

Metoda rázových pulsů SPM a čtyři fáze poškození valivých ložisek

Tim Sundström
R&D, SPM Instrument AB
07. 08. 2013

Obsah

1	Cíl dokumentu	4
2	Úvod	4
3	Čtyři fáze poškození ložiska	4
3.1	Fáze 1.....	4
3.2	Fáze 2.....	6
3.3	Fáze 3.....	8
3.4	Fáze 4.....	10
4	Závěr	11
5	Užitečné odkazy.....	13

1 Cíl dokumentu

Cílem tohoto dokumentu je popsat čtyři fáze poškození valivých ložisek tak, jak je lze vidět z perspektivy rázových pulsů. Dokument lze použít jako vodítko při vyhodnocování výsledků naměřených metodou rázových pulsů SPM.

2 Úvod

Od doby uvedení metody SPM (SPM – The Shock Pulse Method – metoda rázových pulsů) na začátku 70. let bylo provedeno bezpočet měření rázových pulsů na ložiskách v různých fázích poškození.

Někdy se přihodí, že učebnicový nárůst trendu rázových pulsů nelze potvrdit viditelným poškozením valivých drah. Občas zase nízké hodnoty rázových pulsů ložiska bez znatelného nárůstu vedou k negativnímu překvapení, když ložisko krátce na to havaruje.

Ve většině případů praxe potvrzuje, že SPM metoda je schopna úspěšně detekovat vadu ložiska v dostatečném předstihu před případnou havárií.

Myšlenkou tohoto dokumentu je popsat, proč se SPM metoda (podobně jako další obálkové/demodulační metody) takto chová a to dle situace v různých fázích poškození ložiska.

Většina teorií popsaných v tomto dokumentu je aplikovatelná na válečková ložiska, speciálně nárůst/pokles trendů popsaných dále jsou zřetelnější u těchto typů ložisek ve srovnání s kuličkovými ložisky.

Hlavní příčiny selhání ložisek zde probírány nejsou, existuje spousta dalších zdrojů, které se tímto tématem zabývají.

3 Čtyři fáze poškození ložiska

Proces opotřebení/vývoje vad ložisek se běžně popisuje ve čtyřech fázích.

3.1 Fáze 1

V této fázi je poškození extrémně malé a normálně je lokalizováno pod povrchem. Je-li ložisko vyměněno v této fázi, nejsou na jeho drahách obvykle viditelné žádné vady. Lze předpokládat, že zbytková životnost je stále ještě 10 – 20% původní hodnoty L10.

Metoda SPM však již v této fázi reaguje a ukazuje mírně zvýšené hodnoty HDm. HD Spektrum zobrazuje poměrně čistě převážně symptom vnějšího kroužku BPFO (v případě aplikace s pevným vnějším kroužkem).

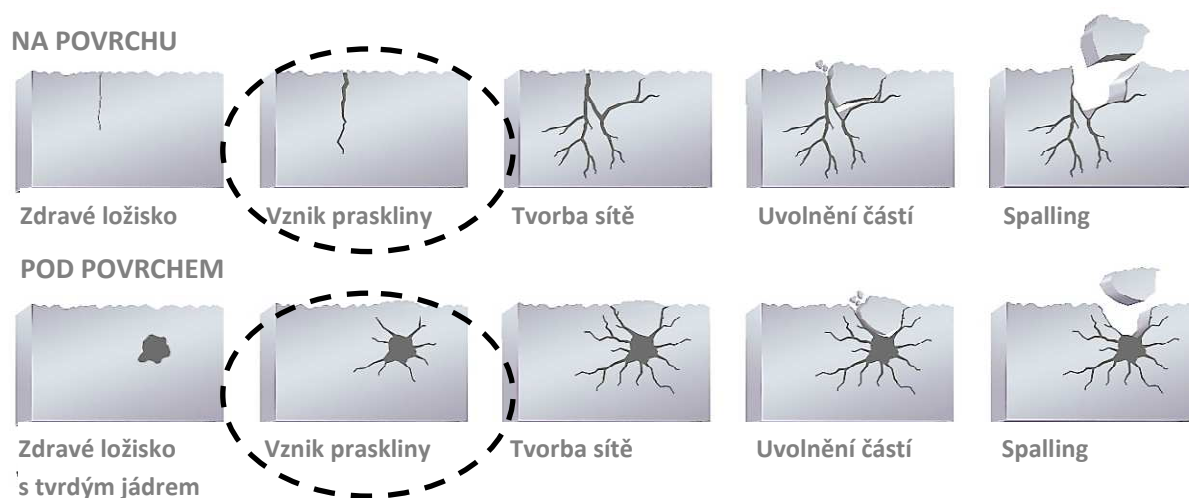
HDm hodnoty stejně jako hodnoty ložiskových symptomů v této fázi typicky neukazují klasický pomalý nárůst, jedná se o víceméně konstantní hodnoty, mírně vyšší než je normální amplituda.

