

Pásové dopravníky a technická diagnostika

Ing. Vlastimil Moni¹, Ing. Petr Klouda¹, doc. Ing. František Helebrant²

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. Most, moni@vuhu.cz

²VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, frantisek.helebrant@vsb.cz

Přijato: 30. 7. 2010, recenzováno: 2. 9. a 7. 9. 2010

Abstrakt

Konečným cílem projektu MPO FR-TI1/537 „Komplexní diagnostický systém pro pásovou dopravu“ je kusová zakázková výroba a prodej komplexního diagnostického systému pro pásovou dopravu a s tím související poskytování navazujících služeb. Výstupem projektu je prototyp diagnostického systému na modelovém pásovém dopravníku a vypracované, certifikované diagnostické služby.

Belt conveyors and technical diagnostics

The final aim of the project MPO FR-TI1/537 called „The Complex Diagnostic System for the Belt Transport“ is a single part custom manufacturing and sale of complex diagnostic system for belt transport and related services. The output of the project is a prototype of diagnostic system on a model belt conveyor and certified diagnostic services.

Bandförderer und technische Diagnostik

Das Endziel des Projektes MPO FR-TI1/537 „Das komplexe diagnostische System für Bandanlagen“ ist die Stückproduktion auf Auftrag und der Verkauf des komplexen diagnostischen Systems für den Bandtransport und anschließende Dienstleistungen. Der Projektoutput ist der Prototyp des diagnostischen Systems auf einem Modellbandförderer und ausgearbeitete, zertifizierte diagnostische Dienstleistungen.

Klíčová slova: pásový dopravník, provozní spolehlivost, technická diagnostika.

Keywords: belt conveyor, operational reliability, technical diagnostics.

1 Úvod

Jednou ze základních, společných charakteristik současného vývoje hospodářských technologických procesů je neustálé zvyšování jejich výkonnosti a provozní úspornosti. U řady těchto procesů tato snaha nutně naráží na klíčový článek – na prvek dopravy.

Energetická náročnost pásových dopravníků se většinou zvyšuje, aby se mohla zvyšovat jejich výkonnost. Zároveň jsou však kladený stále vyšší nároky na zabezpečení provozní spolehlivosti každého technologického procesu, tedy i pásové dopravy. Každá porucha totiž představuje snížení rentabilnosti procesu, a to buď přímo zvýšenými náklady na opravu nebo nepřímo nutností výrobě zabezpečit odstávku daného technologického celku.

Požadavky vyšší výkonnosti i hospodárnosti technologických procesů jsou spojeny s nutností dokonalého komplexního poznání jejich zákonitostí, většinou za použití systémově procesního přístupu k řešení jednotlivých detailů pásové dopravy. Technický pokrok pak přináší zlepšení jednotlivých parametrů pásové dopravy, které postupně naplňují ony základní požadavky. Technické řešení technologického zařízení se vždy střetává s nutností vyrovnat se s řadou faktorů, z hlediska samotného zařízení interních nebo externích, které mají statický charakter. Tento problém se historicky řešil zaváděním bezpečnostních koeficientů, jež vedly projektanty automaticky k předimenzování součástí a konstrukčních celků.

Je evidentní, že tento přístup je v určitém rozporu se základními požadavky současnosti. Toto poznání jde ruku v ruce s prudkým rozvojem technické diagnostiky. Inovace v oblasti čidel a diagnostické techniky je v posledních letech enormní.

Pravidelná diagnostika technologických zařízení umožňuje včasnu detekci a následnou eliminaci poruch, a to i těch, proti jejichž vlivu je projektované zařízení mnohdy chráněno volbou již zmíněných bezpečnostních koeficientů. Intenzita nasazení diagnostických metod se samozřejmě v jednotlivých průmyslových odvětvích značně liší.

Z těchto velmi stručně nastíněných důvodů se za účelem naplnění jak hlavního cíle, tak jednotlivých dílčích cílů, úmyslně uvedených v nezvykle rozsáhlé anotaci, spojili následující řešitelé a spoluřešitelé do pracovního týmu k řešení dané problematiky uvedeného grantového projektu. Nositelем grantového projektu je společnost VVV Most spol. s r.o. (oddělení výzkumu a vývoje), spoluorienteli pak VÚHU a.s. Most (oddělení technické diagnostiky), VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní (katedra výrobních strojů a konstruování) a UK v Praze, Matematicko fyzikální fakulta (katedra makromolekulární fyziky), jimiž je zajištěn systémově procesní přístup v řešitel-ském týmu. Tím se snažíme již v počátku řešit harmonizaci diagnostických metod do komplexního diagnostického systému optimalizovaného pro pásovou dopravu.

