



ISSN 1210-311X MK ČR: 5 979

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

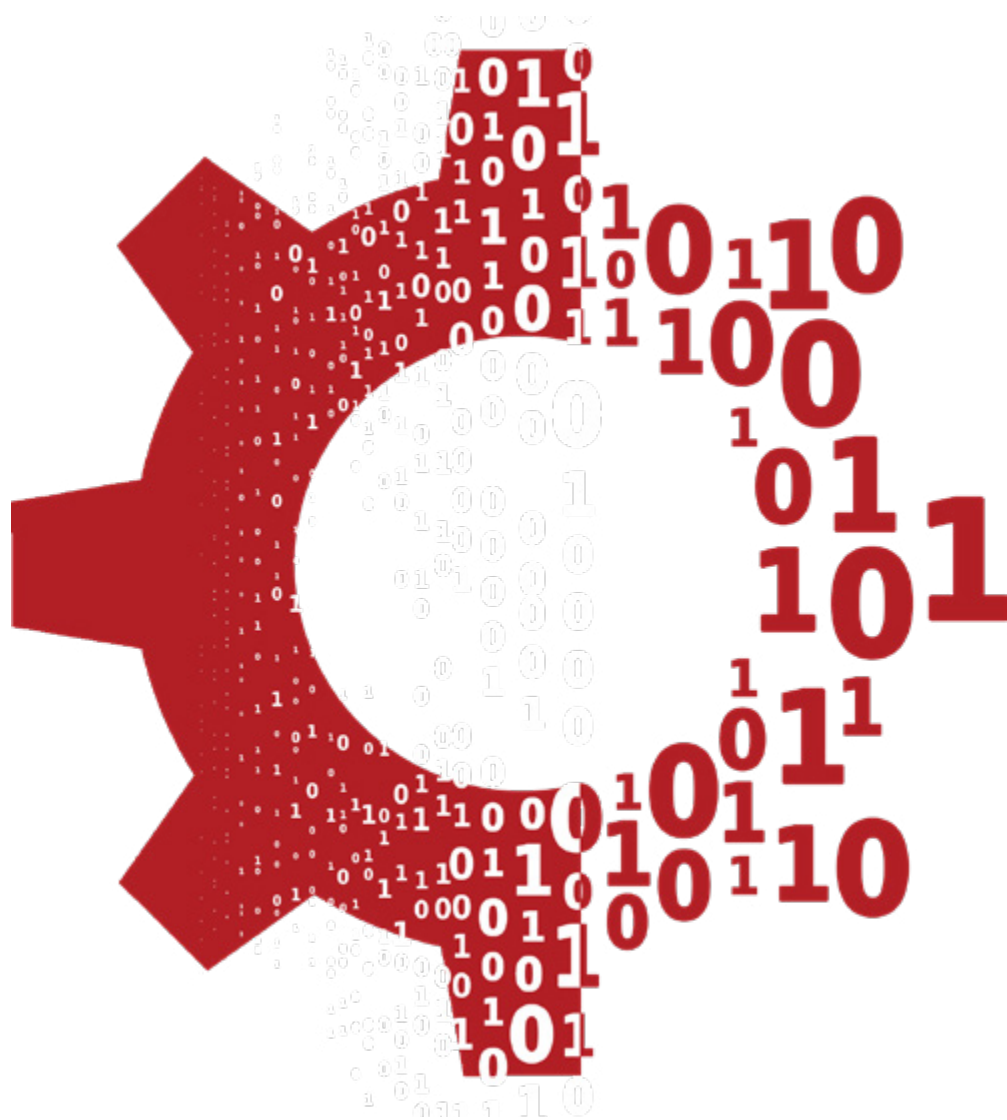
1 ROČNÍK XXIX 2020

ASOCIACE TECHNICKÝCH DIAGNOSTIKŮ ČESKÉ REPUBLIKY, z. s.