V této fázi existuje riziko, že čisté a ostré spektrum získané z výsledků naměřených metodou SPM HD bude interpretováno jako kritické poškození. Na příkladech, se kterými jsme se v praxi setkali, nebylo navzdory jasnému signálu vnějšího kroužku po výměně ložiska viditelné žádné poškození. Tato situace bývá obvyklejší u diagnostiků, kteří jsou zkušenější v oblasti interpretace vibračních spekter. Vzhledem k podstatně nižší citlivosti vibračních snímačů na vady ložisek v rané fázi poškození pak může být spektrum SPM HD s jasným symptomem ložiska nesprávně hodnoceno jako podstatně závažnější, než ve skutečnosti je.

Důvodem, proč metoda SPM může detekovat tato podpovrchová poškození je to, že v důsledku změny v homogenitě v materiálu valivé dráhy vznikají malé tlakové vlny v okamžiku průchodu valivých elementů přes místo tohoto podpovrchového poškození. Je-li mazivo v ložisku vystaveno změně tlaku z důvodu mikroskopické praskliny, případně když tvrdé inkluze způsobí mikroskopické nepravidlosti povrchu, jsou generovány rázy o velmi nízké amplitudě.

Vibrační hodnoty měřené v jednotce rychlosti vibrací zcela jistě nezaregistrují v této fázi žádný náznak poškození ložiska. Spektrum zrychlení může (avšak spíše výjimečně) ukázat náznak poškození. Obálka vibrací s filtrem typu horní propust nastaveným na vyšší kmitočty (>10 kHz) může občas podpovrchové poškození detekovat.

Obr.1. Příklad poškození v 1. fázi, normálně na povrchu dráhy neviditelné.



3.2 Fáze 2

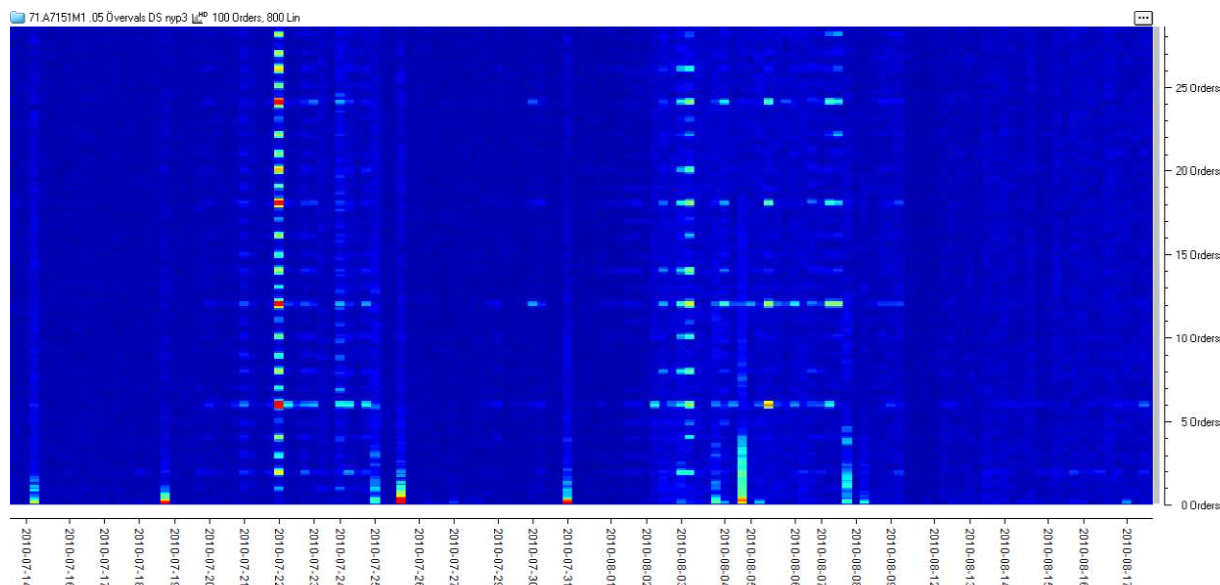
Podpovrchové nedokonalosti budou narůstat, až eventuálně dosáhnou povrchu valivé dráhy a vytvoří spalling, praskliny a volné šupinky (či podobná poškození). Poškození v této fázi jsou ještě malá, ale občas již může dojít ke kontaktu kov-kov mezi ostrými hranami vady a valivými elementy. Je-li dopad dostatečně silný, energie může způsobit, že konstrukce ložiska „zazvoní“ na své vlastní frekvenci.