2 Současnost a výchozí premisy

Podíváme-li se v jednoduchém schématu na hodnotový tok jakékoliv výrobní společnosti, je jednoznačně zřejmé, že nástrojem zajištěnosti provozní spolehlivosti je údržba se svými prostředky (nástroji). Ke klíčovým pak samozřejmě patří nejen technická diagnostika, tribologie a tribotechnika, ale i demon-tážní a montážní postupy, informační technologie, riziková analýza a další nespecifikované nástroje [2]. Údržba je tedy nutným hodnotovým tokem, který je bezpodmínečně nutný pro hlavní hodnotový tok, tzn. řešíme "procesně technickou čin-

"nost" s jejími základními procesy. Každý správně vyprojektovaný a implementovaný systém údržby musí být postaven na "zásadě 3 P"

- PREVENTIVNOST (provedení v pravý čas - v předstihu)
- PROAKTIVNOST (hledání příčinnosti poruchy)
- PRODUKTIVNOST (je nedílnou součástí výroby, tzn. řešení produktivity)

Při hodnocení současného stavu používání diagnostických metod v oblasti pásové dopravy analyticky můžeme konstatovat:

- Existující diagnostické systémy měří většinou pouze jeden diagnostický parametr, tj. chybí multiparametrický přístup ke zvýšení jistoty rozhodování.
- Separátní diagnostická měření probíhají bez návaznosti na jiná diagnostická měření.
- Prováděná měření bývají jednorázová, chybí dlouhodobá měření využitelná k verifikovatelnosti dlouhodobých zátěžových a provozních podmínek.
- Jednorázovost měření nezaručuje možnost prognózování vývoje technického stavu jednotlivých částí i samotného technologického celku. Měření bývají mnohdy prováděna pouze s ohledem na zjištění souladu se stávající státní či podnikovou normou.

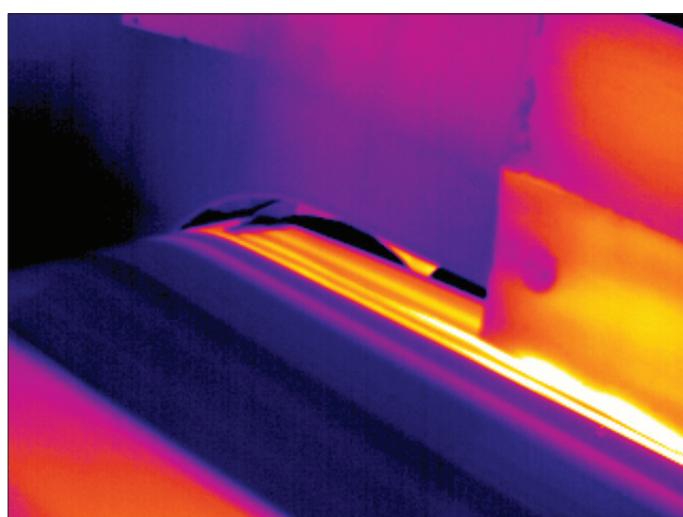
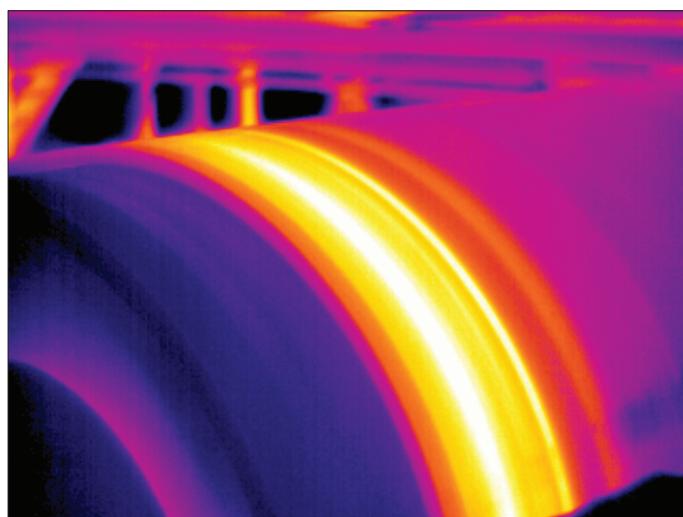
- Není známo komplexní měření souboru údajů v jedné časové doméně, aby bylo možné hledat souvislosti a souvztažnosti mezi nimi, a aby mohl být proveden výběr maximálně vypovídajících údajů pro řízení technologických procesů.
- Existující diagnostické systémy diagnostikují obvykle pouze část dopravního systému (např. pohonnou jednotku) a nezabývají se diagnostikou celého zařízení.

