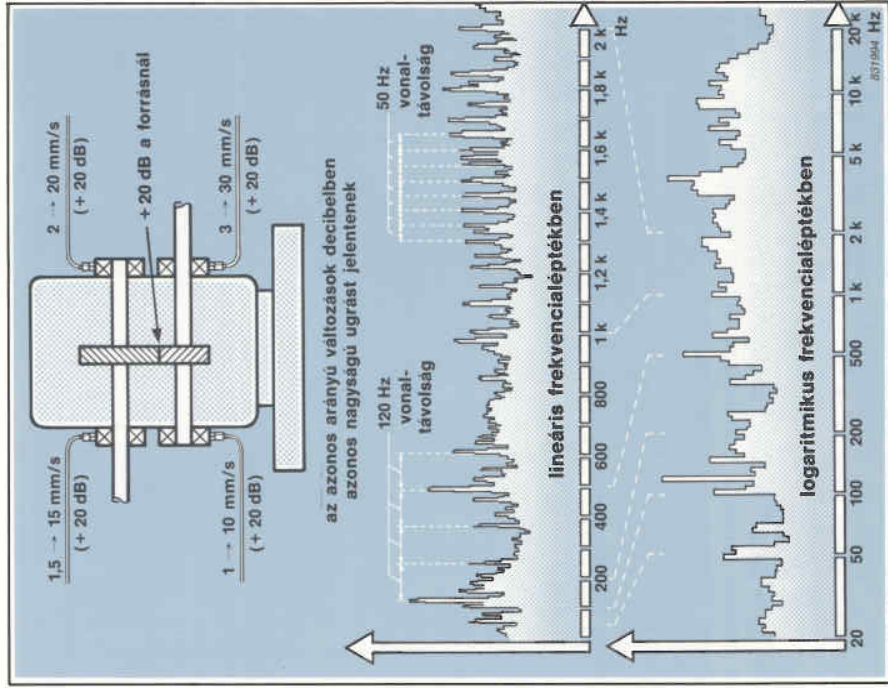


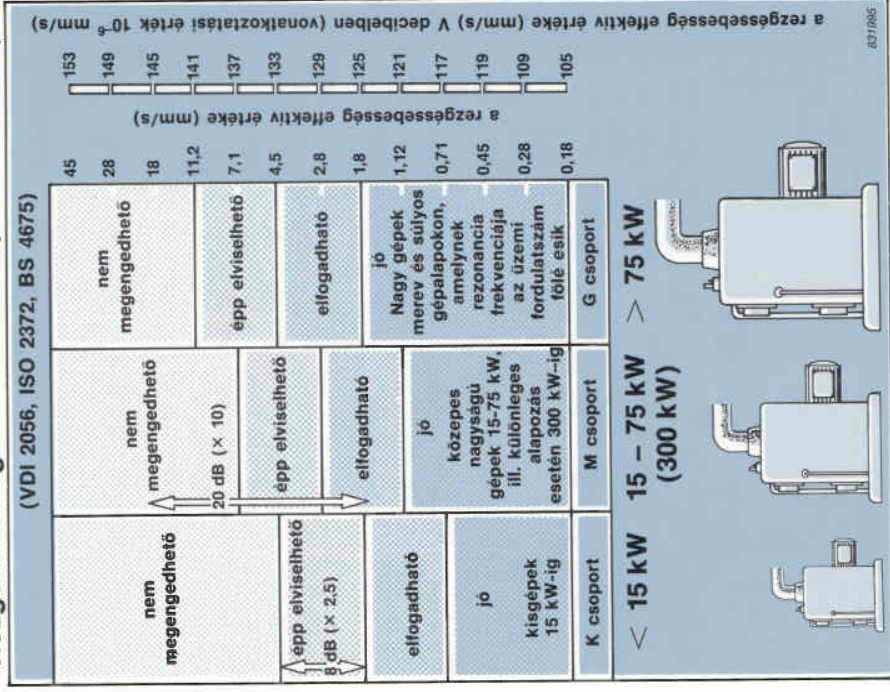
szemléltetik, hogy a logaritmikus amplitúdóskála használataval milyen jól megkülönböztethetők a kisebb szintű komponensek is.

A logaritmikus amplitúdótengelyt gyakran mechanikus egységekben, mint pl. m/s skalázzák, de a dB, mint "egység", szintén elterjedten használata. A decibelek használata egyszerűíti a rezgésamplitúdók összehasonlítását (10:1-es arány pl. 20 dB-es lépcsőknek felel meg). Tekintettel arra, hogy a gépalapot romlásának mértékére sokkal jellemzőbbek a relatív rezgésmegváltozások, mint maga az aktuális rezgésszint, a decibelben történő megadásmód a gépalapotfelügyelet céljaira előnyösebb.