V této fázi zbývá přibližně 5 – 10% zbytkové životnosti L10.

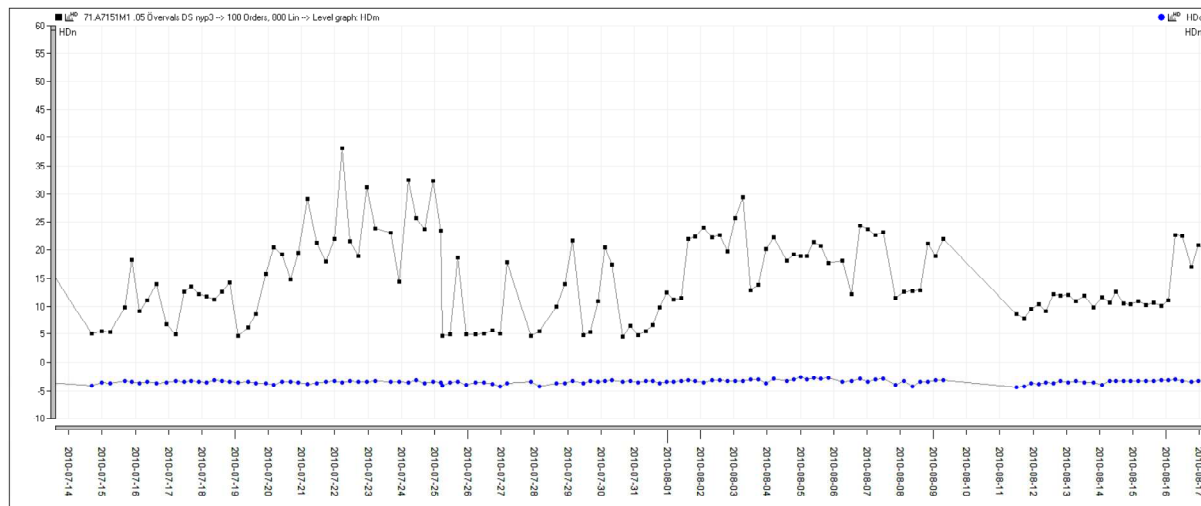
SPM metoda obvykle ukazuje zvýšené hodnoty HDm a spektrální symptomy. V nepravidelném intervalu se ozývá silný, velmi jasný a zřetelný ložiskový signál trvající pouze krátký čas. V této fázi je poškození povrchu velmi malé a ostré hrany okolo vady se velmi rychle otupí (rozválcují). Typický vzorek rázových pulsů (HDm hodnota) je zřetelně zvýšený a spektrální symptomy mohou být viditelné pouze po krátký čas. Zaznamenali jsme několik případů velmi jasného a výrazného signálu z vnějšího kroužku s bohatým obsahem harmonických násobků a HDm hodnotami zvýšenými o 10 – 20 dB oproti normálu, které trvaly pouze den či dva a poté zmizely. Toto je typické chování velmi rané fáze malého poškození povrchu. Je-li ložisko vyměněno zejména na počátku fáze 2, najdeme pouze velmi malé, sotva viditelné vady.

Ve fázi 2 lze pro detekci použít obálku vibrací s vhodně nastaveným filtrem. Rychlost vibrací stále neukáže jakékoliv jasné signály, zrychlení může reagovat zvýšenými hodnotami po krátký časový interval.