3 Vybrané návrhy na řešení dané problematiky

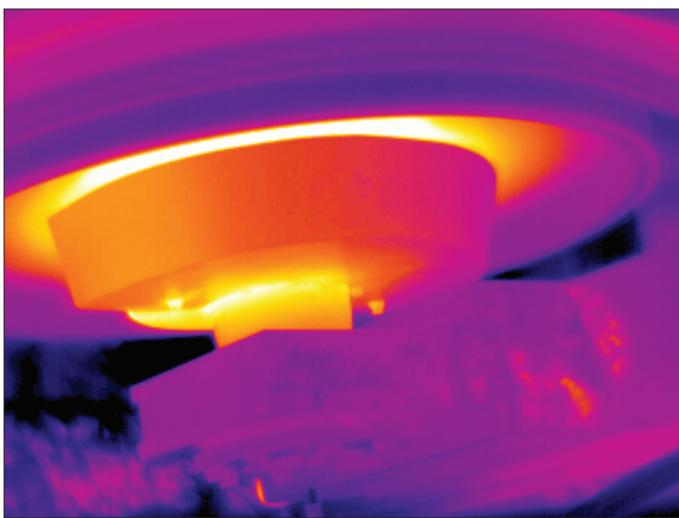
Rozhodujícími faktory ovlivňujícími provozní spolehlivost pásových dopravních cest, a tím i ekonomiku výrobního procesu, jsou v klíčovém definování:

- opotřebení dopravních pásů,
- životnost válečků,
- životnost bubnů.

Vzhledem k tomu, že první výše uvedený faktor je téma tem spíše pro samostatný příspěvek a ověření našich myšlenek není ještě plně verifikováno, je naprostě logické, že se budeme více věnovat dalším uvedeným faktorům, ale ještě dříve uvedeme stručný nástin očekávání od diagnostického systému v obecné rovině.



Obr. 1: Nerovnoměrné zatížení pásu na DPD



Obr. 2: Jedna strana bubnu vykazuje zvýšenou povrchovou teplotu

- Diagnostický systém umožní sledování aktuálního technického stavu pásového dopravníku v reálném čase a predikci zbytkové životnosti technologického celku a jeho jednotlivých dílů.
- Diagnostický systém bude poskytovat údaje ke zvýšení účinnosti a provozuschopnosti, tzn. výkonnosti, samozřejmě také ke zlepšení řízení a plánování údržby pásového dopravníku.
- Diagnostický systém bude sledovat, ukládat a zpracovávat údaje potřebné pro optimální řízení a údržby výrobního procesu.

Pro budoucí pochopení našich výchozích myšlenek k prvnímu faktoru pouze uvádíme následující konstatování.