A frekvenciaspektrum felrajzolásakor mind a lineáris, mind a logaritmikus frekvenciatengelynek lehetnek előnyei. Altlában elmondható, hogy a logaritmikus frekvenciaskála (és az állandó relatív sávzélességű analízis) a legelőnyösebb, ha korai *hibafelismerésről* és *-előrebecslésről* van szó — és ennek megfelelően kiterjedten használják is. Ugyanakkor a *hibadiagnosztika* céljaira — különösen, ha összetett gépről van szó — a lineáris frekvenciaskála (és az állandó abszolút sávzélességű analízis) használata előnyösebb. Használatával ugyanis az egyes frekvenciakomponensek jobban szétválnak, ami megkönnyíti a hibabehatárolást, különösen azokét, amelyeket nagyszámú harmonikus, vagy "oldalsáv"-komponens jellemez. Az ábrán látható 120 Hz, ill. 50 Hz-es spektrumvonal távolságok jól illusztrálják ezt.



Rezgésrősségi határértékek a gépek mechanikai rezgéseinek megítélésére



Sok mérnök használja a publikált rezgésrősségi határértékek valamelyikét irányvonalaként, amikor egy gép állapotát kell megítélnie. Több szabvány, mint pl. az ISO 2372 (és nemzeti megfelelői) a határértéket csakis a gépteljesítmény és az alpozás függvényében adják meg. A legtöbb általános célú kritérium a 10 Hz-1000 Hz tartományban mért rezgésrősség effektív értéken alapul, holott a gyakorlat szerint sok lényeges komponens lép fel ennél magasabb frekvenciákon.

A előírások egy másik fajtáját képviseli a "Karbantartási rezgés-határértékek" c. kanadai műszaki irányelv, amelynek adatai éppen a gép állapot megítélésére szolgálnak. Ez a különböző géptípusok és gépméretetek függvényében ad meg határértéket (kivonatolva l. 24. old.). Ez ugyancsak a rezgésrősség effektív értékkel operál, de a 10 Hz -10000 Hz-es sávban, ami már sokkal jobban figyelembe veszi a magasabb frekvenciákat.

Bár a javasolt határértékek nem mindig helyénvalók (l. a mobilitásváltozásokkal kapcsolatos megjegyzéseket a túlsó oldalon), arra mindenesetre jól használhatók, hogy megmutassák, a különböző rezgésrősség szint növekedésekhez milyen besorolás tartozik, pl. a már említett ISO 2372-es szabvány szerint a 2,5x-es (8 dB) faktor már lényeges változás, mivel ez épp egy minőségi osztály szélessége. Hasonló módon a x10 (20 dB)-nél nagyobb növekedés "súlyos", mivel a "kiváló" besorolást a "nem megengedhető" besorolásba teszi át.

A fent említett tényezők, mint azt az említett követelmények megszabják, mind szélessávú mérésre vonatkoznak. A sokéves mérnöki tapasztalat azonban azt mutatta, hogy bizo-

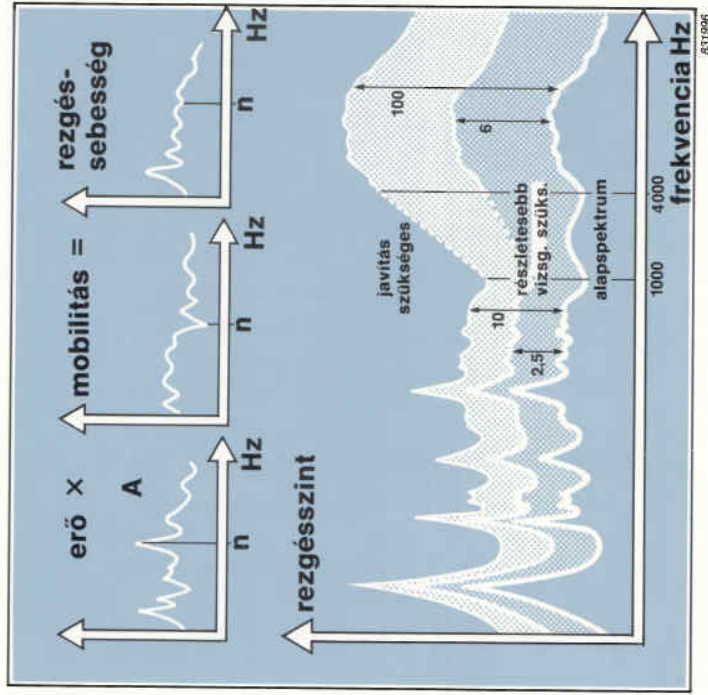
nyos útbaigazítást a spektrumanalízis során kapott egyedi frekvenciakomponensekre vonatkozóan is adnak.

