

# Diagnostika stavu valivých ložisek

RNDr. Radomír Sglunda

V nákladech podniku hrají nezanedbatelnou roli finanční prostředky spotřebované na údržbu strojních zařízení. Pokud rozebereme strukturu nákladů údržby samotné, pak zjistíme, že někdy i podstatná část všech prostředků je vynaložena na nákup valivých ložisek a jejich montáž. V dnešní době snižování všech nákladů je potřeba také sledovat efektivnost prostředků, které spotřebovuje údržba. Zásadní otázkou je řešení systému údržby.

Nejstarším způsobem jak řídit údržbu, je čekat na poruchu a poté ji opravit. Oficiálně dnes žádný podnik tento systém údržby nepoužívá. V osmdesátých letech, v době rozvoje velkých počítačů, se začal používat druhý systém údržby, a to systém preventivních výměn. V té době probíhala v civilizovaném světě konjunktura a tlak na snižování nákladů nebyl tak výrazný jako v letech devadesátých. Nový systém údržby znamenal hromadné výměny náhradních dílů bez jakéhokoliv ohledu na jejich skutečný provozní stav. Každá vyměnitelná součást měla určenu životnost předem a ihned po uplynutí této doby byla vyměněna. Pro řízení celého procesu byly vyvinuty rozsáhlé softwarové systémy, které obsahovaly úplné databáze všech komponentů spolu s udáním životnosti. Tyto programy dokázaly mnohdy i automaticky generovat pracovní příkazy pro výměny. Až obsáhlé statistické analýzy za relativně dlouhou dobu používání systémů odhalily slabiny tohoto způsobu řízení údržby. Na straně přínosů klesly nečekané odstávky jako důsledek poruch. Na druhé straně enormně narostly výdaje za náhradní díly a za lidskou práci potřebnou při opravách. Celkový výsledek byl samozřejmě pro každý podnik jiný a závisel především na míře přidané hodnoty, kterou byl podnik schopen realizovat. Tam, kde je cena odstávky (tj. hodnota ztráty výroby) vysoká a podnik nemá žádné odbytové potíže, tam systém preventivních výměn přináší zvýšení výroby a odbytu. Nelze ale obecně říci, že systém snižuje náklady na údržbu samotnou. Jeho přínos je spíše na straně snížení počtu nečekaných odstávek a zvýšení odbytu podniku.

Systém údržby preventivních výměn se doposud v mnoha podnicích používá, ačkoliv z dnešního pohledu se jedná o systém archaický, nákladný a málo výkonný. Pokud je i dnes doporučován, tak pouze pro speciální stroje, jejichž úloha je pro celý podnik natolik nezastupitelná, že jsou raději akceptovány vyšší náklady na preventivní výměny. Je třeba si ale uvědomit, že systém preventivních výměn v žádném případě neznamená vyloučení výskytu nečekaných poruch. Málokdy je úspěšnost větší než 50 % proti čekání na poruchu. Je to dáno různými technickým stavem nových součástí (nejmenší vliv), úrovní montáže (velmi výrazný vliv) a v neposlední řadě také citlivým nastavením doby životnosti. Pokud má být systém efektivní, pak jsou navrženy životnosti krátké, nedochází k nečekaným poruchám tak často, ale je to velmi nákladné. Jestliže zvolíme životnosti delší, jsou preventivní náklady nižší, ale zase dochází k nečekaným poruchám. Zkrátka opět jde o kompromis a systém je velmi citlivý na vyladění, kdy za snížení rizika se platí vyššími náklady.