3.1 Opotřebení dopravních pásů

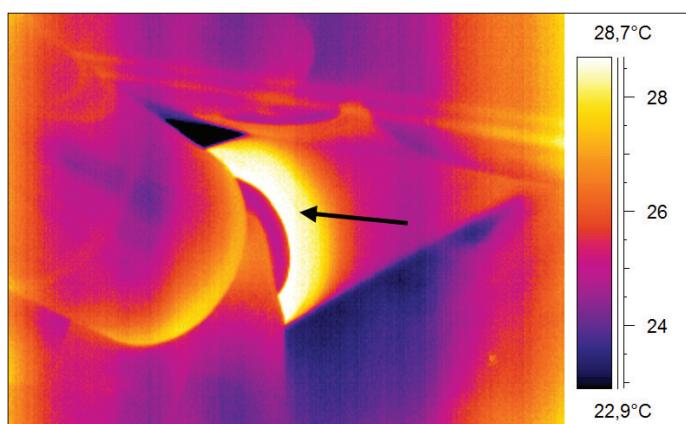
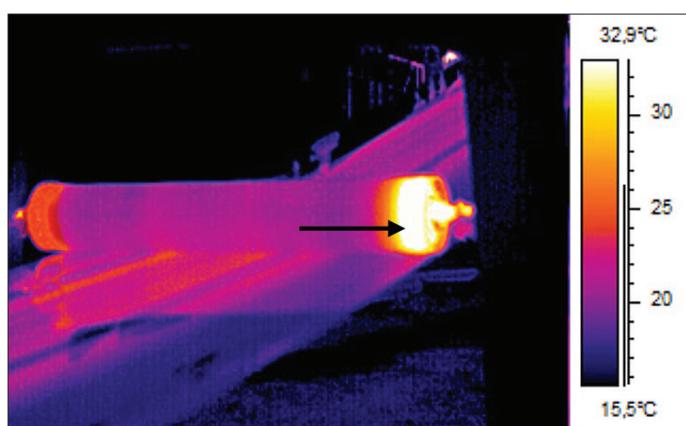
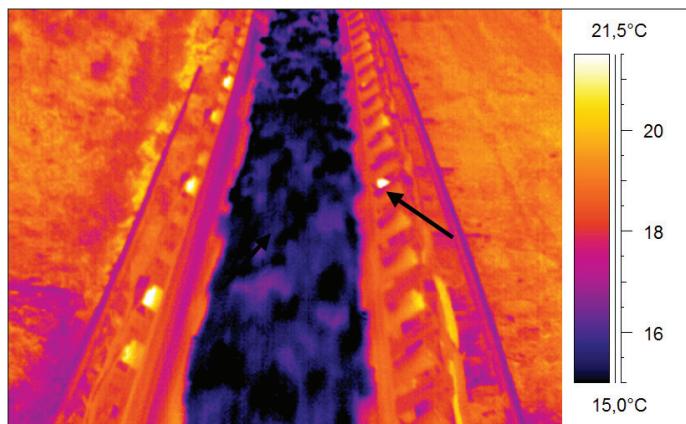
Pod tímto pojmem myslíme opotřebení horní a dolní krycích vrstvy při provozu. Opotřebení je ve své podstatě způsobováno následujícími faktory, resp. provozními vlivy, např. v aplikaci na hnědouhelné povrchové doly [1, 3]:

- otěr o dopravovaný materiál,
- otěr pásu o spad materiálu pod dopravníkem,
- pohyb přes válečky,
- otěr především hran o násypky a konstrukci dopravní linky,
- prokluz na bubnech především při rozběhu a zastavování,
- běžný provoz na bubnech všeho druhu,
- nadměrná kusovitost a ostrohrannost dopravovaného materiálu,
- doprava nežádoucích cizích těles apod.

3.2 Životnost válečků

Válečky jsou jednou z nejzákladnějších a nejdůležitějších částí každého pásového dopravníku, a proto je logické, že jejich životnosti je nutno věnovat dostatečnou pozornost, neboť představují dosť vysokou nákladovou položku z pohledu zajištění provozuschopnosti. Vlastní životnost závisí na celé řadě faktorů, které se vzájemně překrývají a spolu působí [7].

- Správná volba průměru válečku a typu ložiska. Používá se celá řada grafů, tabulek, softwarových produktů apod., vše většinou v závislosti na dopravní rychlosti a zatížení válečků, ale bohužel většina těchto produktů je pro DPD (dálková pásová doprava). Výpočet vychází z hodnot doporučovaných výrobci valivých ložisek (např. otáčky válečku by neměly překročit cca 700 min⁻¹, pak se životnost ložiska snižuje rychleji), takže nejčastěji se používá pro teoretickou životnost válečků označení L_{10h} , což je pravděpodobná doba, za kterou vyřadíme 10 % válečků. Je ale pravdou, že až 50 % válečků má životnost 2 - 5x vyšší než tato používaná hodnota. Jak je patrné, jediné co je možno měnit, je velikost a druh ložiska, tzn. jeho dynamickou únosnost.
- Kvalita těsnění. Jedná se většinou o labyrintová těsnění s minimálními výlemi, ale nesmí dojít k dotyků, jinak vzniklé třetí teplo zapříčiní odtékání maziva. Také je nutné se zde zmínit o [8], kde součástí řešení těchto valivých soudečkových ložisek je i nové řešení těsnění, resp. ochrana valivého ložiska třemi zábranami – ložisko s těsněním (nitrilkaučuk nebo hydrogenovaná nitrilová pryž se zesílením kovovými kroužky), plastické mazivo v ložiskovém tělese jako těsnící prvek (vyplnění prostoru z 60 – 100 %) a těsnění vlastního ložiskového tělesa (labyrint).
- Kvalita a přesnost výroby a montáže. To znamená řešení rotačních odporů válečků a jejich radiální házivosti, neboť zapříčiní nejen vyšší spotřebu elektrické energie, hlučnost válečků, ale také vyšší opotřebení krycích vrstev dopravního pásu.
- Hospodaření s válečky za provozu. Je v podstatě možné pouze dvěma způsoby - komplexní výměnou po uplynutí deklarované doby životnosti, nebo výměnou podle objektivní nutnosti, vycházející z použití objektivních měřicích metod.
- Použití odpovídajícího maziva, resp. plastického maziva. V provozní praxi o kvalitě plastického maziva rozhodují především jeho následující vlastnosti.



