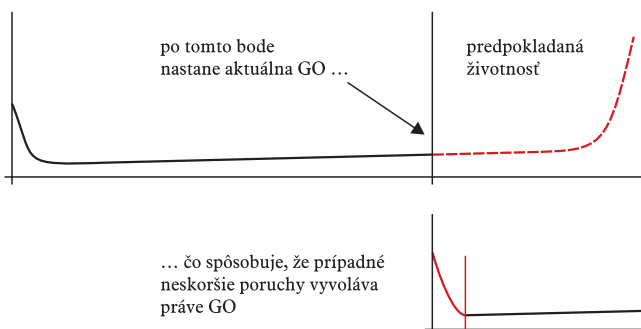


# Vibrodiagnostika - nástroj spoľahlivosti rotačných strojov

V minulosti sa považovalo za jedinú úlohu pripravenosť prevádzky a schopnosť vyrábať pri optimálne minimálnych nákladoch. Dnes si už čoraz viac výrobných firiem uvedomuje, že údržba má vplyv na všetky oblasti obchodných rizík a efektívnosti. Rozhodne ovplyvňuje osobnú a environmentálnu bezpečnosť, efektívne využívanie energií, kvalitu výrobkov a uspokojovanie potrieb zákazníkov. Znamená to, že údržba hrá centrálnu úlohu v živote celej organizácie. Jej úlohou je zabezpečiť, aby zariadenia plnili svoje funkcie, boli schopné vyrábať vtedy a toľko, ako to vyžaduje trh, aby zabezpečil spoľahlivosť a bezpečnosť strojových zariadení.

Zabezpečiť spoľahlivosť klasickými metódami údržby ako „prevádzkovanie až do poruchy“ alebo údržba v pevne stanovených cykloch je príliš problematické. Nedostatky metódy údržby „prevádzkovanie až do poruchy“ je, že porucha nastane úplne nečakane, preto sa nedá plánovať a väčšinou nastane vážna porucha. Pri údržbe v pevne stanovených cykloch je ťažké určiť hranicu, kedy treba vykonať údržbu. Čas výmeny súčiastok väčšinou určujú (zainteresovaný) výrobcovia, pričom nezohľadňujú konkrétne podmienky danej prevádzky a možnosť zmeny podmienok. K tomu ešte dodajme, že priemysel často prispôbi opravy tomu, aké sú spotrebiteľské návyky (spotreba piva v lete je väčšia), ako dozrieva úroda (cukrovársky priemysel) alebo ku konkrétnemu dátumu (celozávodná dovolenka).

V minulosti sme si mysleli, že pri väčšine zariadení je pravdepodobnosť poruchy tým vyššia, čím je zariadenie staršie. Z toho vyplýva názor, že ak na zariadení vykonávame generálnu opravu, určite klesne pravdepodobnosť poruchy. Dnes už tvrdíme, že so zastaraním stroja nerastie úmerne aj frekvencia výpadkov. Výnimkou je, ak vyslovene ide o poruchu súvisiacu so starnutím. Je teda mylným názorom, že pravidelnými opravami sa zvyšuje spoľahlivosť zariadenia.

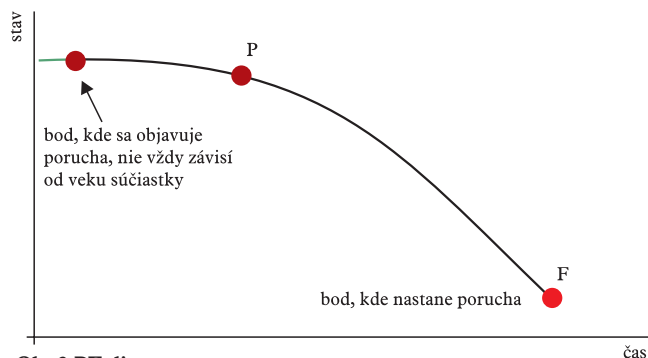


**Obr.1 Často sa práve po GO stáva pred tým stabilne pracujúci stroj labilným**

Nato, aby sme skutočne zvýšili spoľahlivosť zariadenia, treba:

- zvyšovať čas medzi jednotlivými opravami (schopnosť byť pripravený k prevádzke),
- skrátiť dĺžku opráv,
- včasnými opravami znížiť následky poruchy.

