokat a rutin méréseket, amelyeken a gépellapotfüggő karbantartási rendszerek alapulnak. Az ő korábbi gépekkel kapcsolatos tapasztalatuk segítségét jelent a hibabehatárolásban, de más rendelkezésük felhasználásában (pl. gőszívárgás, olajozási hiba stb.) is, amiket esetleg a kezelő személyzet nem vett észre.

Mindenekelőtt fontos, hogy a karbantartó személyzet az állapotfelügyelet céljával tisztában legyen. Egy beszélgetés az üzemeltetési mérnökkel, amely a jelen kis könyvecskében ismertetett tényekre épül, általában elegendő. Tapasztalat szerint, ha a személyzet azonosul a feladattal, az motivációt jelent pozitív eredmények elérésére. További különleges kiemelésre nincs is szükség, a felelős kérdések általában a rendelkezésre álló anyag alapján megválaszolhatók.

A feladatok általában megoszlanak. Egy, vagy több személy végzi a tényleges rezgésméréseket — egységes séma szerint, aztán egy technikus, vagy mérnök elvégzi a mért adatok kiértékelését és megállapítja, hogy fellelhető-e gépmeghibásodásra utaló adat.

A gépellapotfelügyeleti rendszer által igényelt ember-órák száma az alkalmazott műszerezettségől és természetesen a felügyelendő mérési pontok számától függ. Induló programok esetén, amikor a mérendő és/vagy analizálandó pontok száma kisebb havi 50-nél, a mérnök általában maga végzi el az egészet.

Egységadatos mérések (szélessávu, vagy csúcstényező-mérések) esetén egyetlen ember kb. 1500 mérőpont/hónap, 2 fő kb. 4000 mérőpont/hónap feladatot tud ellátni. Egyetlen ember helyszíni rezgésanalízis esetén néhány száz mérőpont/hó ellátására képes.



A felügyelni kívánt mérőpontok számának növelésével egyre inkább szükség van a nagyfelletményű számítógépes mérőrendszerre. A rezgésintézkedés szalagra rögzítését egy-két ember végzi, akik az automatikus rendszert ellátják a szalaggal. Több felhasználó együttesen is használhatja a rendszert, pl. egyazon szervezethez tartozó több üzem. A beérkező felvételek rutin-vizsgálatához nincs szükség a mérnöki közreműködésre. A rendszer kiírja a hibajelentéseket, ami a specialista feladata. Az ő feladata lefuttatni a diagnosztikai programot és kideríteni a hibát.

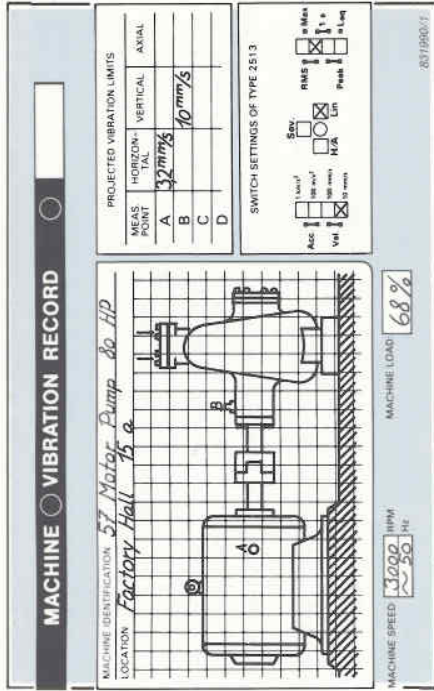
A gépállapotfelügyeleti (ÁF)- program beindítása

Először a felügyelni kívánt gépeket kell kiválasztani. Ezután minden egyes kiválasztott gépen meg kell határozni azokat a pontokat, amelyekről használható eredmények várhatók — csapágyházak általában a legalkalmasabbak. A forgógépek rezgésmérésével foglalkozó nemzeti és nemzetközi ajánlások hasznos útmutatással szolgálhatnak.