Obr. 3: Tepelná diagnostika válečků na DPD

- Kinematická viskozita základového oleje při 40 °C a 100 °C, která rozhoduje o únosnosti mazacího filmu a tím o mazací schopnosti plastického maziva (PM).
- Penetrace, která určuje konzistenci, tzn. celkové udržení základového oleje, má vliv na dopravu PM k místu mazání. Někdy se používá výrazu „tvrdost“ PM.
- Bod skápnutí. Při ohřívání se vyloučí první kapka oleje. Dalším ohříváním se stává PM tekuté – mezi tekutostí (mez pevnosti) má vliv na teplotní rozsah použití PM a tím i válečků. Standardní PM jsou určena do teploty 110 °C, s příslušnými pro vysoké teploty do 150 °C a s příslušnými pro extrémní teploty do 260 °C.

Existují i PM s příslušnými EP (extra pressure), což vede ke zvýšení únosnosti mazacího filmu, tzn. zvýšení životnosti valivých ložisek, ale také je nutno řešit problematiku životního prostředí, tzn. i možnost použití biologicky odbojuratelných ložiskových plastických maziv (např. SKF LGGB 2).

- Teplotní rozsah použití válečků. Je nutné si uvědomit, že i když standardní PM je možno krátkodobě tepelně zatižit (cca do 130 °C), už při teplotě nad 60 °C klesá radikálně jeho životnost a mazací schopnost (kinematická viskozita základového oleje je při 100 °C např. už jen 10 mm².s⁻¹ oproti 40 °C, kde je 100 mm².s⁻¹), navíc někdy používané sklolaminátové díly také lze bezpečně provozovat jako tvarově stálé do cca 110 °C, ale pro jiný druh plastu je vhodná teplota jen do cca 60 °C. Z uvedeného jednoznačně vyplývá provozování válečků normálně do 50 °C, krátkodobě do 60 °C.

Z technických parametrů k rozhodujícím patří:

- parametr životnosti válečků. Někteří výrobci uvádějí L_{50h} (této průměrné životnosti dosáhne pouze 50 % válečků), někteří L_{10h} (této životnosti dosáhne 90 % válečků). K danému je nutno přičíst cca 1 % válečků za rok, což je dánou statistickými vadami ložisek.

Životnost L_{10h} vychází z životnosti valivých ložisek, proto je nutné upozornit, že např. fa SKF již v příručce z roku 1993 používá tzv. modifikovanou životnost. [5]

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10}$$

- L_{10} - základní životnost,
- a_1 - součinitel spolehlivosti (0,2 – 1), při 90% spolehlivosti je 1,
- a_{SKF} - součinitel tzv. nové teorie životnosti, což je složitý vztah ovlivněný řadou faktorů včetně znečištění a mazání.

Nejnovější pohled na určení a výpočet, dnes už tzv. opravného součinitele a_{SKF} , který nově vyjadřuje závislost napětí, trvanlivosti valivého ložiska a kvality mazání, najdeme v [9]. Daný postup zahrnuje i vliv mikrogeometrie povrchu, což má výrazný dopad na vznikající napětí a mazání valivých ložisek v kontaktu valících elementů.