A gép felületén mért rezgések az illető pontba eljutó ciklikus erőket tükrözik vissza. A tényleges rezgés egy adott pontban nemcsak az odajutó erőből, hanem a szerkezet illető pontbeli mobilitásától is függ. A mobilitás a gépszerkezet mozgásra való hajlamát adja meg, és mint ilyen, a mechanikai impedancia reciproka. Az erő, mobilitás és az eredő rezgésszélesség közti kapcsolatot a mellékelt ábra mutatja. Logaritmikus skálák használata esetén az eredő rezgésspektrumot egyszerűen az erőspektrum és a mobilitás-spektrum összegzésével nyerhetjük. Érdemes megjegyezni, hogy a bemutatott példában az "n"-nel jelölt rezgés nincs kiemelés a rezgésspektrumban, mivel a nagy erőkomponens hatását az ugyanott jelentkező alacsony mobilitás kompenzálja.

Ezért értelmetlen dolog csak a nagy szintcsúcsokat figyelemmel kísérni a rezgésspektrumban, amikor kis szintek is jelenthetnek fontos információkat nagy erőkről. A gépek mobilitása az idővel általában nem igen változik, így ha egy adott frekvencián a rezgésszint megduplázódik, ésszerűen feltételezhető, hogy az erő ugyancsak megduplázódott. Ugyanakkor az azonos típusú gépek azonosan kijelölt pontjaiban a mobilitás akár 1000:1 arányban is eltérhet. Ezért nincs értelme mindkét gépnél ugyanazt az abszolút határértéket használni a karbantartás-szükségesség jelzésére.

Sokkal megbízhatóbb jelzéseket kapunk a gép állapotáról, ha a relatív változásokra figyelünk, azaz megadunk egy vonatkoztatási "alap"-spektrumot, vagy -szintet és ehhez képest engedünk meg valamilyen arányú változást.

A gyakorlati tapasztalat szerint 1000 Hz alatti komponensek esetén kb. a 2,5 (8 dB) -szeres növekedést már szignifi-



kánsnak kell tekinteni a géppalapotváltozások szempontjából, és a 10 (20 dB)-szeres arány már a javítás-szükségességét jelzi — hasonlóan az ISO és más határérték-előírásokhoz. 1000 Hz fölött megfelelő elővigyázatosság mellett ezeket az arányokat kb. x6 (~16 dB), ill. x100 (40 dB) értékekre növelhetjük (1. ábra).

Rezgéshatárérték táblázat csapágyakra (10-10 000 Hz)

Kivonat a CSA/MS/NVSH 107: "Karbantartási rezgéshatárértékek" c. kanadi műszaki irányelvből.

a rezgésebbőség szélessávú effektívertéke geptipusok szerinti:	ÚJ GÉPEK ESETÉN		KOPOTT GÉPEKRE (teljes fordulatszámom és terheléssel)	
	Hosszú élettartam ¹	Rövid élettartam ²	Készenléti szint ³	Riasztás szint (okt.ei.) ⁴
	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB* mm/s
gázturbinák (20 000 LE fölött) (6 és 20 000 LE között) (5 000 LE alatti)	138 7,9	145 18	145 18	150 32
	128 2,5	135 5,6	140 10	145 18
	118 0,79	130 3,2	135 5,6	140 10
gózturbinák (20 000 LE fölött) (6 és 20 000 LE között) (5 000 LE alatti)	125 1,8	145 18	145 18	150 32
	120 1,0	135 5,6	145 18	150 32
	115 0,56	130 3,2	140 10	145 18
sűrítők (szabad dugattyús) (nagynyomású levegő, légkondicionálás) (kisnyomású levegő) (hűtő)	140 10	150 32	150 32	155 56
	133 4,5	140 10	140 10	145 18
	123 1,4	135 5,6	140 10	145 18
	115 0,56	130 3,2	140 10	145 18
Dizel-generátorok	123 1,4	140 10	145 18	150 32
Centrifugák, olajjelvezetők	123 1,4	140 10	145 18	150 32
Hajtóművek (10 000 LE fölött) (10-101 10 000 LE-ig) (10 LE alatti)	120 1,0 115 0,56 110 0,32	140 10 135 5,6 130 3,2	145 18 145 18 140 10	150 32 150 32 145 18