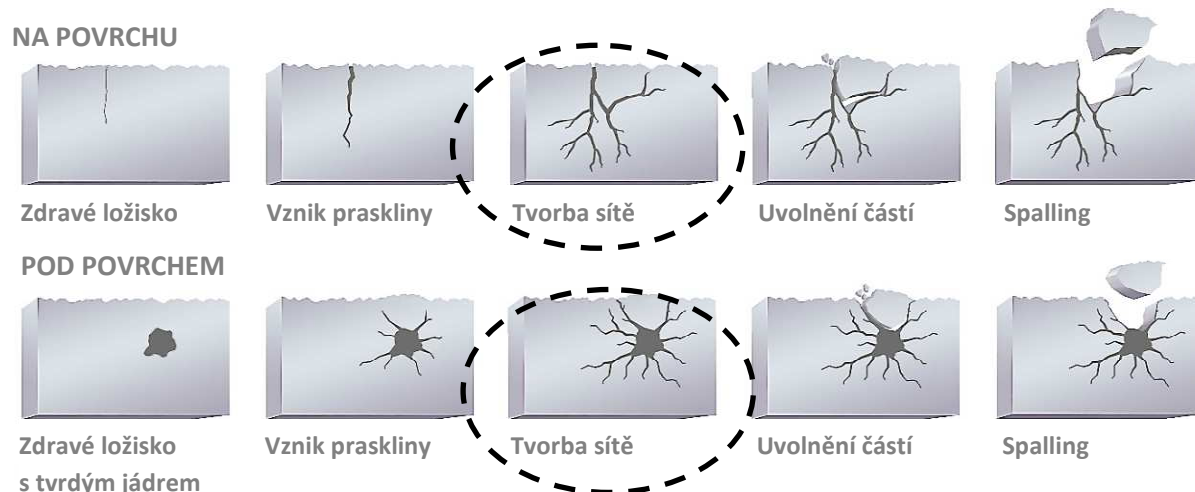
Obr. 2. Barevné přehledové spektrum ukazuje signál vnějšího kroužku, který trvá jen pár hodin. Příklad poškození ve 2. fázi; velmi malé poškození s ostrými hranami, které se rychle otupí.



Obr. 3. Odpovídající graf, který ukazuje hrubé maximální hodnoty HDm. Všimněte si krátkého trvání vysokých HDm hodnot.



Obr. 4. Fáze 2 poškození ložiska, při prohlídce sotva viditelné vady.



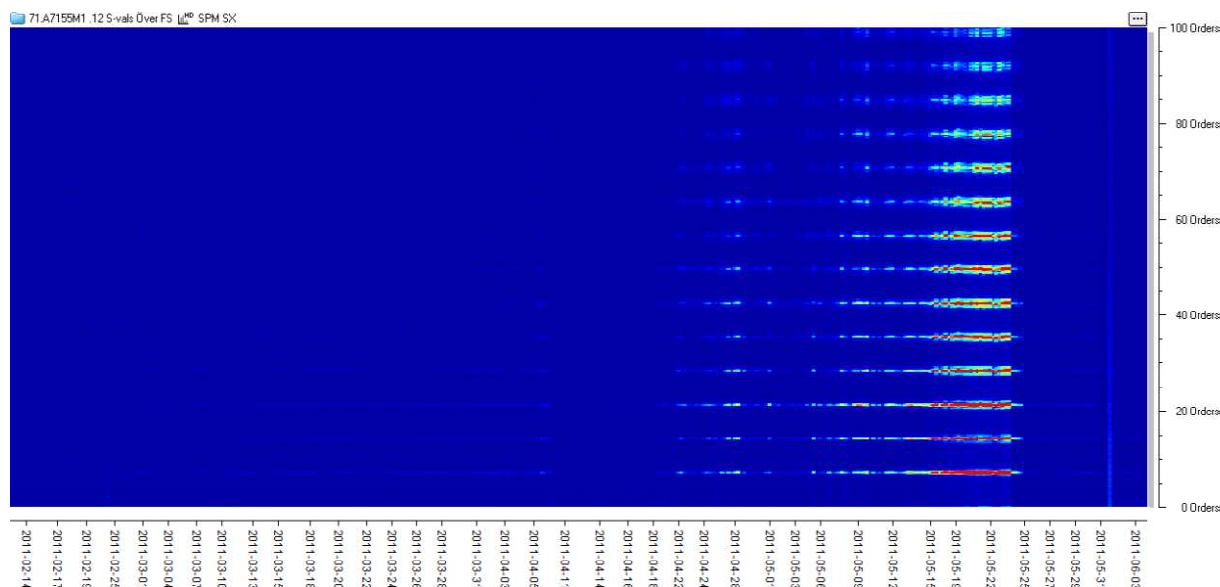
3.3 Fáze 3

Poškození povrchu je nyní zřetelnější. Lze nalézt několik oblastí se spallingem a jiným poškozením povrchu. Zbytková životnost je méně než 5% hodnoty L10. **Toto je optimální okamžik pro výměnu ložiska.**