- parametr radiální házivosti a rotačního odporu
- radiální házivost max. 0,012 . D
- rotační odpor je tangenciální síla nutná k docílení rotace válečku obvodovou rychlosťí 5 m.s⁻¹ (záběh 20 min, teplota prostředí 20 °C). Max. hodnota 10 N, možná odchylka na 12 N pro cca 3 % válečků
- dopravní rychlosť 6,3 m.s⁻¹. Při vyšších rychlostech se doporučuje použití dynamicky vyvážených válečků
- teplotní rozsah provozovaných válečků - viz zmínka maximálně do 50 °C, krátkodobě 60 °C
- tribotechnické parametry PM
 - kinematická viskozita při 40 °C 110 ÷ 150 mm².s⁻¹
 - penetrace cca 300 jednotek
 - bod skápnutí, min 180 °C
 - rozsah pracovních teplot, -30 °C ÷ +120 °C
 - EP příslušný + příslušný pro vysoké teploty

3.3 Životnost bubnů

Jednoznačně uvádíme prioritní vliv bubnů na provozní spolehlivost pásových dopravníků. Jsou klíčovým prvkem s rozhodujícím vlivem na jejich provozní spolehlivost, především valivá ložiska těchto bubnů [11, 12]. Z uvedeného pak především vyplývá nutnost řešit diagnostikovatelnost těchto valivých ložisek bubnů buď samostatně nebo jako součást celé pohonné jednotky pásového dopravníku. Sice zatím neřešíme problematiku konstrukčního provedení bubnů, ale je logické, že obložení bubnu, resp. možný prokluz, má vliv na opotřebení dopravního pásma.

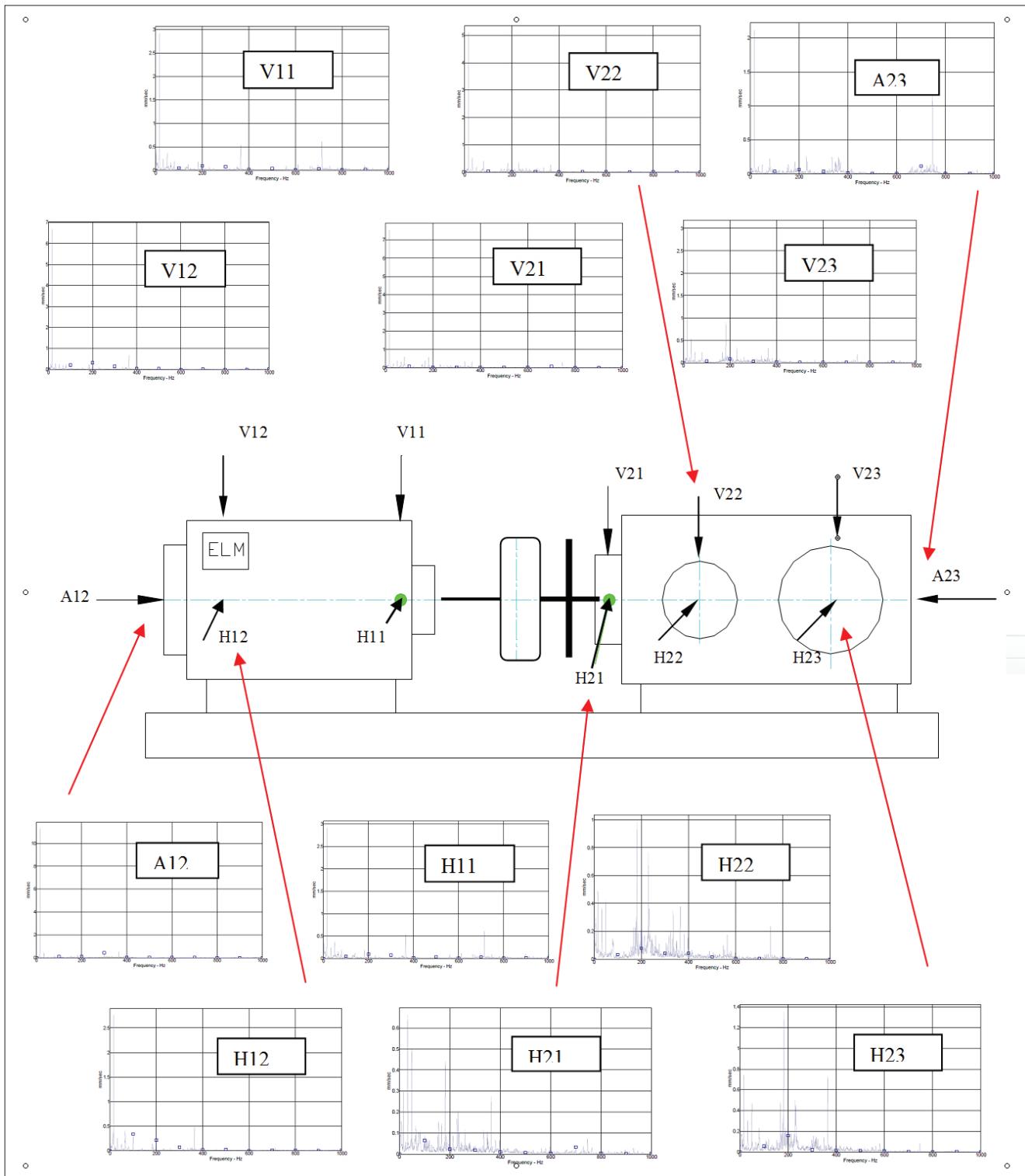
Určitě je naprostě zřejmé, že řešíme-li pouze diagnostikovatelnost a životnost valivých ložisek bubnů, můžeme vycházet z předchozích řádků uvedených u dopravních válečků. Pokud mluvíme o pohonné jednotce hnacích bubnů, tak se náš pohled musí kvalitativně změnit.