a rezgésebbőség szélessávú effektívertéke geptipusok szerinti	ÚJ GÉPEK ESETÉN		KOPOTT GÉPEKRE (teljes fordulatszámom és terheléssel)	
	Hosszú élettartam ¹	Rövid élettartam ²	Készenléti szint ³	Riasztás szint (okt.ei.) ⁴
	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB* mm/s	VdB* mm/s
Forralók	120 1,0	130 3,2	135 5,6	140 10
Motor-generátorok	120 1,0	130 3,2	135 5,6	140 10
Szivattyúk (5 LE fölött) (5 LE alatti)	123 1,4 118 0,79	135 5,6 130 3,2	140 10 135 5,6	145 18 140 10
Ventilátorok (1800/min alatti) (1800/min feletti)	120 1,0 115 0,56	130 3,2 130 3,2	135 5,6 135 5,6	140 10 140 10
Villanymotorok (5 LE fölött, vagy 1200/min alatti) (5 LE alatti, vagy 1200/min feletti)	108 0,25 103 0,14	125 1,8 125 1,8	130 3,2 130 3,2	135 5,6 135 5,6
Transzformátorok (1 KVA fölött) (1 KVA-ig)	103 0,14 100 0,10	- -	115 0,56 110 0,32	120 1,0 115 0,56

10000940

* Vonatkoztatási szint 10⁻⁶ mm/s. Eredetileg az eltérő vonatkoztatási szint miatt 20 dB-vel alacsonyabb szintek szerepeltek.

- 1) "Hosszú élettartam¹" - kb. 1 000-10 000 ózémóra
- 2) "Rövid élettartam²" - kb. 100-1 000 ózémóra
- 3) Ha ezt a szintet eléri, szervizre van szükség, esetleg sűrűn elvégzett oktávsáv-elemzés és az utolsó oszloppal történő összehasonlítás
- 4) Ha a mért rezgésebbőség ezt a szintet bármely oktávsávban eléri, azonnali javítás szükséges.

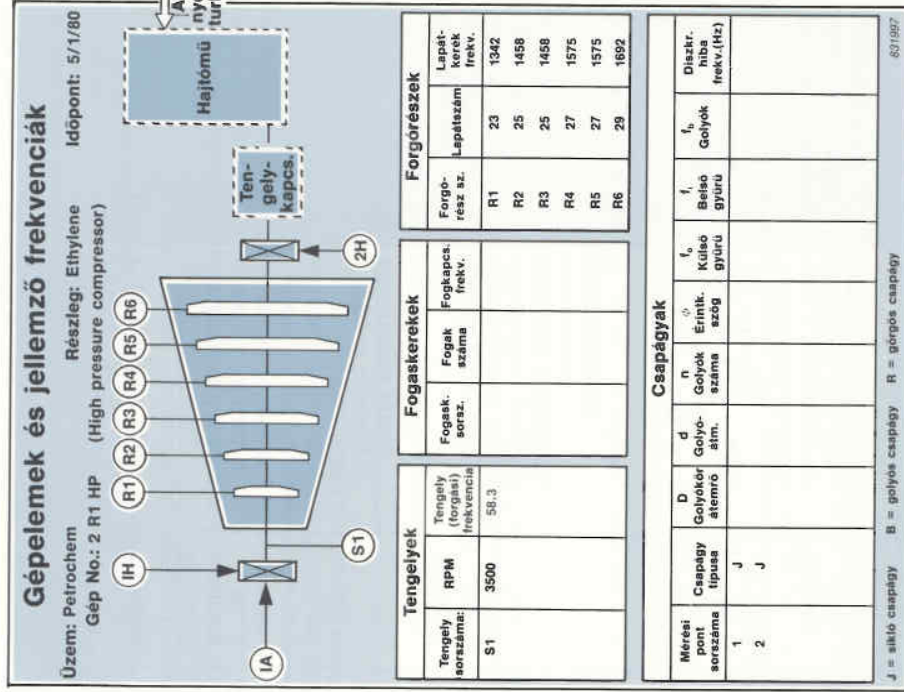
Néhány szó a hibabehatárolásról

Ha egy rezgésint megnövekedéséből valamilyen meghibásodásra lehet következtetni, a felelős mérnök feladata megkeresni a kérdéses gépkatrészt. Szélesávú rezgésmérések ehhez alig adnak segítséget, bár a (szélessávú) csúcstényező mérése (l. 9. oldal) gyakran elegendő a hibás golyós-, vagy gördülőcsapágy kimutatásához. Az általános megoldás azonban a frekvencia spektrum használata.