Következő lépésben az egyes mérési pontokat elő kell készíteni a gyorsuláserkélelő helyes rögzíthetősége érdekében és sorszámokkal ellátni. Állandó mérési pontokat célszerű menetes acéltűskével, vagy felragasztható fejú menetes csavarokkal kialakítani.

Az ellenőrzési időközöket és a méréshez előírt üzemi állapotot minden egyes gépre és mérőpontra a mérési jegyzőkönyvben kell rögzíteni. Ez lényeges, mivel a következő mérésekből csak akkor van mód trendmeghatározásra, ha azok azonos üzemi állapotban történtek. Hasonlóképpen a műszerbeállításokat is célszerű egységesíteni az egyes gépeknél.

A mérések gyakoriságát a szokásos meghibásodások közötti átlagos időtartam szabja meg. Ezen időtartamon belül legalább hat mérést szükséges betervezni ahhoz, hogy elfogadható szinten lehessen előre jelezni. Új gépeknél, ahol ilyen tapasztalat még nem áll rendelkezésre, meg lehetőségen sűrű ellenőrzés ajánlatos, pl. havonta, vagy kéthavonta, mindaddig, míg a szükséges tapasztalat rendelkezésre nem áll.



A dinamikus jellemzőkkel kapcsolatos részleteket, mint pl. a tengelyek fordulatszám, a csapágyak gördülő elemeinek száma és méreteik, fogszámok, stb. gépenként egy alaptervben kell rögzíteni. Ezáltal lehetővé válik, hogy vonatkoztatási ábrát rajzoljunk fel, így a különböző frekvenciakomponensek hozzárendelhetők az őket előidéző gépelemhez. Arról, hogy mi az elfogadható és a nem elfogadható rezgésintenzitás szint, még részletesen szó lesz a 22–23. oldalon.

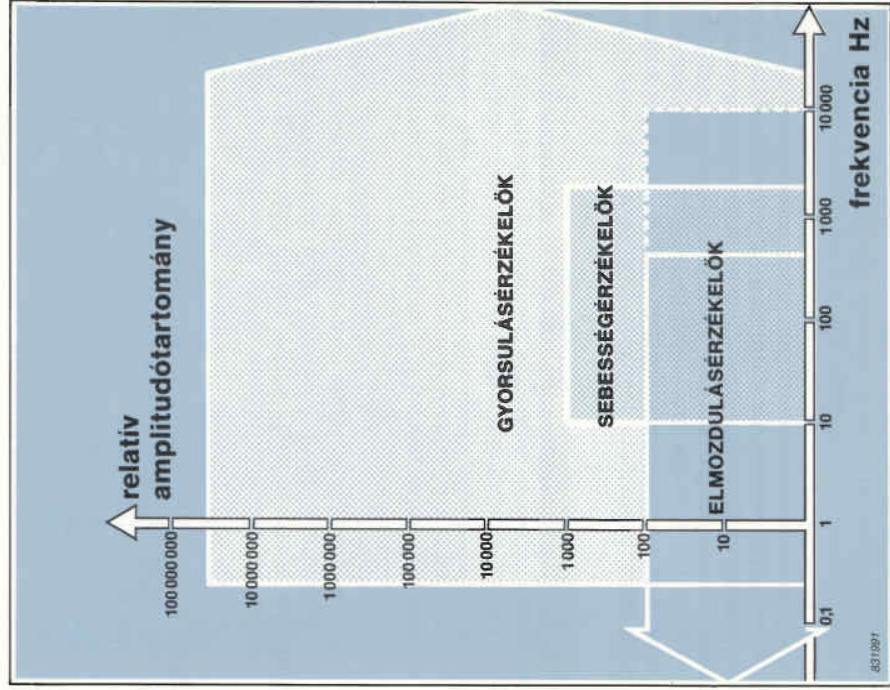
Rezgésérzékelők és mérési jellemzők

Bár a relatív elmozdulásérzékelők a legalkalmasabbak bizonyos tengelyfelületei alkalmazások céljára, az abszolút gyorsulást mérő szeizmikus érzékelők sokkal alkalmasabbnak bizonyultak az általános gépállapot-felügyeleti feladatok ellátásában. A relatív elmozdulás-érzékelők, mint pl. az örvényáramú, vagy közelelségi érzékelők széles 10 000 Hz-ig is terjedő frekvenciatartománnyal rendelkeznek, hatásosan mégis csak a kisfrekvenciás komponensek érzékelésére használhatók, mivel a magasabb harmonikusok általában kívül esnek az ilyen típusú érzékelők dinamika tartományán.