4 Dílčí závěry a příklady provozních měření

4.1 Dopravní válečky

Použití měření vibrací přímo na válečcích umístěných na dopravnících za běžného provozu je technicky neproveditelné. Proveditelné a smysluplné je pouze v případě demontáže a měření na stendu, což by bylo sice spojitelné s měřením házivosti a rotačních odporů, domazáním atd., tedy zjištěním jeho kvalitativního stavu, ale pak se nejedná o provozní diagnostiku, nýbrž jakousi revizi stavu po určitém čase provozu. Bez využití statistických podkladů o tomto čase dochází ke zbytečnému navýšení práce. Nedoporučujeme.

Rovněž nedoporučujeme použití akustické diagnostiky, resp. měření v oblasti slyšitelných signálů, neboť běžný provozní šum by určitě zapříčinil špatné vyhodnocování měření, tzn. opět zbytečně provedená práce. Bylo by možné měření v oblasti neslyšitelných signálů (ultrazvuk), ale je faktum, že není žádná zkušenosť s tímto měřením v různých provozních podmírkách. Přesto doporučujeme využití aktivního ultrazvukového diagnostikování (4 x do roka a před plánovanou



Obr. 4: Schéma měřicích míst pohonu dopravníku

opravou), a tím získání zkušenosti s vyhodnocováním těchto měření. Za samozřejmost považujeme vizuální kontrolu netočících se válečků, resp. válečků zablokovaných a s nepravidelným rotačním pohybem.

Termografii (termovizi) [10], resp. sledování teplotních obrazů jednotlivých válečků, doporučujeme rovněž 4 x do roka a před plánovanou opravou.

Základní doporučení:

- při osazování na velkostrojích dávat přednost zásadně novým válečkům,
- rozhoduje životnost válečků, ne jejich cena.

4.2 Bubny

Jestliže se jedná o diagnostikovatelnost pouze valivých ložisek, jsou v podstatě využitelné diagnostické metody uvedené u dopravních válečků.

- Měření vibrací. I když nemáme k dispozici konstrukční výkresy konkrétních provedení, musíme si alespoň z pohledu bezpečnosti prováděných měření představit možnosti měření. Sice předpokládáme, že na výstupu z převodovky pohonu každého hnacího bubnu by bylo nutné použít snímače s trvalou instalací, neboť na straně bubnu nelze měřit, jsou-li ložiska uvnitř bubnu, ale tento postup nedoporučujeme. [6] Jiný pohled je, když valivá ložiska jsou v ložiskových domcích vně jakéhokoliv bubnu, pak doporučujeme měření vibrací.
- Použití aktivního akustického ultrazvukového signálu valivého ložiska bubnu je možné (opět pro získání zkušeností a jejich ověření 4 x do roka a před plánovanou opravou).
- Termovizní měření (4 x do roka a před plánovanou opravou) jsou proveditelná. Totéž platí i o nasazení colorlaků.

Jestliže budeme diagnostikovat hnací bubny jako součást pohonné jednotky, tak je určitě zřejmé, že lze nasadit klasické postupy měření frekvenčních spekter vibrací, ale vzniká závažná otázka „vyhodnocení takto naměřených spekter“, resp. jak určit, že se jedná o valivá ložiska hnacího bubnu. Teoreticky je možné, např. formou postupné eliminace dalších možných detekcí na dané frekvenci či za pomocí alternativních multiparametrických metod měření vibrací, ale to se musíme oprostit od časové a ekonomické náročnosti těchto měření.

