

Úvod

Včasné odhalení rozvoje poruchy kovacího lisu mnohdy závisí na upozornění zkušeného pracovníka údržby. Ten je ve většině případů schopen pomoci sluchu detekovat hluk vzniklý zvýšenými vibracemi při rozvoji poruchy některé z komponent. Tento způsob diagnostiky stavu stroje však není příliš efektivní. Lidské ucho má určitá omezení a zkušených pracovníků údržby ubývá. Proto je využíváno nástrojů technické diagnostiky, které umožňují detailně monitorovat technický stav lisu. Využitím vhodné technologie technické diagnostiky společně s dobře nastavenými procesy údržby je možné provádět prediktivní údržbu [1].

Prediktivní údržba je způsobem proaktivní údržby, při které je údržba stroje prováděna na základě reálného stavu zařízení. Na rozdíl od údržby preventivní, při které je údržba prováděna většinou v intervalech stanovených výrobcem zařízení nebo zkušeností údržby, je tak možné dosáhnout značných časových a finančních úspor [1].

Výzkumy ukazují, že prediktivní údržba může obecně snížit počet poruch o 70 % a snížit náklady na údržbu až o 12 % [2]. Jak je to však s prediktivní údržbou kovacích lisů?

Prediktivní údržba kovacích lisů

Kovací lisy patří mezi nejkritičtější zařízení každé kovárny. S ohledem na rozměry kritických komponent jejich selhání vede k pracné a nákladné opravě. V praxi je nejčastěji využíváno technické diagnostiky pro sledování technického stavu (kondice) rotačních komponent pohonů mechanických klikových kovacích lisů. Kondice je sledována zejména u ložisek hlavního motoru, ložisek řemenice, ložisek předlohové hřídele, ale také ložisek spojky a brzdy. Například porucha ložiska předlohové hřídele může vést k poškození samotné hřídele, ložiskových domků a dalších komponent stroje a způsobit tak poškození stroje, jehož oprava může stát až vyšší statisíce korun a způsobit až několikadenní zastavení výroby.

Sledování technického stavu stroje je nejčastěji prováděno následujícími způsoby:

- poslechem zkušeného technika údržby,
- měřením teploty,
- vibrační analýzou.

Velké množství kováren se spoléhá na první zmíněný způsob. Je zřejmé, že tato metoda je limitována schopností lidského ucha. I přes to, že při dostatku zkušeností lze samotným poslechem identifikovat nestandardní chod stroje, není možné přesně a včasné lokalizovat vzniklý problém. S ohledem na současný stav trhu práce v kovárnách zároveň ubývají pracovníci, kteří touto schopností disponují.

Nejrozšířenější metodou je sledování teploty. Většina kovacích lisů je již od výrobce vybavena senzory teploty, které měří teplotu ložiska. Zvýšení teploty ložiska indikuje zhoršení technického stavu ložiska, ke kterému dojde například nedostatečným mazáním či prokluzem valivých tělísek. Teploty jsou vyčítány operátorem a údržbou z ovládacího panelu stroje. Při zjištění zvýšení teploty probíhá vizuální inspekce samotného ložiska a mazacího systému. Při menším vzrůstu teploty je tato kontrola prováděna po ukončení dané výrobní dávky. V případě výrazného vzrůstu teploty je stroj odstaven ihned.