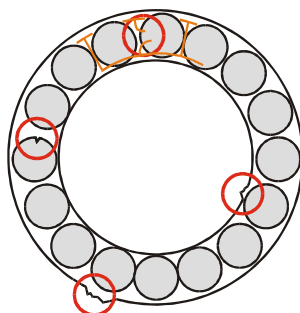
Současně se systémem preventivních výměn byl rozvíjen také třetí způsob řízení údržby, nejčastěji nazýván řízením údržby podle skutečného stavu. Podstata systému je velmi jednoduchá, aplikace systému v praxi již tak snadná není. Základem je použití objektivních metod měření pro zjištění skutečného provozního stavu stroje. Tato informace má zásadní význam. Umožňuje údržbě provést opravu až v době, kdy součástka vykazuje reálné poškození. Měření provozního stavu stroje umožňuje provést i odhad času, po který ještě lze zařízení provozovat. Měřicí metody jsou velmi citlivé a registrují již počátek vzniku závady, kdy ještě porucha vůbec neohrožuje bezpečný chod stroje. Vzniká tak důležitý časový prostor, ve kterém lze zajistit náhradní díly a naplánovat nejhodnější termín opravy. A to je podstatou tohoto typu řízení údržby. Nečekané odstávky jsou sníženy na minimum. Praktické zkušenosti dokazují až 80 % snížení počtu nečekaných poruch. Ruku v ruce s tímto faktem jde samozřejmě snížení finančních nákladů na údržbu. Konečně lze plánovat jak využití lidských zdrojů, tak i materiál. Koncepce údržby tak získává nový rozměr. Standardem se stává organizační schéma, kde existuje malá skupina kmenových zaměstnanců údržby, jejichž úkol je především inspekční, tedy preventivní činnost. Ta zahrnuje měření strojů a vyhodnocování jejich stavu. Úkolem této skupiny je pak provádění drobných oprav nebo nutných zásahů při nečekané poruše, protože žádný systém údržby neumí nečekané poruchy zcela odstranit. Veškeré plánované opravy pak podnik řeší expertní službou, vlastní skupina provádí spíše dohled a především kontrolu, zda je oprava provedena kvalitně. Její měřicí vybavení slouží jako nástroj ke kontrole opravy, protože jsou k dispozici data před opravou a po ní. V případě, že měření zjistí podobný stav jako před opravou, pak je to důvodem k okamžité reklamaci bez čekání na časově delší zkušební provoz. Koncepce údržby se tak stává velmi podobnou výrobní strategii „just in time“, kdy jsou výrobní části dodány přímo na linku v okamžiku potřeby bez předchozího skladování. Nyní i v údržbě jsou zásahy prováděny až v okamžiku skutečné potřeby.

Nyní se vraťme k původní otázce a to je diagnostika provozního stavu valivých ložisek. Pro objektivní vyhodnocení stavu valivého ložiska lze použít více metod. Nejjednodušší a historicky nejstarší je měření teploty. Bohužel teplota narůstá až při výrazném poškození ložiska, kdy již je velká pravděpodobnost nečekané poruchy a odstavení stroje. Další alternativou je analýza maziva. Jedná se o velmi propracovaný systém hodnocení. V případě postupujícího poškození ložiska vznikají na oběhových drahách stále větší a větší trhlinky a tyto kovové části se dostávají do maziva. Tam jsou zjištěny a je vyhodnoceno jejich množství, které je úměrné poškození ložiska. Analýza olejů dává informace o poškození ložiska již velmi brzy po jeho vzniku. Jestliže nás zajímá také příčina vzniku, pak již analýza oleje není schopna dát tyto informace, kromě případu, kdy příčinou poškození je primární znečištění maziva.

Další možností, jak objektivně hodnotit provozní stav ložiska, je použití měření vibrací. Tato metoda je komplexní, protože umožňuje nejen zjistit opotřebení ložiska, ale i další poruchové stavy stroje (nevývaha, nesouosost, mechanické uvolnění, vůle, vady převodů, elektromagnetické problémy), které mají na životnost ložiska významný vliv. Pomocí měření vibrací tak je možné udržovat stroje v co nejlepším provozním stavu, který znamená dlouhodobý provoz bez zásahů údržby. Protože vibrace obsahují nejvíce informací o stavu stroje, je tato metoda využívána jako základní způsob řízení údržby. Ostatní metody (analýza olejů, termografie, NDT, ...) jsou používány jako doplňkové a podpůrné.

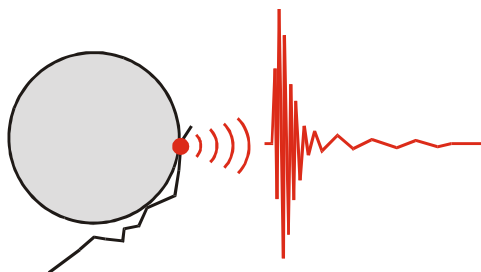
Výhodou všech metod vibrační analýzy je, že informují provozovatele stroje o poruše v dostatečném předstihu. Jestliže je vyhodnoceno poškození, neznamená to, že je nutné stroj ihned odstavit. Mělo by být dost času na naplánování opravy a na zajištění nákupu náhradních dílů.