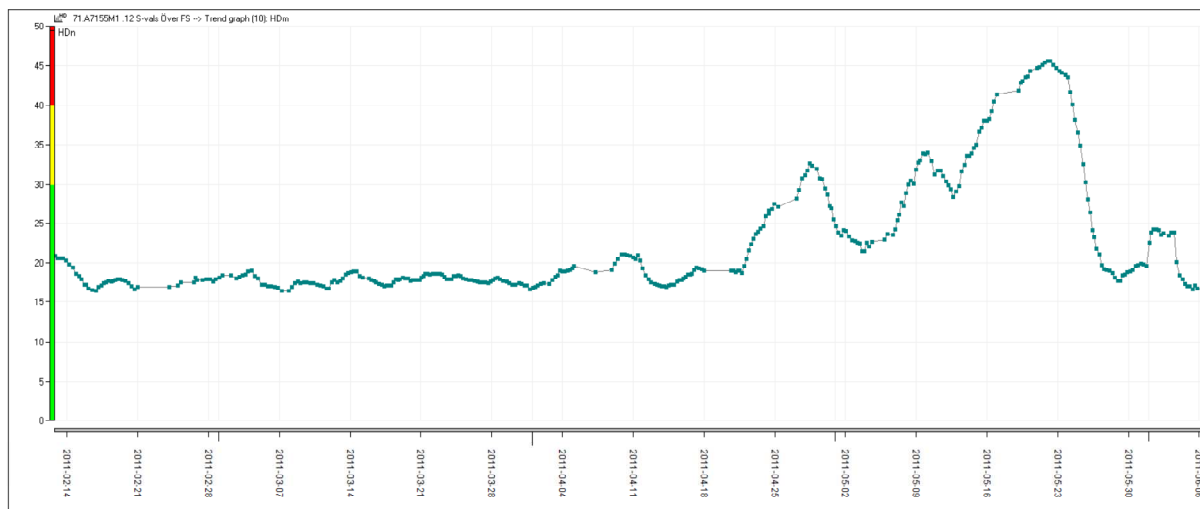
Ložiskové hodnoty vykazují delší období s vysokou úrovní rázů a klasický nárůst trendu, který je následován poklesem úrovně. K odhalení, zdali se v ložisku rozvíjí proces poškození lze s výhodou použít funkci „Barevné přehledové spektrum“. V závislosti na zatížení, rotační rychlosti, teplotě a dalších parametrech aplikace může toto období trvat mnoho dnů či týdnů a poté je následováno pomalým případně náhlým poklesem úrovně rázů. Pomalý pokles úrovně značí otupení – rozválcování hran, zatímco náhlý pokles úrovně představuje vytržení kovových částí z valivé dráhy.

Suma rychlosti vibrací začíná ve fázi 3 vzrůstat, stále je ještě užitečný i trend zrychlení. Obálka zrychlení se projevuje podobně jako metoda SPM - s nárůstem/poklesem trendu.

Obr. 5. Příklad ložiska ve fázi 3 s klasickým nárůstem amplitudy vnějšího kroužku trvajícím několik týdnů. Náhlý pokles symptomu vnějšího kroužku představuje vytržení kovových částí z valivé dráhy.



Obr. 6. Odpovídající trend HDm; dobře viditelný postupný vzestup trendu hodnot (použit plovoucí průměr).



Obr. 7. Fáze 3 poškození, při prohlídce je viditelné zřetelné poškození.