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA V ČESKÉ PRAXI

- PAG OSP – polyalkylénglykoly mísitelné s oleji**
PAG OSP – Oil Miscible Polyalkylene Glycols TD4
- Nástroje digitalizace údržby a jejich přínos pro odborné vzdělávání na vysokých školách**
Digitalization as an tool for maintanace and its benefits for vocational education at universities TD7
- Elektrodiagnostika jako součást multiparametrické diagnostiky v průmyslové praxi**
Electrodiagnostics as a part of multiparametric diagnostics in industrial practice TD11
- Využití „akustických“ kamer pro prediktivní údržbu**
Use of “acoustic” cameras for predictive maintenance TD16
- Měření vibrací převodovek jako ukazatel jízdního komfortu vozidel**
Gearbox vibration measurement as vehicles indicator of ride comfort TD21

DIGITÁLNÍ VÝROBA 2020



9.–10. září 2020 | PRAHA

www.konference-vyroba40.cz

Vážení čtenáři, příznivci technické diagnostiky a údržby!

Opět po půlroce se k Vám dostává další číslo našeho časopisu Technická diagnostika a na mě padl úkol toto číslo uvést, což v dnešní pohnuté době není zrovna lehké. Věřím, že až tyto řádky budete číst, bude již situace v naší republice i na celém světě dostatečně stabilizovaná, tedy podstatně lepší. Když tento úvodník píše, pln optimismu sleduji teprve začínající uvolňování a zmírňování veškerých nařízení souvisejících s děním kolem pandemie Covid-19, a to ještě ne plošně a celosvětově, ale pouze u nás a u našich nejbližších sousedů. Snad tedy bude v příštích týdnech tento optimistický trend pokračovat a brzy se dočkáme návratu k normálu.

Když jsem se situací, která nás postihla, začal, tak u ní chvíli zůstanu. Zprávy o výskytu koronaviru v Číně jsme mohli zaregistrovat již při našem setkání na konferenci Diago® v závěru ledna 2020 v Milovech; o několik týdnů později zaplavily informace o staronovém viru všechna média a ovlivnily veškeré světové dění, Českou republiku nevyjímaje. Nyní, tj. v době, kdy tyto řádky vznikají, se situace v naší zemi již začíná uvolňovat a my můžeme s hrdoostí konstatovat, že k úspěšnému zvládnutí přispěla i řada pracovišť navázaných na naši ATD ČR, z. s. Výrazně se zapojila především OS Termo a pomohla s monitorováním infikovaných osob na základě zvýšené teploty, přispěla též různými metodickými návody a připomínkami, ale především dodávkami konkrétní termografické techniky. Zde si dovoluji osobně poděkovat zejména „našim firmám“ Workswell a TMV SS za jejich bezprostřední a rychlou pomoc při technickém řešení situace nebo NTC ZČU, která se aktivně zapojila do analýz metodiky.

Kvůli opatřením plynoucím z nouzového stavu jste přišli o mnohé akce a semináře, které byly plánovány především na první pololetí. Nejsme sice natolik operativní jako např. sprátevna ČSPÚ, která přesunula značnou část své činnosti do režimu on-line webinářů, ale rozhodně jsme zcela nezmizeli ze scény. Ve spolupráci s TMI se očekávaná konference „Údržba a diagnostika“ pod naší patronací, plánovaná jako součást březnového AMPERu, nakonec spojila s další konferencí o údržbě do jediné s názvem „Úspora a údržba v průmyslu 2020“. Bude se konat 24. září 2020 v Ostravě, ale v provizorním termínu 19. května mají přihlášení účastníci možnost on-line sledovat výběr z tohoto kongresu pod názvem „Role údržby při hledání úspor“, kde vystoupí zástupci z OS Elektro.

Abych ale využil omezený prostor úvodního slova i pro běžnější informace... Číslo, které otevíráte, je opět obsahově průřezové – podařilo se nám obsáhnout všechny obory technické diagnostiky. Prosincové vydání pak předběžně plánujeme jako monotematické, ale raději počkejme na vývoj situace. Jestliže jsem před chvílí vyzvedl dvě z našich skupin, pak samozřejmě i ty další tři ve své činnosti pokračují. I když se v současné době nemohly prezentovat svými akcemi, o to více si to jistě vynahradí ve 2. polovině roku, resp. v podzimních měsících, kdy snad bude situace výrazně příznivější, v což všichni pevně věříme.