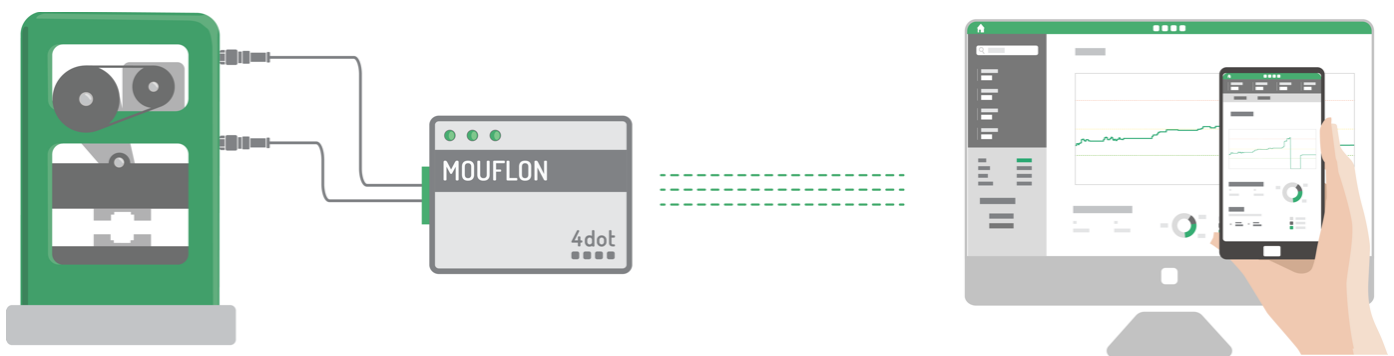
Sledování technického stavu ložisek pomocí teploty má však určitá omezení. V reálném provozu může kolísající teplota okolního prostředí lisu negativně ovlivňovat schopnost určit absolutní kondici ložiska. K samotnému zvýšení teploty ložiska pak dochází v případě nedostatečného mazání při poruše mazacího systému, prokluzu valivých tělísek nebo při únavovém poškození ložiska (například při pittingu). I přes to, že jsou mazací systémy vybaveny kontrolou funkčnosti, může dojít k ucpání přívodu maziva přímo u ložiska, což systém ihned nerozpozná. Hlavním omezením metody sledování teploty je fakt, že ke zvýšení teploty dochází až v poslední fázi poruchy ložiska. Ačkoliv se tedy jedná o nejvíce rozšířenou metodu, měření teploty ložisek neumožňuje identifikovat veškeré poruchové stavy pohonu lisu. Nejvhodnější metodou je měření a následná analýza vibrací.

Vibrační analýza ložisek kovárenských lisů

Analýza vibrací stroje (vibrodiagnostika) je dnes pravděpodobně nejvýznamnějším a nejprogresivnějším oborem technické diagnostiky. Může najít své uplatnění na celé řadě rotačních, ale také nerotačních uzlů stroje, které při svém chodu vykazují mechanické chvění neboli vibrace. Systémy technické diagnostiky využívající vibrodiagnostiku se dělí na dvě základní skupiny. První tvoří pochůzkové systémy, tzv. offline systémy. Tou druhou jsou systémy permanentně instalovány na stroji, tzv. online systémy (označení online nutně nemusí znamenat připojení k internetové síti).

Pochůzkovými systémy jsou v různých časových intervalech prováděna jednorázová měření. Nelze tak detailně sledovat trendy hodnot v čase pro určení kondice ložiska a jeho zbytkové životnosti. Offline systémy navíc vyžadují obsluhu kvalifikovaným odborníkem, který umí naměřená data relevantně zpracovat a vyhodnotit v příslušném software programu.

S ohledem na rostoucí požadavky na automatizaci jsou čím dál častěji využívány online systémy. V tomto případě jsou data sbírána nepřetržitě pro vyhodnocení trendů vibrací a podrobnější analýzu. Naměřená data jsou zpracovávána na lokálním počítači nebo na vzdáleném serveru (cloudu). Výhodou cloudového řešení je vyšší výpočetní výkon potřebný pro zpracování velkého objemu dat z měření na složitých zařízeních, jako jsou například kovací lisy.



Obrázek 1 Schéma fungování online diagnostického systému 4dot. Diagnostická jednotka sbírá data ze senzorů na stroji a posílá na zpracování na vzdálený server. Výstupy je pak možné sledovat v reálném čase v online aplikaci 4dot.

Je nutné říci, že neexistuje jeden předepsaný způsob provádění technické vibrodiagnostiky, který by s jistotou dokázal určit a identifikovat problém, jeho naléhavost a tím i určit přesný stav stroje. Data mohou být analyzována ve frekvenční nebo časové oblasti. Základních typů analýz, které dokážou detekovat poruchu (změnu technického stavu) rotačních částí stroje existuje celá řada. Jsou jimi například obálková metoda, Peak Value, Crest Factor, efektivní hodnota vibrací v různých frekvenčních pásmech a další. Každý dodavatel systému technické diagnostiky poté vsází na vlastní způsob, který je kombinací a modifikací zmíněných metod. To je závislé především na typu aplikace a provozních podmínkách [4].