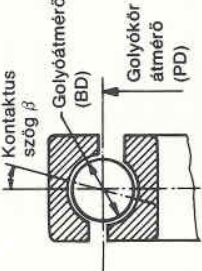
A leegyszerűbb gépektől eltekintve a hibakeresés erősen emlékeztet a detektív munkájára. A frekvenciaspektrum tartalmazza a megoldást — megnövekedett szintek egy vagy több ismert frekvencián, hasonlóan az ujjlenyomathoz. Már csak össze kell hasonlítani néhány jólismert bűnöző ujjlenyomatával — és megvan a tettes. A gép hibabehatárolásánál ez azt jelenti, hogy a lehetséges meghibásodások jellegzetes frekvenciáinak ismeretében ki kell keresni azokat, amelyek egybeesnek a mért spektrumban mutatkozó szintnövekedésekkel.

Ehhez az szükséges, hogy legelőször lépésként minden egyes gépre végig kell tanulmányozni a műszaki dokumentációt és egy sematikus ábrában összegyűjteni mindazt az adatot — motor pólusszám, tengelyfordulatszámok, fogszámok, csapágygolyók/görgők száma, stb. ami a jellegzetes frekvenciák alakulásában szerepet játszhat. Ezekből aztán egyszerű számításokkal megkaphatók a jellemző frekvenciák, amelyeket a későbbi felhasználás céljából táblázatban gyűjtünk össze.

A következő két oldalon bemutatott hibabehatároló táblázat sok általános hibajelenséget sorol fel és megadja azok jellemző frekvenciáit a fordulatszám függvényében. A gépállapotfelügyelet műveletai során talált zavaró frekvencia komponensekből és az adott gép fordulatszámából aztán a táblázat segítségével egyszerűen lehet eljutni a hibához.



Rezgés hibabehatoló táblázat (A)

A hiba természete	A jellemző rezgés frekvenciája ($H = \text{ford}/p \cdot 60^{-1}$) Hz-ben	Iránya	Megjegyzés
Kiegészítő forgórészek	1 x ford/p	Radiális	A túl erős géprezések egyik gyakori oka
Egytengelyűségi hiba és elgörbült tengely	Rendszerint 1 x ford/p Gyakran 2 x ford/p Néha 3-4 x ford/p	Radiális és axiális	Gyakori hibák
Meghibásodott gördülő elemek csapágyak (golyók és görgők)	Az egyes csapágyalkatrészek ütései Igen nagyfrekvenciás rezgések is (20-60 kHz), gyakran a radiális csapágyrezonanciával kapcsolatosan	Radiális és axiális	<p>Ingadozó rezgésszintek, gyakran ütészzerű lefutással</p> <p>* Ütés viszonyok:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Ütésfrekvencia $f(\text{Hz})$</p> <p>Külső gyűrű hiba $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta)$</p> <p>Belső gyűrű hiba $f(\text{Hz}) = \frac{n}{2} f_r (1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta)$</p> <p>Golyó hiba $f(\text{Hz}) = \frac{PD}{BD} f_r [1 - (\frac{BD}{PD} \cos \beta)^2]$</p> <p>$n$ = csapágygolyók, görgők száma f_r = relatív fordulatszám/s a belső és külső csapágygűrű között</p> </div>
Csapágyfelleazulás a csapágyházban	Tengely ford/p alharmónikusai pontosan 1/2 vagy 1/3 x ford/p	Elsősorban radiális	A felleazulás esetleg csak az üzemi fordulatszámánál és hőmérsékletnél lép fel (pl. turbógépeknél)
Olajfilm örvénylés, vagy habosodás csapágyaknál	Valamivel kevesebb, mint a tengely fordulatszámának a fele (42% - 48%)	Elsősorban radiális	Nagyfordulatú (turbó) gépeknél

Rezgés hibabehatoló táblázat (B)