Mnozí z Vás se také zúčastnili v závěru konference Diago® výroční členské schůze a voleb, které na další tři roky mírně zamíchaly složením našich volených orgánů. Zatímco statutární orgán se nezměnil, v nejvyšším orgánu došlo k několika posunům a výměnám. Těm, kteří v nejvyšším orgánu skončili, bych velice rád za jejich dlouholetou činnost poděkoval a nově zvoleným pak přeji hodně úspěchů v jejich práci, která bude zcela jistě ku prospěchu celé ATD ČR, z. s. Podrobnější informace týkající se veškerých změn i další aktuality naleznete, jak jste zvyklí, na našich stránkách.

Závěrem mi dovoluji popřát nám všem hodně zdraví, sil a úspěchů v dalším boji s nelehkou situací, která na nás všechny dopadla, a vyslovit přesvědčení, že ji jako jedinci i jako společnost zvládneme. Věřím, že nejspíše od podzimu se zase budeme „normálně“ setkávat na tradičních akcích odborných skupin, abychom vše završili začátkem roku 2021 na jubilejní 40. konferenci Diago® 2021, na jejíž přípravě se již nyní usilovně pracuje.

S pozdravem

*Ing. František Vdoleček, CSc.
prezident ATD ČR, z. s.*

ŠÉFREDAKTOR:
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:
GRAFICKÁ ÚPRAVA:
REDAKČNÍ RADA:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.
JÍŘÍ RATAJ
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PH.D.
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

EDITOR-IN-CHIEF:
ZÁSTUPCE ŠÉFREDAKTORA:
GRAPHIC EDIT:
EDITORIAL BOARD:

ING. DANIEL ZUTH, PH.D.
ING. LADISLAV HRABEC, PH.D.
JÍŘÍ RATAJ
DR HAB. INŽ. WITOLD BIALY
ING. MARTIN HOLEK, PH.D.
PROF. ING. VÁCLAV LEGÁT, DRSC.
DOC. ING. VIERA PEŤKOVÁ, PH.D.
ING. FRANTIŠEK VDOLČEK, CSC.

VYDAVATEL:

ASOCIACE TECHNICKÝCH
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.
VŠB-TU OSTRAVA
17. LISTOPADU 15 / 2172
708 33 OSTRAVA - PORUBA

PUBLISHER:

ASOCIACE TECHNICKÝCH
DIAGNOSTIKŮ ČR, Z. S.
VŠB-TU OSTRAVA
17. LISTOPADU 15 / 2172
708 33 OSTRAVA - PORUBA

VYCHÁZÍ:

MK ČR:
ISSN:

2× ROČNĚ
5 979
1210-311X

VYCHÁZÍ:

MK ČR:
ISSN:

2× ROČNĚ
5 979
1210-311X

ETICKÝ KODEX: ČASOPIS TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA SE PŘI SVÉM VYDÁVÁNÍ ŘÍDÍ ETICKÝM KODEXEM, KTERÝ STANOVUJE PRAVIDLA PRO PUBLIKACI PŘÍSPĚVKŮ. TO SE TÝKÁ JAK POSUZOVÁNÍ AUTORSKÝCH PŘÍSPĚVKŮ, TAK NÁSLEDNĚHO RECENZNÍHO ŘÍZENÍ. JEHO ZNĚNÍM JSOU POVINNI SE ŘÍDIT AUTOŘI, RECENZENTI I REDAKCE. CELÉ ZNĚNÍ ETICKÉHO KODEXU JE ZVEŘEJNĚNO NA WWW.ATDCR.CZ.

PAG OSP – polyalkylénglykoly mísitelné s oleji

PAG OSP – Oil Miscible Polyalkylene Glycols

ING. LUBOMÍR TRESNER

EKOLUBE, S. R. O.