Pak je jednoznačné, že lze doporučit klasický postup měření vibrací u pohonného jednotek a pro valivá ložiska hnacích bubnů použít jiných, jednodušších a finančně méně náročných diagnostických měření, která mají dostatečnou vypovídací schopnost, a tím jistotu našeho rozhodnutí, především termovize.

5 Závěr

Závěrem lze konstatovat, že daný problém můžeme řešit postupem, jež bude v rámci projektu také použit. Bylo vyvinuto zařízení, které bude možno pevně zabudovat do konstrukce bubnů a které bude kontinuálně (on line) měřit vibrační charakteristiky, sledovat jejich časový vývoj a s časovým předstihem predikovat možnou poruchu valivých ložisek. Jako senzoru využívá zařízení akcelerometru firmy Kionix. Při použití rychlé Fourierovy transformace odpovídají naměřené výsledky spektru snímaných frekvencí od 10^{-1} Hz do 103 Hz. Prototyp tohoto zařízení byl testován v provozu Dolu Nástup Tušimice. Výsledky měření vibrací získané tímto prototypem byly verifikovány se současně prováděnými měřeními frekvenčním analyzátem.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu MPO FR-TI1/537 „Komplexní diagnostický systém pro pásovou dopravu“.

Literatura

- [1] AMBROŽ O., STŘELEC M.: *Kontrola opotřebení a technického stavu dopravního pásmá NILOS a MATADOR na pásovém dopravníku PDI3*. Zpráva VÚHU, a.s. Most 2003, č.z. TO-134/03, 8 s. + 11 s. příloh.

- [2] HELEBRANT F.: *Studie diagnostického a údržbářského systému velkostroje K 5500.1- CZ*. VŠB – TU Ostrava 2006, I. etapa – 68 s., II etapa – 89 s.
- [3] NOVÁK A.: *Porovnání vlastností dopravních pásem na DPD26*. Zpráva VÚHU a.s. Most 2005, č.z. TO-175/05, 11 s. + 43 s. příloh.
- [4] KOL.: *Molykote*. Dow Corning GmbH, Munchen 1991, 552 s.
- [5] KOL.: *Příručka SKF pro údržbu ložisek*. SKF 1991, Publication 4100 CS, r.č. 70 3000, 12/1993.
- [6] MONI V., KLOUDA P.: *Termovizní a vibrační měření na DPD*. VÚHU a.s. Most 2009.
- [7] ZELENKA P.: *Technicko ekonomická analýza životnosti válečků DPD*. VVV Most s.r.o. 2005, 4 s.
- [8] AGNEMAR D., MANNE N.: *S těsněním a ihned k dodání*. In Evolution, Obchodní a technický magazín SKF 1-2010, s. 21 – 24, ISSN 1402-5256.
- [9] ESPEJEL G. M., GABELLI A., IOANNIDES S.: *Vliv mazání a znečistění na trvanlivost ložiska*, část 1. Evolution, Obchodní a technický magazín SKF 2-2010, s. 25 – 30, ISSN 1402-5256.
- [10] MONI V., KLOUDA P.: *Aplikace výsledků bezkontaktního měření teplot v hornické praxi*. Seminář zaměřený na problémy provozu, údržby a oprav strojního zařízení, používaného při povrchovém dobývání, VÚHU a.s., SD a.s., MU, a.s., VŠB – TU Ostrava, Sloup v Čechách 2007, s. 54 – 64, ISBN 978-80-248-1592-3.
- [11] KLOUDA P., KRESL P., MONI V.: *Hnací buben pohonu pásu rypadla KU800*. Seminář zaměřený na problémy provozu, údržby a oprav strojního zařízení, používaného při povrchovém dobývání, VÚHU a.s., SD a.s., MU a.s., VŠB – TU Ostrava, Sloup v Čechách 2007, s. 1 – 5, ISBN 978-80-248-1592-3.
- [12] ŠKRABAN V., KLOUDA P., MONI V.: *Technická diagnostika v provozech povrchových úprav*. 43. celostátní aktiv galvanizérů, Jihlava 2/2010, s. 5 – 9, ISBN 978-80-903709-4-4.