Tieto požiadavky môžeme dosiahnuť vtedy, ak máme k dispozícii dostatočné informácie o tom, aký je skutočný stav zariadenia, odhalíme jeho skryté, menej závažné poruchy, z ktorých sa neskôr vyvinú ďalšie, ale už vážnejšie poruchy až ku katastrofe. Ak máme tieto informácie, môžeme predĺžiť životnosť a zasahovať až v okamihu, keď je to skutočne potrebné a odstrániť aj prvotné chyby, nielen ich následky. Informácie o stave zariadení získavame meraniami. Pre rôzne strojové jednotky používame rôzne me-



**Obr.2 PF diagram**

tódy merania, spoločným menom technickú diagnostiku. Na zabezpečenie spoľahlivosti sa najčastejšie využíva:

- vibrodiagnostika,
- termodiagnostika,
- meranie ultrazvukom,
- analýza olejov,
- motormonitor,
- endoskopia,
- defektoskopia,
- iné.

Veľmi dôležité rozhodnutie pri dosiahnutí spoľahlivosti merania je frekventovanosť merania. Tiež mylne prevláda názor, že tie zariadenie, ktoré sa kazia zriedkavo, netreba merať, alebo ak áno, tak s väčším časovým odstupom. V rozhodovaní o tom či treba niektoré zariadenie diagnostikovať, hrá úlohu jeho dôležitosť v danom technologickom systéme. Frekventovanosť merania zase závisí od rýchlosti vývinu poruchy. Vo všeobecnosti platí tzv. PF diagram (obr. 2).

Tento diagram poukazuje nato, kedy sa objavuje chyba a ako sa zhoršuje stav k bodu (P), čo nazývame potenciálnou chybou. (P) je bod, kde sme schopní prvýkrát vnímať chybu. Ak v tomto bode nezasahujeme, pokračuje zhoršovanie stavu, väčšinou v zrýchlenom tempe, pokiaľ sa nedostane k bodu (F), čo nazývame funkcionálnou poruchou. Čas medzi potenciálnou a funkcionálnou chybou nazývame PF interval. Ten môžeme vyjadriť v rôznych jednotkách, súvisiacich s mierou zaťaženia (motohodiny, počet vyrobených produktov, počet výrobných cyklov atď.), ale najčastejšie používame uplynulý čas. Ak nemáme iný vážnejší argument, vo všeobecnosti čas medzi dvoma meraniami by mal byť polovica PF intervalu. Tento časový interval zabezpečuje, že diagnostická prognóza deteguje potenciálnu chybu ešte pred tým, ako nastane funkcionálna chyba, a zabezpečuje potrebný čas na prípravu opráv (nominálny čas na prípravu zásahu je minimálne polovica PF intervalu). Občas však interval pravidelných kontrol musí byť iba zlomok PF intervalu. Ak je PF interval príliš krátky nato, aby sme bezpečne vykonali meranie alebo následný zákrok, sledovanie stavu nie je vhodné na tento druh poruchy. V tomto prípade je rozumnejšie inštalovať ON LINE pozorovacie a blokovacie systémy, ktoré po prekročení nastavených hodnôt odstavia zariadenie, aby nedošlo k jeho znehodnoteniu.