Technická diagnostika ložisek kovacích lisů je názorným příkladem zcela typických provozních podmínek, na které jsou běžné metody vibrační diagnostiky krátké. Důvodem jsou především velké rázy způsobené procesem kování, záběrem brzdy a spojky, často vysokými vibracemi způsobenými provozem okolních strojů (nízké SNR – signal to noise ratio). Specifickou kategorií, do které kovací lisy patří, jsou také nízké provozní otáčky ložisek, které diagnostiku ložisek výrazně stěžují. Určení kondice ložisek nebo její změny je v těchto podmínkách vysoce obtížným úkolem.

Je to tedy vůbec možné? Odpověď je ano. Je k tomu nicméně zapotřebí kombinace správně zvoleného hardware, metodiky nastavení analýz vyvinutých pro daný typ stroje a jeho provozní podmínky a způsob jejich vyhodnocování. Měřicí hardware se skládá ze senzorů, kabeláže a diagnostické jednotky (sběrnice dat, výpočetního zařízení) tak jak je uvedeno na obrázku 1.

Jak je patrné z rovnice 1, mechanické chvění je možné snímat třemi typy senzorů, a to senzorem vzdálenosti (výchyly), rychlosti a zrychlení [5].

$$my'' + by' + ky = F_b = Mx'' \quad (\text{rovnice 1})$$

Kde:

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| y – výchylka | M – hmotnost objektu |
| y' – rychlost | k – tuhost pružiny |
| y'' – zrychlení | b – součinitel tlumení |
| x'' – zrychlení objektu | F_b – budící síla |

Vhodnou volbou parametrů m , b , a k lze vytvořit kterýkoliv z těchto snímačů. Který je ale pro účely vibrační diagnostiky nejvhodnější? Senzory vzdálenosti nemají potřebnou citlivost a rozsah měření, a pokud ano, jsou velice nákladné a nejsou vhodné do kovárenského prostředí. Senzory rychlosti jsou dnes ještě hojně využívány, jelikož k nim existuje celá řada norem pro vyhodnocování vibrací v časové oblasti. Indukční senzory rychlosti mají nízkou vlastní frekvenci (do 10 Hz) a rozsah měření do 3,5 kHz, což není pro určení kondice valivých ložisek často dostačující. Dalším, často používaným, typem senzoru rychlosti je senzor, který měří zrychlení, které je následnou integrací převáděno na rychlost. Jedná se tedy o jakýsi pseudo senzor rychlosti. Numerická integrace však často signál zkresluje a pro měření na kováčích strojích je tedy nevhodný (vysoký procesní a ostatní šum). Nejvhodnější volbou jsou tedy senzory zrychlení neboli akcelerometry (nejčastěji IEPE akcelerometry). Ty disponují vysokou citlivostí, rozsahem měření, a navíc mají vlastní frekvenci kolem 30 kHz, což je frekvence, na které se výrazně projevují poruchy valivých ložisek. Vlastní frekvence však kolísá v závislosti na konstrukci snímače a jeho připevnění k měřenému povrchu [3] [5].



Obrázek 2 Jednoosý piezoelektrický akcelerometr s vestavěnou elektronikou (IEPE) vhodný pro použití na kováčích lisech.

Senzory vibrací jsou instalovány v nejbližší možné vzdálenosti od sledovaného ložiska, většinou do ložiskového domku. Senzory jsou u kovárenských strojů připevněny šroubovým spojením. Pomocí citlivých senzorů lze měřit i ložiska u kterých nelze instalovat senzory do bezprostřední vzdálenosti. Vhodnými analýzami tak lze sledovat i kondici ložisek brzdy a spojky, ale také opotřebení třecích lamel.