Protože se tento článek týká speciálně diagnostiky ložisek, soustředíme se pouze na vibrační analýzy, které měří stav ložiska. Poškození ložiska je obvykle reprezentováno odlupováním malých částí materiálu z oběhových drah (vnitřní a vnější kroužek) a z valivých elementů. Další možnou poruchou je vada na kleci, ale ta obvykle je až následkem, nikoliv příčinou. Na obr.1 jsou schématicky znázorněna zmíněná porušení.



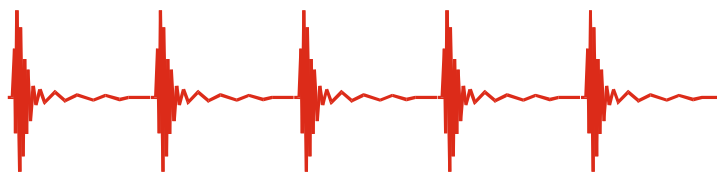
obr.1

Při provozním zatížení je důležité rovnoměrné odvalování kuliček nebo válečků po oběhových drahách. V případě existující trhlinky je tento pohyb přerušen a dochází k dynamickému rázu valivého elementu versus porušení (viz obr.2).



obr.2

Důsledkem rázu je impuls, který se šíří ložiskem, domkem nebo dalšími strukturami stroje. Pomocí snímače vibrací jsme tento ráz schopni zachytit a vyhodnotit. Protože přes trhlinu se odvalují stále další a další elementy, vzniká série rázů a celý vibrační signál je zobrazen na obr.3.



obr.3

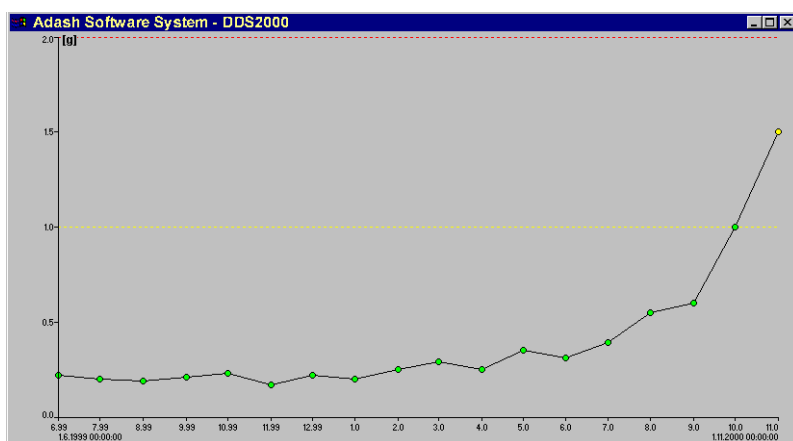
Co se týče frekvenční oblasti, spektrum kmitočtů obsažených v rázech je řádu kHz nebo desítek kHz. Spolu s postupujícím poškozením, kdy počet trhlín exponenciálně roste, narůstá i energie impulsů, jejich počet a frekvence obsahují stále nižší a nižší složky. V případě značného poškození lze najít v signálu i frekvenci řádu stovek Hz.

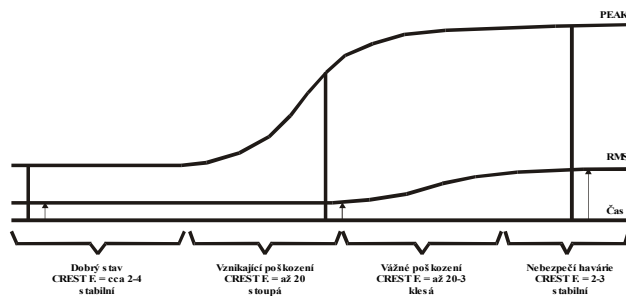
Jestliže je vibrační signál změřen, je úkolem dalšího zpracování, aby byla vyhodnocena úroveň poškození. K dispozici je několik zásadních směrů, jak signál hodnotit.

Základním způsobem měření by vždy měly být širokopásmové analýzy signálu, tj. do cesty signálu je vřazen frekvenční filtr. Ten propouští jen zvolené pásmo frekvencí. Jeho počáteční a koncová frekvence závisí na typu ložiska a otáčkách. Pro standardní měření je obvyklé použití pásma cca 5 - 15 kHz. Pro přefiltrovaný signál se vyhodnotí efektivní (RMS) a špičková (PEAK) hodnota signálu. Nebudeme zabíhat do přílišných teoretických vysvětlení významu, úplně postačí, pokud si pod efektivní hodnotou představíme energii obsaženou v signálu a pod špičkovou hodnotou maximální zachycenou špičku signálu. Použití širokopásmových metod má především tyto výhody:

- jedná se o jednoduchou a rychlou metodu,
- umožňuje sběr dat z velkého počtu míst,
- je snadno integrovatelná přímo do údržby,
- zpracování je jednoduché.