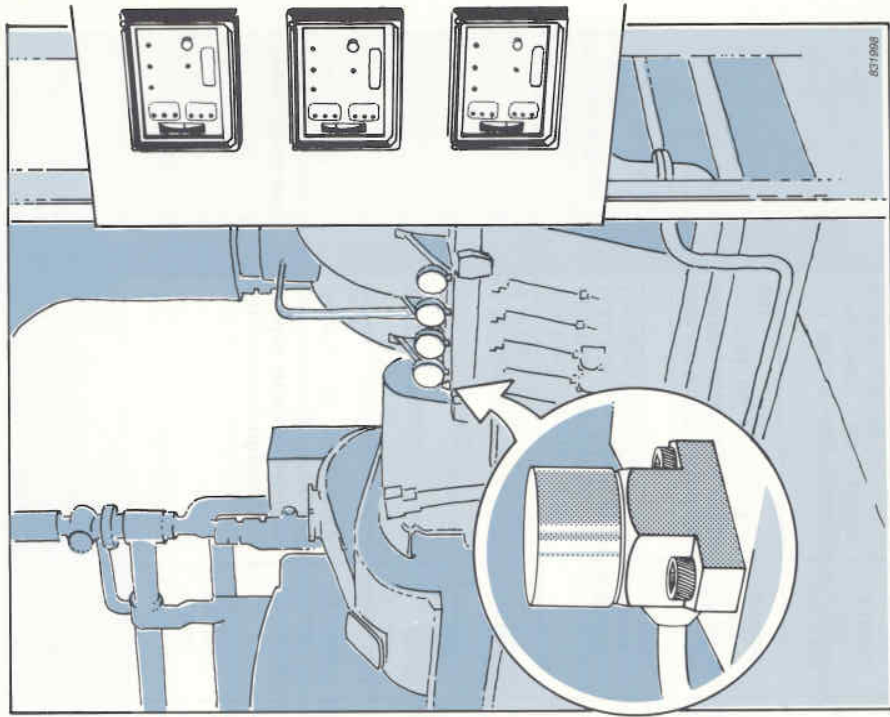
A hiba természetete	A jellemző rezgés frekvenciája (Hz = rpm/60)	Iránya	Megjegyzés
Hiszterézis-örvénylés	Kritikus fordulatszám-nál	Elsősorban radiális	Kritikus tengelyfordulatszámra való átmenetnél jelentkező rezgés, amely nagy fordulatszámra is fennmarad. Néha javítható a forgó alkatrészek illesztésének módosításával.
Meghibásodott vagy elkopott csapágyak	Fogaskerék fogkapcsolódási frekvenciái (tengely ford/p x fogak száma) és harmonikusok	Radiális és axiális	Oldalsáv frekvenciák a fogkapcsolódási frekvencia körül modulációra utalnak (pl. excentricitás) a spektrum vonalak közti távolságnak megfelelően. Rendszerint csak nagyon keskenysávú és cepstrum elemzéssel mutathatók ki.
Mechanikai lazulások	2 x ford/p		Alharmonikusok és köztes harmonikusok is felléphetnek
Hibás szíjhajtás	A szíjtárcsa 1, 2, 3, 4 x ford/p-nál	Radiális	Sztriboszkóp segítségével láthatóvá tehető és azonosítható
Kiegyensúlyozatlan reciproklerők és nyomatók	1 x ford/p vagy többszöröse a nagyobb fokú kiegyensúlyozatlanságtól függően	Elsősorban radiális	
Megnövekedett turbulencia	Álló és forgó turbinalapátok elhataladási frekvenciái és harmonikusai	Radiális és axiális	A megnövekedett rezgésszintek a turbulencia megnövekedésére utalnak
Elektromosan indukált rezgések	1 x ford/p vagy 1- vagy 2-szerese az üzemi frekvenciának	Radiális és axiális	Meggzűnik, ha a hálózatot kikapcsoljuk

Gépek folyamatos rezgésfelügyelete

Az eddigiekben tárgyalt valamennyi géprezgésfelügyeleti rendszer periodikus állapotellenőrzésekre épül fel. Ezzel igen közeli rokonságot mutat a folyamatos géprezgésfelügyelet, ami ugyancsak fontos szerepet játszik az üzemek racionális üzemeltetésében. Ahogy a neve is sugallja, ez a fajta rezgésfelügyelő rendszer az adott gépre állandóan rá van építve és folyamatosan ellenőrzi annak állapotát. Döntően olyan helyeken alkalmazzák, ahol egy hirtelen állapotváltozásra azonnal beavatkozás szükséges, ill. ahol drága, nem duplikált gépek üzemelnek, és ahol azok folyamatos üzeme létfontossága.

A hibaállapot azonnal, vagy legalábbis percekben belül észlelésre kerül és a központi kapcsolóteremben adott riasztó jel lehetővé teszi az azonnali hibaelhárító beavatkozást, amivel a katasztrófális meghibásodások megelőzhetők. Az ilyen fajta rendszerek jól beváltak és elterjedtek az erőművi és petrokémiai üzemekben használt turbináknál, tápszivattyúknál, gázkompresszoroknál, stb.