Sběrnice dat (diagnostická jednotka) používaná v monitorovacím systému 4dot je zařízení s real-time operačním systémem a vlastním, rozšiřitelným úložištěm. K jednotce se připojují moduly s různými periferiemi pro zpracování signálů a konektivitu. Tyto moduly jsou propojeny se samotnou real-time aplikací pomocí vestavěného FPGA (programovatelné hradlové pole).

Zmíněná modularita a zároveň konstrukce vhodná pro nasazení v náročném prostředí výrobních hal jsou hlavními klady systému 4dot v souvislosti s monitoringem ložisek. Data jsou v krátkých časových intervalech odesílána do cloudu, kde probíhá jejich detailní zpracování zvolenými analýzami, které mohou být podle potřeby zpětně přidávány nebo upravovány.

4dot využívá MUSA (MULTI Sensor Analysis) analýzy, které byly vyvinuty jak pro diagnostiku ložisek, tak i pro monitoring tvářecí částí stroje v reálném čase (sledování vůlí ve vedení beranu, identifikace prasknutí upínacích

šroubů, proces monitoring apod.). Tyto analýzy sofistikovaně využívají data z více senzorů. Na ochranu technologie MUSA byly podány patentové přihlášky. Právě správné využití dat z více senzorů umožňuje oddělení procesních dat a šumu od dat (vibrací) nesoucí informaci o stavu ložiska, ale i dalších komponent.

Dalším rozvojem technologie je využití umělé inteligence (AI – Artificial Intelligence). Ta umožní včasnější a přesnější detekci anomálií v chodu stroje a tím zvýší efektivitu monitoringu kovací lisů. 4dot v současnosti pracuje na vývoji umělé inteligence pro monitoring strojů s Fakultou informačních technologií VUT Brno.

Monitoring 4dot v MSV Metal Studénka

Monitorovací systém 4dot je od roku 2017 instalován například na stroji Šmeral LMZ 2500 v kovárně MSV Metal Studénka. Požadavkem bylo nepřetržité sledování stavu obou valivých ložisek předlohy, valivého ložiska motoru a kluzných ložisek brzdy a spojky.

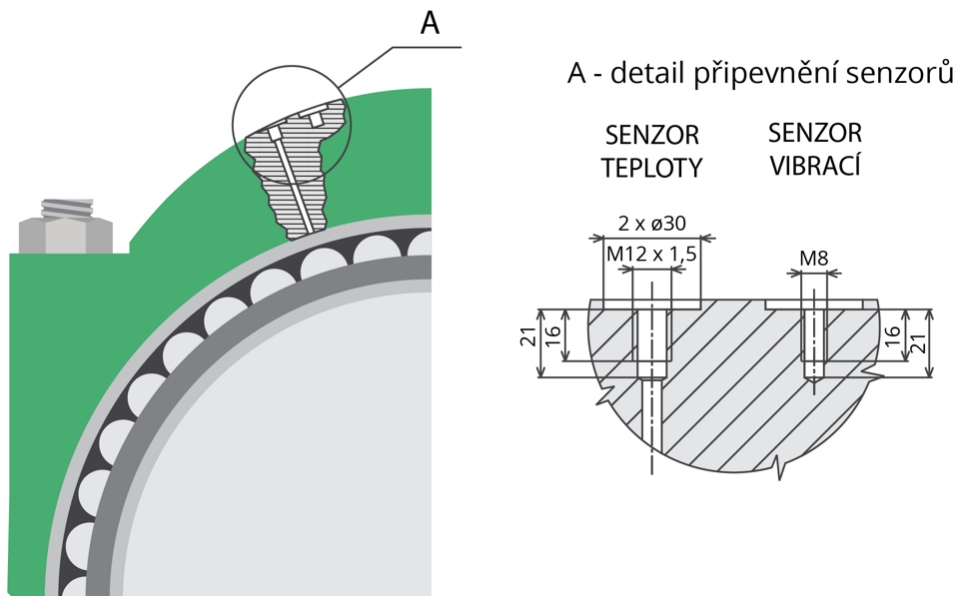


Obrázek 3 Na lisu LMZ 2500 jsou kovány různé druhy výkovků. Zároveň jsou v okolí lisu další kovací lisy, které ovlivňují vibrace samotného stroje, a tím i sledování kondice ložisek lisu.