A legelterjedtebben használt átalakítók a sebességérzékelők és a piezoelektromos gyorsulásérzékelők. Az utóbbi években a géprezgésmérések céljára legkiterjedtebben használt érzékelő a piezoelektromos gyorsulásérzékelő lett, kiváló frekvencia- és dinamikatartománya, sokkal kisebb külméretei, kiváló hosszúidejű stabilitása (nincs benne mozgó rész) és általánosan robusztus kivitelének köszönhetően. Mivel sok állapotfelületei helyzetben jelentősen 1000 Hz fölé kell menni, és szinteket az 1000 : 1 arányt jóval túllépő tartományban kell érzékelni, az egyetlen gyakorlati megoldás a piezoelektromos gyorsulásérzékelő.

A gyorsulásérzékelőre felépített műszer esetén a felhasználó szabadon választhat rezgés gyorsulás-, -sebesség, és -kitérés, mint mérési paraméter között. Végülis melyik a legcélszerűbb választás? Vizsgáljuk meg a kérdést tisztán műszaki szempontból.

A következő oldalon látható ábra egy gép tipikus rezgés spektrumát mutatja (logaritmusos léptékben ábrázolva), a három különböző paraméter esetében. Megállapítható, hogy mindegyiknek más ugyan az átlagos menete, de a csúcsok azonos frekvencián jelentkeznek és az átlagos görbeme-



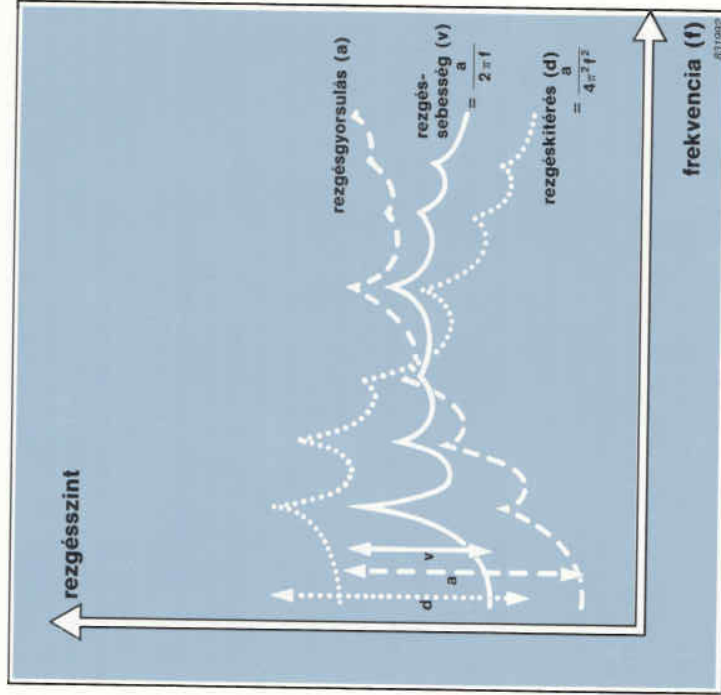
nethez viszonyított szintjük is megegyezik. Mindhárom görbe az azonosan hű képet ad a mért rezgésspektrumról.

Valójában igen egyszerű matematikai összefüggés van a görbék között úgy, hogy az egyik görbe bármelyik pontjából meghatározható a másik görbe megegyező frekvenciájú pontjának értéke (ezt valójában a rezgésmérő műszer integrátorai valósítják meg.)