Valamennyi folyamatos felügyelőrendszerrel szemben elsőrendű követelmény a rendkívüli megbízhatóság és hosszútartású stabilitás, az ellenállóképeség a káros környezeti hatásokkal szemben, valamint a hibás riasztást kiváltó rendellenességekkel szemben. Kompakt mechanikai konstrukciók, amelyek képesek a párák és poros környezetben is működni, valamint a teljes MIL-szabványok szerinti környezetállóságú vizsgálat segítőinek fenti követelmények kielégítésében. Speciális "tömörített" kivitelű tartozékok, gyorsuláserzékelők, kábelek, csatlakozó dobozok — amelyek magas hőmérsékletet is elviselnek — egészítik ki a választékot.

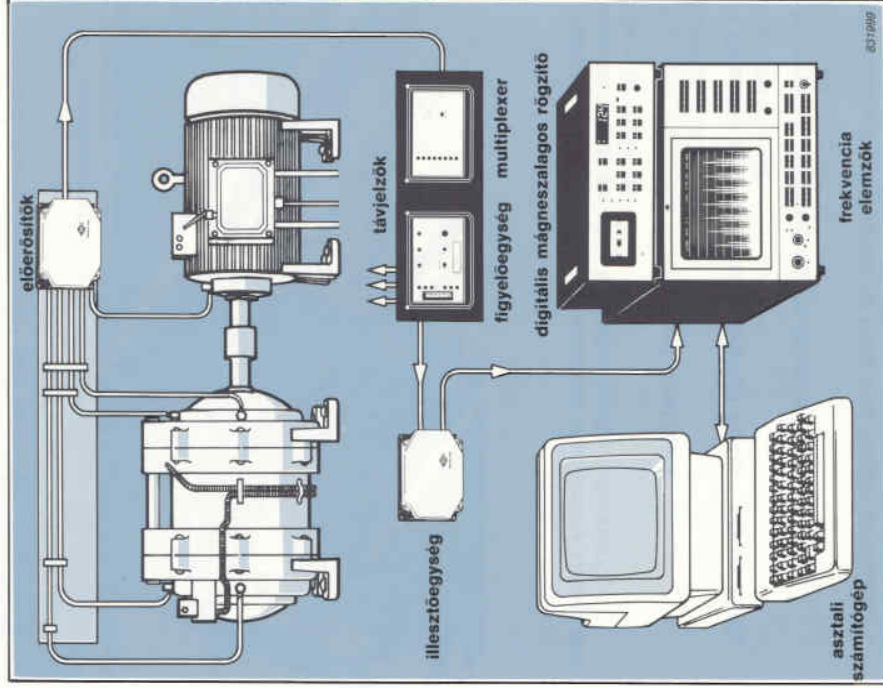


Az ilyen rendszerekre jellemző az automatikus tesztelő-rendszer, melynek segítségével a kezelő bármikor meggyőződhet a berendezések helyes működéséről, ha riasztást észlel.

Az alapsziszter arra képes, hogy folyamatosan felügyelje a rezgéseket egyetlen, egyedileg specifikált frekvenciasávban. Ha az előre beállított határértékek túllépését észlel (pl. "minimum", "készsítés", "riadó"), a berendezés hallható, vagy vizuális jelzést ad. Alternatív lehetőségként mód van további két, összesen három frekvenciasáv egyidejű felügyeletére. Gazdaságosan nyolc felügyeleti pont látható el egyetlen felügyelő modulba kötött multiplexerrel. A multiplexer folyamatosan végiglepked a választott csatornákon, mindegyiket előre választható ideig rákapcsolja a kimenetre, majd továbblép. Öt párhuzamos multiplexerrel maximum 40 mérési pont látható el egyetlen felügyelő modulal. A felügyelő modulhoz spektrumelemző is kapcsolható, ha hibabehatárolás céljából szükséges, és a legösszetettebb rendszereknél számítógépes spektrumösszehasonlítás is végezhető bármelyik mérési pontra vonatkozóan.

Robbanásbiztos kivitelű berendezések is rendelkezésre állnak. Ezeknél diódás védelem gondoskodik arról, hogy nagyobb feszültségek ne juthassanak robbanásveszélyes helyen futó kábelekkbe.

A folyamatos állapotfelügyeleti rendszer telepítése előtt alapvetően fontos a spektrumelemzés elvégzése, hogy kiválasztható legyen a legmegfelelőbb mért paraméter, frekvenciatartomány és megszólalási küszöbértékek. A korábbiakban elmondott elvek és irányelvek ebben a vonatkozásban is segítséget nyújtanak.



További irodalom



“Condition Monitoring of Industrial Machinery Using Mechanical Vibration as a Machine-health Indicator”.
Brochure BG0016.

“Portable Vibration Meters and Analyzers”.
Brochure 158-80.

“A Versatile Pocket-sized Vibration Meter”. (Type 2513).
Brochure 205-80.