Anotace

Klasické polyalkylénglykolové oleje (PAG) jsou známy a používány již více než 60 let. Článek má za úkol seznámit zájemce s novým typem těchto olejů, jejichž předností je zejména kompatibilita s ropnými, ale i syntetickými oleji. V příspěvku jsou uvedeny některé zajímavé vlastnosti těchto olejů a naznačeny oblasti jejich možného použití v tribotechnické praxi.

Annotation

Traditional polyalkylene glycol oils (PAG) are known and used for more than 60 years. Objective of this article is to present to all who are interested with a new type of these oils, whose strength is especially compatibility with mineral and also synthetic oils. The paper gives some of the interesting features of these oils and suggests areas of their possible use in tribotechnical practice.

Úvod

V roce 2012 představila firma DOW Chemical Company nový typ PAG olejů mísitelných s většinou ostatních typů olejů. Tyto oleje byly nazvány OSP (Oil Soluble Polyglykol).

Na rozdíl od klasických PAG olejů, které nejsou mísitelné s jinými oleji a jsou vyráběny převážně na bázi kopolymerů etylénoxidu a propylénoxidu, jsou oleje OSP kombinací propylénoxidu a butylénoxidu nebo jen jako homopolymery butylénoxidu. Pro posílení mísitelnosti s uhlovodíkovými oleji je rozhodující poměr uhlík/kyslík v kopolymeru nebo polymeru. Vyšší poměr znamená lepší mísitelnost s oleji, přičemž si tyto oleje ponechávají všechny důležité vlastnosti klasických PAG, jako je například velmi dobrá afinita k mazaným povrchům, kterou zabezpečuje právě kyslík v molekule. [2]

Hlavní předností této nové skupiny PAG olejů je jejich plnohodnotná mísitelnost nejen s minerálními a syntetickými uhlovodíkovými oleji, ale i s esterovými oleji a zpětně také s klasickými PAG oleji. [2] Důležitá je rovněž jejich kompatibilita s aditivami, která jsou běžně využívána ve výše uvedených olejích.

Aplikační výhody

Jako primární základové oleje lze použít oleje OSP pro výrobu většiny typů automobilových i průmyslových olejů. Lze je tedy aditivovat jako motorové a převodové oleje pro motorová vozidla, stejně jako z nich připravit velmi kvalitní turbínové, hydraulické, kompresorové, oběhové a jiné průmyslové oleje, včetně plastických maziv.

Jako společný základový olej lze OSP oleje využít k posílení výkonu a vlastností všech typů uhlovodíkových olejů skupin API I–III, včetně PAO a POE.

Jako aditiva lze oleje OSP použít pro kontrolu úsad, modifikace tření, zlepšení odlučivosti vzduchu, posílení hydrolytické stability esterů a zlepšení antikoročních vlastností klasických PAG.

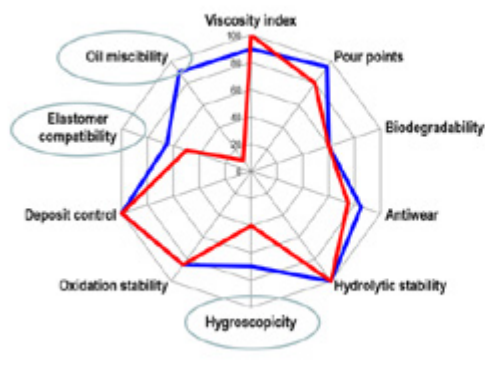
Vlastnosti

Typické fyzikální vlastnosti vyráběné řady OSP olejů jsou uvedeny v tab. 1. Pro využití jako základových olejů pro formulaci maziv jsou zajímavé zejména vysoké viskozitní indexy nebo vysoké hodnoty bodů vzplanutí již od nízkých viskozit.

Při formulaci olejů pomocí OSP lze s výhodou použít některých jejich vlastností, které je předurčují k použití jednak jako 100% základové oleje nebo jako společné základové oleje. Zde je lze použít např. jako alternativu k esterovým olejům, kde podobně jako esterové oleje poskytují v uhlovodíkových základech zlepšení mísitelnosti s aditivami a zabezpečení bobtnavosti elastomerů, přičemž nabízejí lepší hydrolytickou stabilitu než estery. [1]

V některých případech je výhodné, aby olej bez rizika koroze vázal jisté malé procento vody, což oleje OSP rovněž splňují. Působí jako jakási polymerní houba v oleji, která absorbuje vodu a vlhkost řádově v tisících ppm, aniž by tato korozivně ohrožovala mazané povrchy.