Meg kell jegyezni, hogy a bemutatott példában a rezgéssebesség görbéjének ábrázolásához kellett a legkisebb amplitúdó tartomány, azaz a legkisebb dinamikatartományt ez foglalja el a rezgésmérő műszerben, (legnagyobb jel-zaj viszony – több "hely" a hasznos adatok számára). Ez egyben azzal is jár, hogy esetekben szükséges a legkisebb relatív változás az egyes frekvenciakomponensekben ahhoz, hogy az már a szélessávú jelet is megváltoztassa. A másik görbéknél a legtöbb esetben jóval nagyobb relatív változásokat kell az egyes frekvenciakomponenseknek elszenvedni ahhoz, hogy az a szélessávú spektrumban is megnyilvánuljon. A következtetés az, hogy általában (és különösen, ha egyszerű, szélessávú mérést végző műszerről van szó) a "legviszontesebb" spektrumot adó paraméter esetén lehet a meghibásodást a legkorábban észlelni.

Ez a paraméter általában a rezgéssebesség, de bizonyos esetekben lehet a rezgégyorsulás is, különösen, ahol a nagyfrekvenciás komponensek fontosak — pl. csapágyhibáknál. Megfordítva, ha ismert, hogy kisfrekvenciás komponenseket kell megfigyelni, válasszuk a rezgéskitérés.

Ha gyorsulásérzékelőt használunk, a hozzákapcsolt rezgésmérő, vagy előerősítő általában tartalmazza az integrátor áramkört, így a rezgéssebesség, vagy rezgéskitérés, vagy



rezgégyorsulás egyszerű kapcsoló-átállítással kiválasztható.

Új gép esetén a legcélsebb mindhárom fajta spektrum megmérése, hogy a leglaposabbat lehessen kiválasztani közülük a további állapotellenőrzések céljára. Ha analízátor nem elérhető, válasszuk a rezgéssebességet.

Az amplitúdó és -frekvenciáléptékek megfelelő megválasztása

Mint már szó volt róla, a rezgésspektrum nagy, vagy kis komponensei egyaránt lehetnek jellemzők valamely hiba jelelmezésére, emiatt széles amplitúdótartományban van szükség azonos mérési pontosságra. Mind a lineáris, mind a logaritmus skálát általánosan használják, de csak a logaritmus skála teszi lehetővé, hogy a rezgésamplitúdókat a szükséges pontossággal, aránylag széles amplitúdótartományban mérhessük. A szomszédos ábra egy rezgésmérő kétfajta skáláját mutatja, a pontosság és a feloldás a teljes skála 1%-a, ami tehát 100 leolvadási értéket ad. Ha 10%-os leolvadási pontosságra van szükség, akkor a lineáris "a" skála 10:1 átfogással csak 10-es alsó szintig használható, ahol egy lépés a 10-ből a 10%-os minimális pontossági követelménynek felel meg. Ha a frekvenciaspektrumot lineáris amplitúdóskálán ábrázoljuk, többnyire csak a legnagyobb amplitúdók esnek a megfelelő felbontású mérési tartományba. A relatív változások ezért csak a domináns frekvenciakomponenseknél mutathatók ki. A többi, talán éppolyan fontos komponens változásait nem lehet pontosan követni. (l. mellékelt ábra)

A "b" logaritmus skála esetében mind a 100 leolvadási érték az előző érték 11%-os emelkedésének felel meg. Így tehát az első 20 lépés a teljes skála alatt 10:1 (20 dB) tartományt, a második 20 lépés egy további 10:1 tartományt fed, és így tovább a teljes 100 lépésig, ami 10000:1 (100 dB) dinamika tartományt fed. Ez egy lineáris amplitúdó skála esetében nem valószínű, hogy megvalósítható lenne, ha megfelelő pontosságot kívánunk elérni. Ilyen széles tartományra gyakorlatilag nincs szükség.

Normális mérési viszonyok között a gépalapotfelületei célokra tökéletesen elegendő a 300:1 — 10000:1-es (50–80 dB) dinamikaátfogás. A fenti ábra alsó diagramjai jól