Stroj byl pro tyto účely osazen diagnostickou jednotkou Mouflon Li486, která umožňuje připojit a paralelně měřit data ze šesti piezoelektrických akcelerometrů a osmi odporových senzorů teploty. Na jednotce probíhá pouze sběr a preprocesing (dílčí zpracování) měřených dat, které jsou dále posílány přes internetovou síť na server 4dot, kde jsou tato data v reálném čase zpracována, vyhodnocena a zobrazena ve webové aplikaci 4dot.

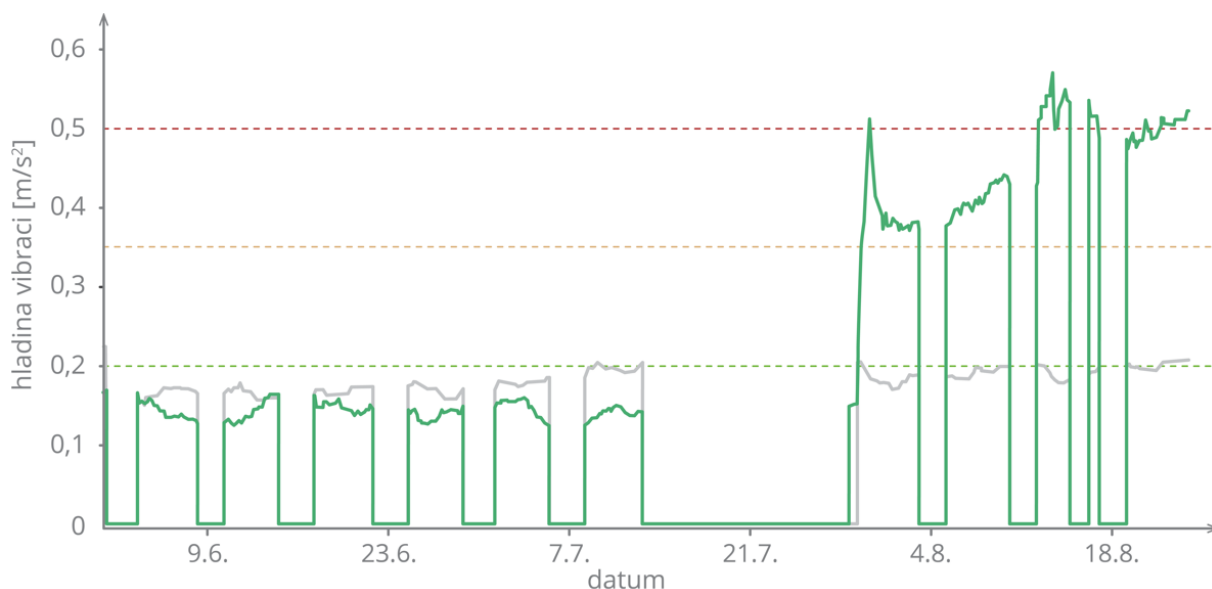
Při překročení nastavených limitů systém automaticky zašle upozornění o překročení těchto limit jak zákazníkovi, tak technikovi 4dot. Pokud není překročena limita značí vysokou pravděpodobnost poruchy ložiska, data jsou technikem 4dot detailně validována, aby nedocházelo k falešným poplachům a zbytečným odstávkám stroje. Technik také poskytuje technickou podporu při lokalizaci případné poruchy a provádí důkladnou analýzu samotné příčiny.

Sledování ložisek senzory vibrací bylo v tomto případě doplněno o senzory teploty pro lepší identifikaci určitých poruchových stavů. Tyto senzory jsou umístěny v předem připravených přípojných bodech v místě co nejbližší měřenému uzlu – na domku ložiska předlohové hřídele. Příklad úpravy domku pro instalaci senzoru vibrací a teploty je schematicky znázorněn na obrázku 4. Instalaci diagnostického systému 4dot je většinou možné provést během jednodenní odstávky. Během této doby jsou provedeny mechanické úpravy pro upevnění senzorů, rozvedena kabeláž a nainstalována diagnostická jednotka do rozvaděče stroje.