Také odparnost olejů OSP je po přidání malého množství aminického antioxidantu vynikající, takže nebrání jejich použití při vyšších provozních teplotách, např. při formulaci nízkoviskózních motorových olejů nebo vysokoteplotních plastických maziv. [2]



Výrazný rozdíl:

- Mísitelnost s oleji
- Hygroskopičnost

Patrný rozdíl:

- Bod tuhnutí
- Kompatibilita s elastomery
- Protiděrové vlastnosti

— New OSPs

— Traditional PAGs

Obrázek 1: Porovnání vlastností mezi klasickými PAG a PAG OSP [3]

Tabulka 1: PAG OSP typické fyzikální vlastnosti [1]

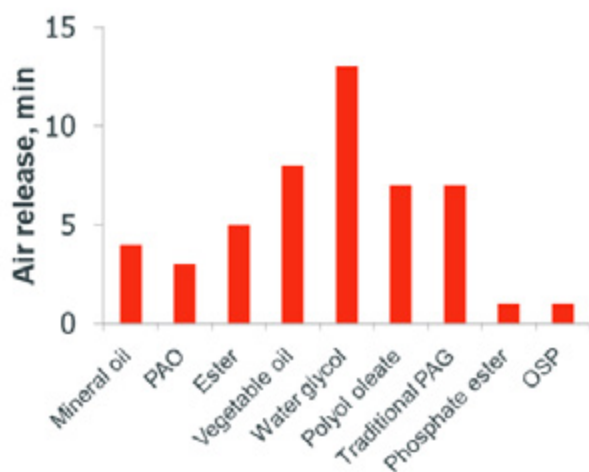
	KV40 cSt	KV100 cSt	Viscosity Index	CCS viscosity at -20°C mPa.s	Pour Point °C	Flash Point, °C	Aniline Point, °C
	ASTM D445	ASTM D445	ASTM D2270	ASTM D5293	ASTM D97	ASTM D92	ASTM D611-01
OSP-18	18	4	123	n/d	-41	204	n/d
OSP-32	32	6.5	146	1750	-57	216	<-30
OSP-46	46	8.5	164	2900	-57	210	<-30
OSP-68	68	12	171	5400	-53	218	<-30
OSP-150	150	23	186	17100	-37	228	<-30
OSP-220	220	32	196	29100	-34	226	-22
OSP-320	320	36	163	n/d	-37	230	n/d
OSP-460	460	52	177	n/d	-35	235	n/d
OSP-680	680	77	196	n/d	-30	243	n/d

Vynikající je rovněž odlučivost vzduchu z oleje, která je výrazně lepší než u všech skupin uhlovodíkových olejů, ale i polyglykolů, což je příznivé pro tvorbu nových typů, zejména hydraulických a převodových olejů (obr. 2). [5]

Velmi významnou roli sehrají patrně tyto oleje jako přísada do ropných olejů skupin I–III, kde významně snižují potenciál k tvorbě úsad, a to již při 5% dozaci.

Na obr. 3 je znázorněn antioxidační test ASTM D2893B olejů sk. I a II při 10% dozaci olejem OSP. Z testu je patrný účinek potlačení tvorby vysokoteplotních úsad a kalů po přidání OSP oleje. Podobný účinek je pozorován např. v přírodních olejích a stejně tak i v plně formulovaných olejích. Lze se tedy domnívat, že PAG OSP patrně rozpouští vedlejší polární oxidační produkty jak v minerálních, tak rostlinných olejích.