Zpracování výsledků se provádí formou časových trendů (viz obr.4). Jestliže měřené hodnoty jsou konstantní, pak se stav ložiska nemění. Pokud dochází k nárůstu hodnot, je to příznak poškození. Lze nastavit i varovné a kritické hladiny, při jejichž překročení nás software sám upozorní.

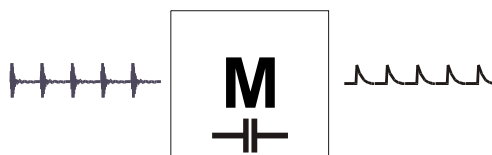




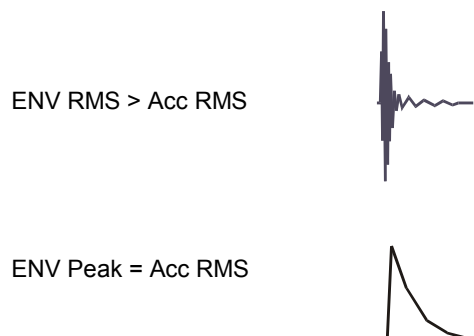
obr.5

Kurtosis faktor vychází z předpokladu, že nepoškozené ložiska vyzařuje pouze náhodný šum, který má normální (Gaussovo) rozdělení. Při vzrůstajícím poškození narůstá podíl vyšších špiček a rozdělení již nesplňuje úvodní předpoklady. Z matematicko-statistického pohledu není Kurtosis nic jiného, než výpočet špičatosti signálu, který je použitelný jako indikátor normálního rozdělení (hodnota = 3). Jestliže hodnoty narůstají, znamená to vzrůstající poškození ložiska. Jestliže hodnoty klesají (teoretické minimum = 1,5), pak je v signálu obsažena výrazná harmonická (sinusová) složka.

Další používanou metodou je obálková (Envelope) analýza, která patří do skupiny modulačních metod. Vstupní signál je zde zpracován modulátorem (viz obr.6), který vytvoří obálku signálu. Tak je uměle zvýšená energie obsažená v signálu a je možné aplikovat např. měření efektivní hodnoty (ENV RMS), které je citlivější na poškození než efektivní hodnota vypočtená ze signálu před modulací. Rozdíl v energii RMS a ENV-RMS je patrný z obr.7.



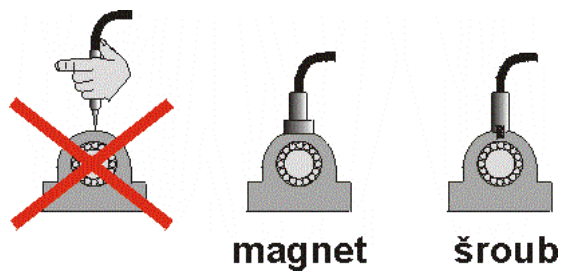
obr.6



obr.7

Jestliže na modulovaný signál aplikujeme FFT spektrální analýzu, lze odvodit opakovací frekvenci jednotlivých rázů. Podle ní jsme schopni označit i která část ložiska není v pořádku (vnitřní nebo vnější kroužek, valivý element, klec). Z hlediska údržby ale toto zjištění nemá praktickou důležitost. Ložisko je nutné vždy vyměnit za celé.

Pro praktické použití jakýchkoliv diagnostických metod je důležité zajištění správného kontaktu snímače se strojem. Každá nedokonalost způsobuje ztráty a zkreslení signálu, které nelze v dalším zpracování eliminovat. V žádném případě nelze akceptovat sondy s ručním přitlakem, které znemožňují opakovatelnost měření. V takovém případě časové trendy v grafech vykazují vysokou variabilitu a nelze z nich včas vyčíst informaci o začínajícím poškození. Důležitá je příprava měřícího místa, tj. použití měřících podložek. Následně pak je nutné použít alespoň magnetickou příchytku pro snímač, nejlépe však šroubový spoj (viz obr.8).



obr.8

Příkladem měřícího vybavení je například analyzátor chvění Adash 4101 nebo Adash 4101/B, kde v kompletním balení je obsaženo vše, co je potřeba k diagnostice, tj. přístroj, snímače, kabeláž, software pro zpracování dat, měřící podložky, lepidlo pro jejich instalaci atd. (viz obr.9).



obr.9