NA POVRCHU



Zdravé ložisko



Vznik praskliny



Tvorba sítě



Uvolnění částí

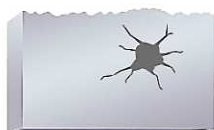


Spalling

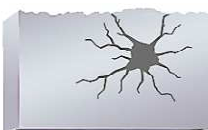
POD POVRCHEM



Zdravé ložisko
s tvrdým jádrem



Vznik praskliny



Tvorba sítě



Uvolnění částí



Spalling

3.4 Fáze 4

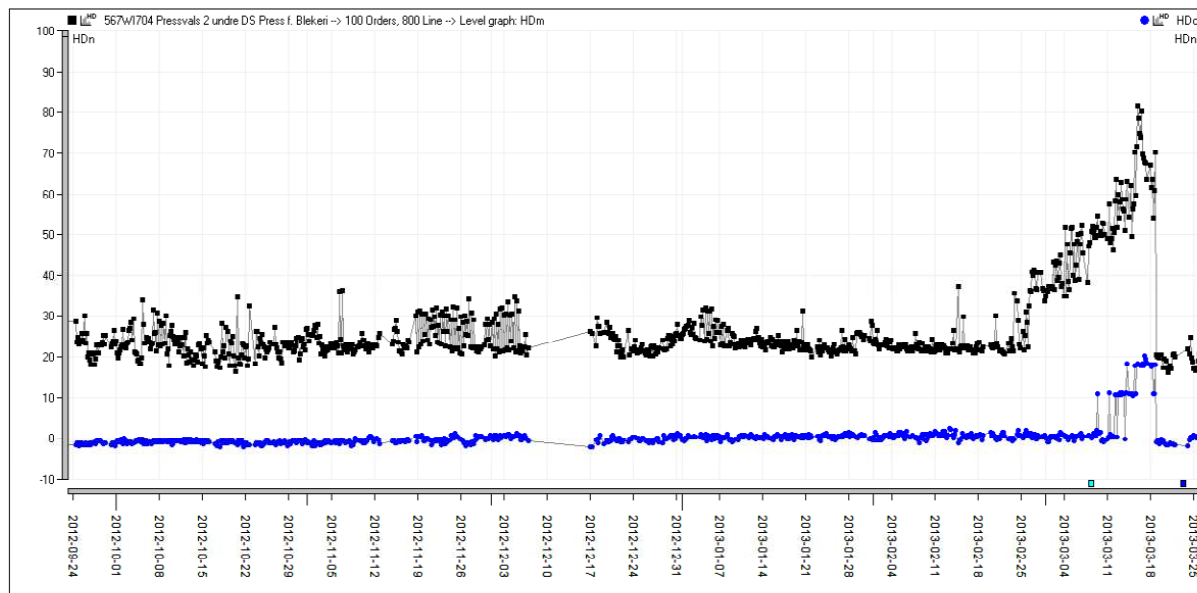
Ložisko je nyní silně poškozeno. Povrchová poškození lze nalézt v několika oblastech, na vnějším kroužku, vnitřním kroužku, i na valivých elementech. Zbytková životnost je nižší než 1% katalogové hodnoty L10.

Existuje velmi vysoké riziko totální havárie ložiska. Ostré hrany okolo povrchových poškození, která se vytvořila ve fázi 3, jsou nyní rozválcované a tvoří „kulaté hrany“. V ložisku mohou být uvolněné kovové částičky, které se občas přilepí k dráze a způsobí náhodně vysoké rázy.

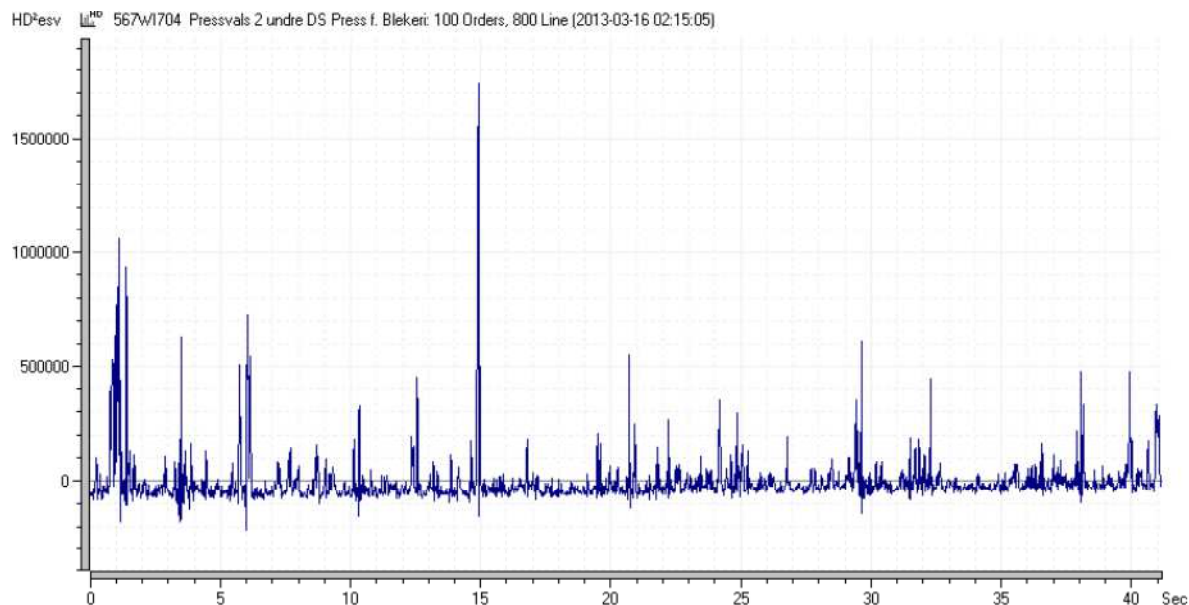
Hodnoty rázových pulsů v této fázi mohou poklesnout. Z důvodu „kulatých“ hran je počet kontaktů kov-kov nižší, takže hodnota rázů může být nízká. Obálka vibrací i trend zrychlení vykazují obdobný trend, zatímco hodnota rychlosti vibrací narůstá. V této fázi bude narůstající vůle v ložisku tvořit frekvenční složku 1x, jejíž amplituda narůstá.