## Zabezpečenie spoľahlivosti pomocou vibrodiagnostiky

Pri rotačných strojoch je hlavnou úlohou vibrodiagnostiky určit moment, keď sa ložisko nachádza pred koncom svojej životnosti. Valivé ložiská majú konečnú životnosť a zničia sa aj vtedy, ak montáž a následná údržba prebehli v poriadku. Teda cieľom diagnostiky nie je to, aby sme zachránili ložisko, ale aby sme zabezpe-

čili spoľahlivý chod zariadenia. Podľa štatistík iba 10 % ložísk dosiahne svoju plánovanú životnosť. Tie ložíská, ktoré by mohli pracovať viac rokov, sú niekedy schopné plniť svoju funkciu iba pár mesiacov. Je známe, že životnosť ložísk ovplyvňujú tieto faktory:

- otáčky,
- aktuálne namáhanie,
- základné dynamické zaťaženie,
- účinnosť mazania,
- úroveň znečistenia,
- pracovná teplota,
- typ ložiska.

Základná rovnica únavy valivých ložísk je:

$$L = 16667 / n^* (C / Fe)^m$$

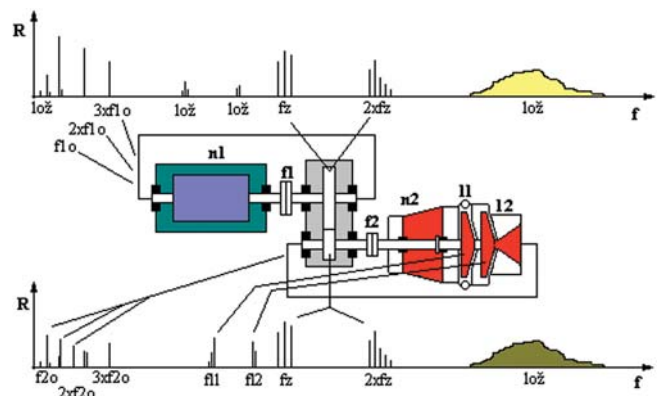
kde  $L$  je životnosť ložiska v hodinách,  
 $n$  sú otáčky (ot./min.),  
 $C$  je základné dynamické zaťaženie,  
 $Fe$  – ekvivalentné dynamické zaťaženie,  
 $m$  – 3 pri guľčkových ložiskách,  
 10/3 pri valčekových ložiskách.

Ako vyplýva z rovnice, zvýšenie otáčok na dvojnásobok znižuje životnosť o 50 %, pričom zvýšenie zaťaženia ložísk na dvojnásobok znižuje životnosť o 87 % pri guľčkových ložiskách a o 90 % pri valčekových ložiskách. Znamená to, že na dosiahnutie maximálnej životnosti ložísk a tým aj vyššej spoľahlivosti zariadenia treba nevyhnutne znižovať škodlivé zaťaženie. Kľúčovým faktorom je, že samotné ložíská sa málokedy pokazia. Vo väčšine prípadov pôsobia vonkajšie vplyvy, ktoré napomáhajú predčasnej poruche ložísk. Medzi vonkajšie vplyvy patria nevyváženosť, nesprávne nastavenie súosovosti, rezonančné problémy, nesprávne mazanie, prostredie alebo nesprávna montáž. Tieto škodlivé vplyvy – zaťaženia zväčša spôsobujú vysoké chvenie na zariadení. Samotné chvenie má tiež nepriaznivý vplyv na životnosť ložísk, ale tie sily, ktoré tieto chvenie vyvolávajú, majú škodlivejšie účinky na životnosť aktuálneho ložiska.