“Automated Machine-health Monitoring System”.
Brochure BP 0258-11.

“Predictive Maintenance of Pulp and Paper Machinery”.
Brochure BG0104-11.

“Bearing Monitoring Equipment for Gear Driven Paper Machines”.
Application Note BO0072-12.

“Analysis Techniques for Gearbox Diagnosis using the High Resolution FFT Analyzer”.
Application Note 106-81.

“Order Analysis using Zoom FFT”.
Application Note 012-81.

“Machine-health Monitoring using FFT Frequency Analyzer Type 2031 or 2033 with a Desk-top Calculator”.
Application Note 169-80.

"Efficient Machine Monitoring using an FFT Analyzer and a Desk-top Calculator".

Application Note 18-212.

"Cepstrum Analysis and Gearbox Fault Diagnosis".

Application Note 233-80.

"The Rationale of Monitoring Vibration of Rotating Machinery in Continuously Operating Process Plant".

Reprint 19-023 (reprint of ASME Paper No.71-Vibr-96).

"Condition Monitoring Methods and Economics".

Reprint 16-054.

"Unbalance — Detected and Corrected on the Spot".
Brochure BG 0008.

"Vibration Measurements in Predictive Maintenance".

Application Note BO 0094-11.

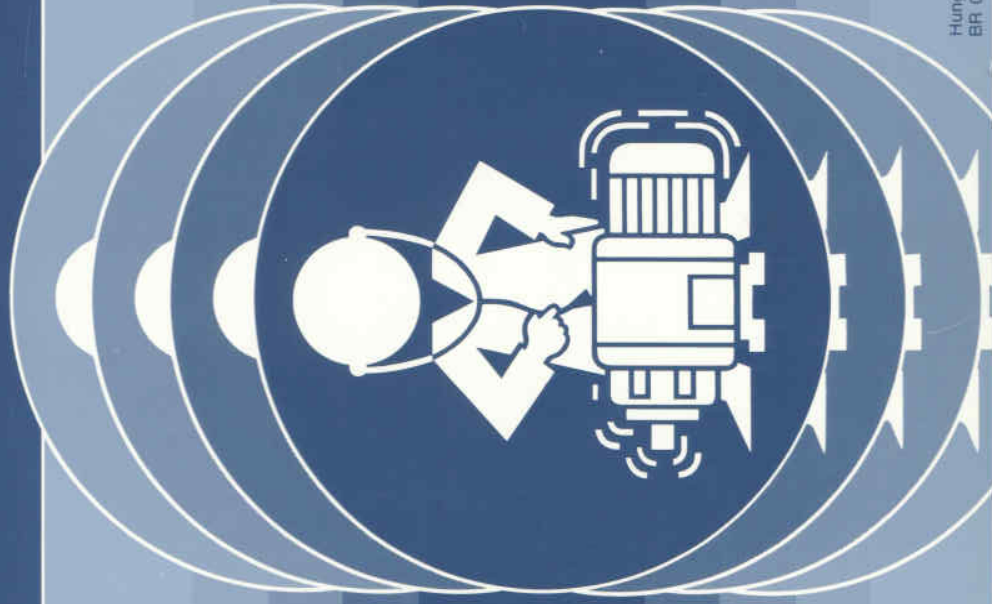
Individual Product Data and System Development Sheets
cover each instrument in the B&K vibration measurement and analysis product range.

Reméljük, ezen kis könyvecskével sikerült bemutatnunk, hogy milyen hasznosak lehetnek a rezgésmérések a gépek karbantartása során és főleg milyen előnyök várhatók a rezgésmérésekre felépített gépállapotfüggő karbantartástól. Az az alapelv, hogy karbantartást csakis akkor szabad végezni, ha a mérések alapján a gép állapota azt szükségesnek mutatja az utóbbi években jelentősen megnövekedett üzembiztonságot, termelékenységet és az ipari berendezések általános hatásfoknövekedését eredményezték. Ha Önnek a mérés technikával, vagy mérőműszerekkel kapcsolatosan további kérdései merülének fel, kérjük, keresse meg szervizünket, vagy közvetlenül gyárunkat:

Műszaki tanácsadás:

Fotoelektronik ISz Műszer és Méréstechnikai Sz.Cs.
Brüel & Kjaer Szerviz
1042 Budapest
Virág u. 22.

Tel.: 696-239



Brüel & Kjær 

DK-2850 Nærum · Denmark

Telephone: +45 42 80 05 00 · Telex: 37316 bruks dk · Fax: +45 42 80 14 05

Printed in Denmark: K.Larsen & Søn A/S · DK-2600 Glostrup

Hungarian
BR 0611-1-1