Na koni fáze 4, krátce před kompletním selháním ložiska, může trend rázových pulsů – podobně jako obálka vibrací – narůst zcela dramaticky. To je způsobeno většími kovovými částicemi či prasklinami na valivých drahách, které způsobí náhodné silné rázy.

Obr. 8. Graf HDm zobrazuje ložisko ve fázi 4 s relativně nízkými hodnotami a prudkým nárůstem těsně před kompletní havárií ložiska. Všimněme si, že nejvyšší HDm hodnota je 80 dB (normalizovaných). Rozdíl mezinormální úrovní 20 dB a max. úrovní 80 dB je 60dB, což na lineární stupnici představuje 1000 násobný nárůst hodnot!



Obr. 9. SPM HD časový signál při hodnotě $HDm = 79$ dB. Náhodné vysoké hodnoty indikují uvolněné kovové částice uvnitř ložiska.



4 Závěr

Pro správnou interpretaci měření rázových pulsů je nezbytné rozumět procesu vývoje poškození ložiska. *Rázové pulsy jsou způsobeny mechanickými nárazy a podstata těchto nárazů se mění v závislosti na tom, v jaké fázi opotřebení ložisko je.*

Obecně - SPM metoda – speciálně ve verzi HD je velmi dobrou technikou pro zjišťování vad ložisek v rané fázi vývoje. Pokrývá široký rozsah otáček, od ultra nízkých (<1 ot/min) až po 20 000 ot/min. Citlivost metody však může navodit situaci, kdy – vycházející z jasných ložiskových symptomů ve spektru – ložisko je vyměněno příliš brzy. Ložisko vyměněné ve fázi 1 nebo 2 má pouze podpovrchové poškození nebo sotva viditelné stopy na valivých drahách.

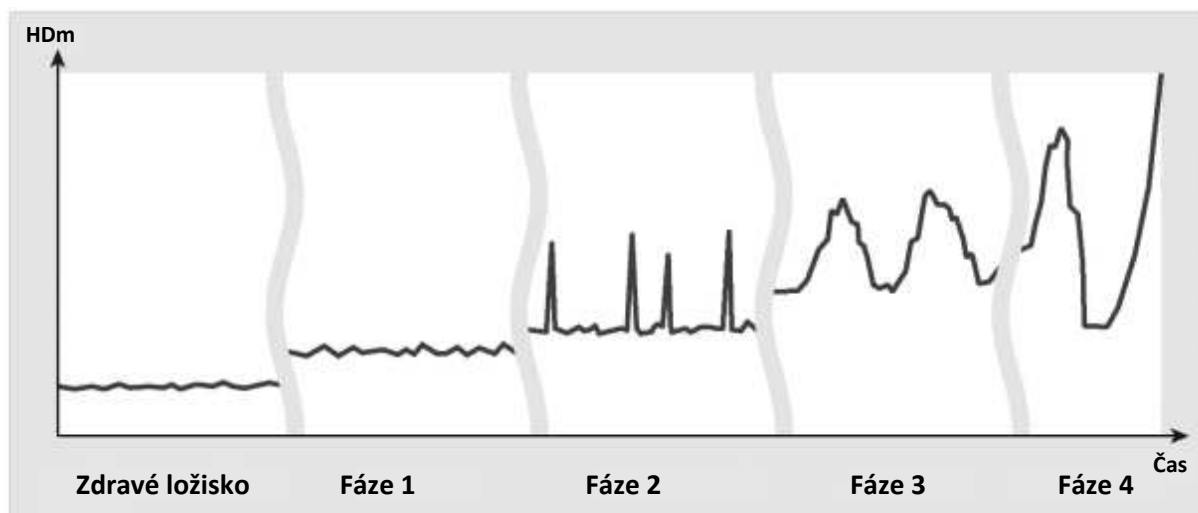
Ostatní obálkové techniky (jako obálka vibrací nebo PeakVue) může rovněž reagovat poměrně časně, zatímco hodnoty rychlosti vibrací v této fázi neukazují prakticky žádnou změnu.