### Všeobecné príčiny chvenia

Vo všeobecnosti ak je úroveň chvenia pod 2 mm/s, sily vyvolané chvením neovplyvňujú škodlivo zariadenie, resp. životnosť ložísk. To znamená, v iných prípadoch, keď úroveň prevyšuje 2 mm/s (nevyváženosť, nesúosovosť, voľnosť, rezonančné problémy), treba zasahovať s cieľom dosiahnutia optimálnej životnosti ložiska. Napríklad úroveň chvenia 20 mm/s, ktoré je spôsobené nesprávnym nastavením súosovosti alebo nevyváženosťou, je z hľadiska poruchovosti ložiska kritické. Ak pomocou vibrodiagnostiky identifikujeme tieto tzv. skryté chyby a následne ich odstránime, vytvoríme podmienky na maximálne využitie životnosti ložiska. V praxi sa stretávame s dvoma skrytými poruchami, ktoré sa veľmi často vyskytujú. Sú to nevyváženosť a nesprávne nastavenie súosovosti. Podľa štatistík až 1/3 ventilátorov, ktoré sú v prevádzke, sú viac alebo menej nevyvážené. Aj keď vo výrobnom závode boli obežné kolesá vyvážené, po ich namontovaní na určené miesto môžu vyvolávať vyššie chvenie vplyvom nevyváženosti. Nezabúdajme nato, že sústava motor – spojka/obežné koleso alebo motor – remenice/obežné koleso má iné dynamické vlastnosti, ako mali jednotlivé súčiastky pri vyvažovaní na vyvažovacej lavici. Preto je dôležité, a to aj na nových zariadeniach, vykonať kontrolné meranie chvenia. Po zistení nevyváženosti sústavy je najlepšie vykonať dynamické vyvažovanie na mieste na vlastných ložiskách. Výhoda tejto metódy je, že sa vyvažuje sústava spojka/obežné koleso alebo motor/remnica. Po vyvažovaní na mieste už nenasleduje žiadny zásah, teda môžeme mať istotu, že nevniesieme do systému ďalšiu chybu.

Nesprávne nastavenie súosovosti je ďalšia dôležitá chyba, ktorá sa často vyskytuje. Vo väčšine prípadov údržbári nastavujú súosovosť tak, aby bola rovnaká medzera medzi spojkami po celom



Obr.3 Skúmanie stroja pomocou frekvenčnej analýzy

obvode. Táto metóda je postačujúca iba pri nižších otáčkach a iba v tom prípade, ak máme novú, dokonale vyrobenú spojku. Je však nepoužiteľná, ak spojka pracuje nad 1 500 ot./min., alebo ak je opotrebovaná, polovica spojky je vymenená za polovicu inej spojky. Musíme vychádzať z podstaty, že potrebujeme nastaviť súosovosť medzi osami a nie medzi spojkami. Napríklad pri 3 000 ot./min. by najväčšia chyba rovnobežnosti nemala byť väčšia ako 0,08 mm. Takúto presnosť môžeme dosiahnuť iba pomocou presných prístrojov. Niektoré pružné spojky do určitej miery eliminujú chyby nastavenia, ale presným nastavením šetríme nie spojku, ale ložíská, tesnenia, hriadele atď.

Použitím vibrodiagnostiky, pomocou spektrálnej analýzy možno určiť aj iné chyby zariadenia. Základný princíp je, že každý rotačný stroj, ktorý je v prevádzke, vyvoláva chvenie. Veľkosť tohto chvenia poukazuje na stav zariadenia. Každá rotačná súčiastka vyvoláva chvenie na určitej frekvencii, teda konkrétna frekvencia poukazuje na súčiastku. Zvyšujúca sa mohutnosť chvenia znamená zhoršujúci sa stav stroja. Významná frekvencia a rast amplitúd na tejto frekvencii znamená poruchu súčiastky.

Na obr. 3 vidíme, ako sú jednotlivé frekvencie priradené k daným súčiastkam. Pravidelnými meraniami na zariadení a porovnaním meraných údajov zaregistrujeme skryté chyby a po ich odstránení zariadenie môže ďalej pracovať. Väčšinou ide o zákroky trvajúce maximálne jednu až dve hodiny. Pretože to nie sú akútne chyby, máme čas na prípravu a termín zásahu vieme usmerniť podľa potreby výroby (cez víkend, po skončení výrobného cyklu). So správnou zvolenou frekvenciou merania (podľa PF diagramu) takto môžeme zabezpečiť, aby stroj pracoval až do konca prirodzenej životnosti ložísk.

Ing. František Molnár

A. A. Stádium Slovakia, s. r. o.  
 e-mail: molnar@stadium.sk

16