Obrázek 4 Sensory vibrací jsou našroubovány do připravených závitových děr M8. Lis LMZ 2500 byl také dovybaven senzory teploty pro přesnější identifikaci různých poruchových stavů.

Od počátku monitoringu v roce 2017 bylo díky dobře nastaveným procesům a komunikaci mezi 4dot a pracovníky údržby MSV Metal Studénka odhaleno několik rozvíjejících se poruch ložisek. Tak bylo vždy možné provést včasný servisní zásah a tím eliminovat rozsáhlejší poškození stroje a s tím spjaté náklady. Složitost monitoringu valivých ložisek kovacích strojů je demonstrována na grafu 1, který porovnává výstupy konvenční analýzy a výstupy při použití MUSA analýz 4dot.



Graf 1 Křivky kondice ložiska při použití MUSA analýzy 4dot (zelená) a obálkové metody (šedá). Čárkovaně jsou naznačeny nastavené limity – zelená (dobrý stav), oranžová (bdělost) a červená (riziko poruchy).

Z grafu je patrné, že při použití MUSA analýzy 4dot došlo 27.8.2019 k výraznému zvýšení hodnot na ložisku motoru (zelená křivka), konvenční obálkovou metodou tento nárůst není patrný (šedá křivka). Po validaci dat byla techniky 4dot doporučena kontrola ložiska, kde byla zjištěna závada mazání ložiska. Stupeň poškození ložiska byl vyhodnocen jako významný a ložisko bylo vyměněno a mazání opraveno.

Na ložisku se však dají sledovat i dlouhodobé trendy, které indikují zhoršující se stav díky postupnému opotřebování (pitting). Na jejich základě je možné dlouhodobé plánování servisních zásahů tak, aby neohrozili výrobní plán stroje. Příklad grafu s postupným opotřebováním je zobrazen na grafu 2.



Graf 2 Křivka sledující kondici ložiska předlohy, nastavené limity – zelená (dobrý stav), oranžová (bdělost) a červená (riziko poruchy), šedá křivka je aproximací křivky kondice ložiska pro odhad zbytkové životnosti ložiska.

Při překročení první limity (zelená) je možné data aproximovat křivkou, která se protáhne až po limitu, při jejíž překročení hrozí riziko poruchy stroje (červená). Takto je možné odhadnout zbytkovou životnost ložiska a naplánovat tak termín výměny ložiska. Při překročení oranžové limity je doporučeno zvýšené sledování ložiska.

Výstupy monitoringu jsou dostupné ve webové aplikaci 4dot, která umožňuje sledovat jednotlivé parametry v reálném čase. Aplikace také umožňuje přístup k historii dat, přiřazovat k datům poznámky, správu uživatelů a mnoho dalšího.

Závěr

Nepřetržité sledování technického stavu ložisek kovacích lisů pomocí vibrodiagnostiky umožňuje včasnou identifikaci vzniku poruchy ložiska a tím eliminaci poškození ostatních komponent lisu. I přes technickou náročnost analýzy dat vibrací z pomaloběžných ložisek kovacích lisů je tato metoda oproti ostatním používaným metodám jak časově, funkčně a tím i nákladově nejefektivnější.

- [1] Legát, Václav a kol. Management a inženýrství výroby. Praha: Professional Publishing, 2016. ISBN 978-80-7431-163-5.
- [2] Mobley, Keith R. An Introduction to Predictive Maintenance. s.l.: Butterworth-Heinemann, 2002. SBN 0-7506-7531-4.
- [3] PCB Piezotronics. Model 603C01 Platinum Low-cost Industrial ICP® Accelerometer Installation and Operating Manual. [Online] 2019. https://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/IMI/Products/Manuals/603C01.pdf
- [4] KREIDL, M. – ŠMÍD, R.: Technická diagnostika. BEN – technická literatura, Praha, 2006, 408 s., ISBN 80-7300-158-6.
- [5] ZUTH, D. – VDOLČEK, F.: Měření vibrací ve vibrodiagnostice. Automa, 2010, roč. 16, č. 1, s. 32-36, ISSN 1210-9592