Později ve fázi 4, kdy většina ostrých hran je již rozválcována, může být hodnota rázových pulsů nízká, což může vést k chybnému závěru, že stav ložiska je dobrý. Stejně chování je viditelné pro ostatní obálkové metody. Náhodné silné pulsy v časovém záznamu jsou však jasným znakem 4. fáze procesu poškození.

I když je ložisko v perfektním stavu a dobře mazané, jsou generovány malé rázové pulsy v místě rozhraní materiálu valivých elementů a drah. Tyto rázy jsou velmi závislé na stavu mazání. SPM metoda je dobrý nástroj pro určení provozního stavu ložiska. Před tím, než se objeví jakékoliv poškození ložiska, může být HDc parametr trendován a analyzován s cílem předcházet poškození ložisek.

Standardní parametr rychlost vibrací je příliš málo citlivý pro zachycení vady ložiska; trend může narůst až na konci 3 nebo ve 4 fázi, což poskytuje příliš krátkou dobu varování.

Obr. 10. Typický trend rázových pulsů během, čtyř fází vývoje poškození.



Několik příkladů z reálného provozu demonstrujících rizika při hodnocení stavu ložiska:

1. Na stroji s poměrně starými ložisky byly měřeny hodnoty SPM HD. Hodnota HDm byla nízká, ale SPM HD spektrum ukazovalo jasný symptom s jasnými harmonickými násobky. Ložisko bylo vyměněno, avšak nebylo nalezeno žádné viditelné poškození. Zákazník nebyl spokojen s měřením s tím, že metoda generovala „fantomové“ měření. Toto je příklad ložiska ve fázi 1 nebo v počátku fáze 2.
2. Na nově instalovaném on-line systému byly trendovány hodnoty SPM HD. Hodnoty HDm byly většinou nízké a SPM HD spektrum neukazovalo žádný jasný ložiskový symptom. Ložiska byla v minulosti provozována několik let s několika náhodnými vadami. Na jednom měřicím bodu byly viditelné náhodně velmi vysoké hodnoty HDm, přičemž spektrum obsahovalo „šum“. Mezi těmito vysokými hodnotami byl trend stabilní a nízký. Náhle trend HDm vzrostl o 60 dB (1000x !!!) a ložisko během několika dnů havarovalo. Zákazník namítal, že metoda neposkytuje dostatečnou dobu varování. Toto je příklad ložiska na konci fáze 4.

-
3. Ložisko na pomaloběžném stroji bylo měřeno ručním přístrojem metodou SPM HD s četností 1x měsíčně. Hodnoty HDm byly nízké a v spektru nebyl rozpoznatelný žádný ložiskový symptom. To je příklad ložiska v 2. fázi poškození, kdy se malá poškození objevila v době mezi dvěma měřeními. Ostré hrany se během pár týdnů rozválcovaly a tak se mohlo stát, že při měsíčním ručním měření nebyla zjištěna žádná poškození. On-line systém by měl vývoj vady zachytit.

5 Užitečné odkazy

Velmi dobrá informace od „Mobius Institute“ popisující čtyři fáze vývoje poškození do detailu:
<http://www.mobiusinstitute.com/articles.aspx?id=2088>

Další užitečný článek na stránkách „reliabilityweb.com“ mimo jiného popisující čtyři ložiskové fáze:
http://reliabilityweb.com/index.php/articles/vibration_analysis_reporting_-_bearing_failure_stages_responses/