Testovací metoda ASTM D3427 při 50°C



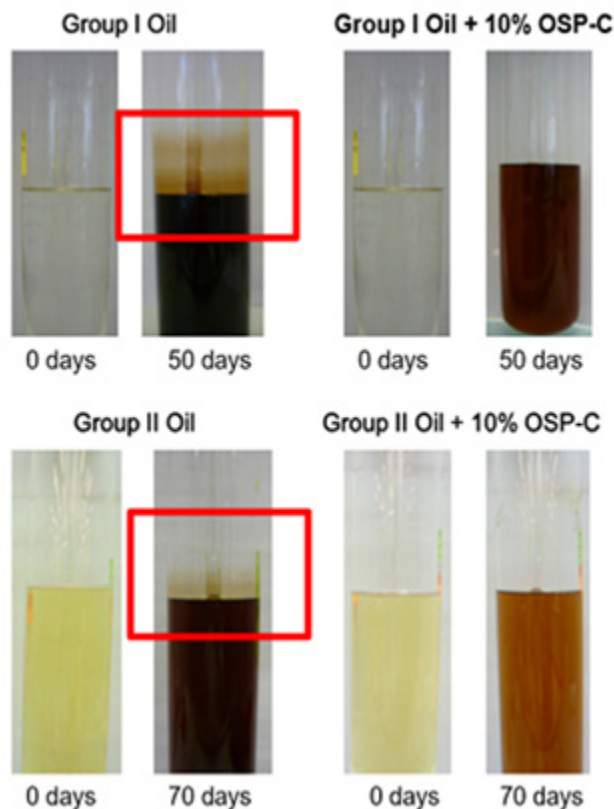
Obrázek 2 [5]

Jako konkrétní příklad lze uvést měření VPR (Varnish Potential Rating) ASTM D7843 u pěti různých, plně formulovaných použitých turbínových olejů na bázi API sk. II (obr. 4). Je zde patrné, že každý vzorek měl jiný výchozí potenciál k tvorbě úsad a rovněž efektivita aditivace OSP olejem byla odlišná. [4]

V oblasti mazacích vlastností – zejména vylepšení koeficientu tření – vykazují oleje OSP v testech rovněž zajímavé výsledky. Například v testu na minitrakčním stroji, kde je ve styku ocelová kulička na ocelovém disku při tlaku 0,9 GPa při teplotě 80 °C a rychlosti 15 mm/s, se snížil koeficient tření z 0,3 na méně než 0,1 při aditivaci základového oleje PAO 10% OSP oleje (obr. 5).

Dalším a možná že ne posledním popsáním benefitem je výrazné posílení protikorozičních vlastností klasických polyglykolů

přidáním malého množství OSP do těchto PAG olejů. Testována byla koroze některých kompresorových a převodových olejů na bázi klasických PAG. Po přidání cca 5% OSP oleje do hotové formulace těchto olejů se výrazně snížila koroze při testu podle ASTM D665A/D665B, a to zejména v syntetické mořské vodě. [1]



Obrázek 3 [1]

Závěr

PAG OSP oleje jsou novou skupinou univerzálních základových olejů v kategorii API sk. V a současně výkonnými aditivami pro ostatní oleje. [1]

Jejich praktické výhody při použití ve formulacích maziv zahrnují:

- kontrolu úsad v uhlovodíkových i přírodních olejích;
- kontrolu tření zejména v převodových a motorových olejích;
- zvýšení hydrolytické stability v esterových olejích, zejména pak v přírodních;
- pozitivní vliv na těsnění a pryže – bobtnavost;
- inhibici koroze v olejích PAG.

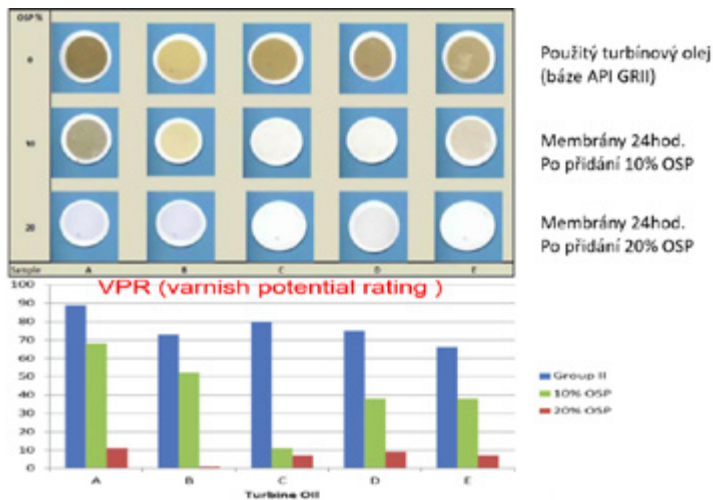
Formulátorům maziv se tak nabízejí nové možnosti použití PAG jako nástroje pro řešení některých nových průmyslových problémů [2]:

- OSP lze nyní používat jako primární základový olej, společný základový olej nebo přísadu;
- přechod z uhlovodíkových olejů na PAG OSP je jednodušší a méně problematický;
- OSP nabízejí možnosti modernizace uhlovodíkových olejů (visk. index, kontrola úsad a kalů);
- OSP mohou poskytovat lepší kontrolu tření při použití jako přísada;
- OSP mohou poskytovat alternativu k synt. esterům jako modifikátory tření s lepší hydrolytickou stabilitou, jako přísada pro zlepšení bobtnavosti a zlepšení rozpustnosti aditiv v nepolárních olejích.

Flexibilita chemie PAG OSP poskytuje obrovské množství prostoru pro inovace a nabízí řešení specifikací a standardů budoucnosti.

Zdroj:

[1] L. W. Budd Lee, The Dow Chemical Company Midland MI USA, STLE, Detroit 9. 5. 2013



Obrázek 4 [4]

[2] Dr. Govind Khemchandani, The Dow chemical Company, STLE HOUSTON CHAPTER, 9. 2. 2011

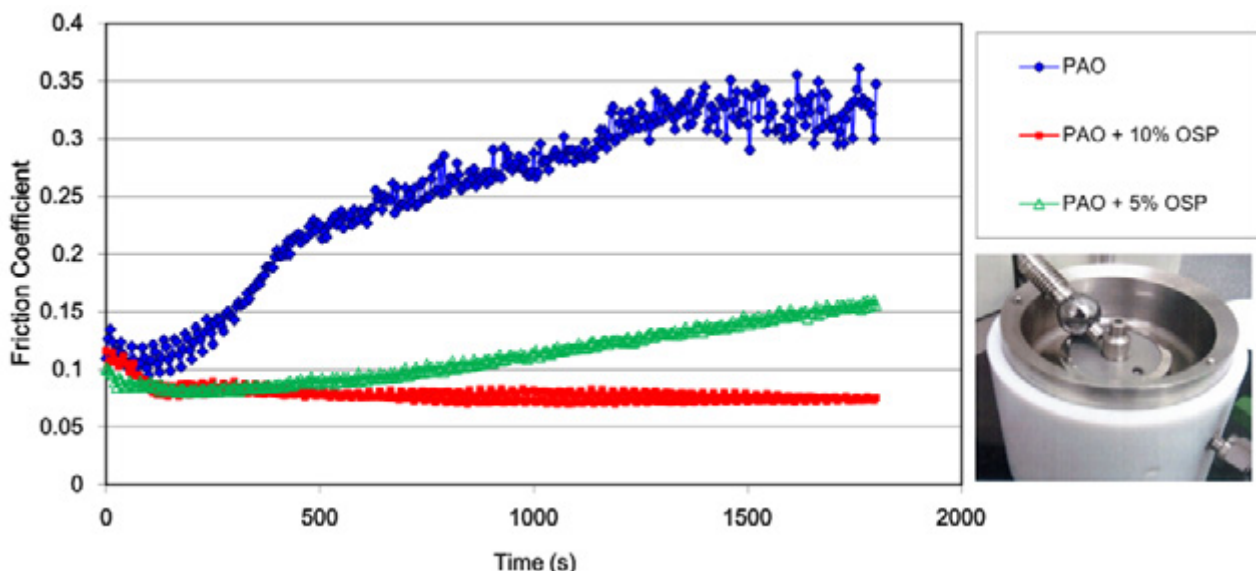
[3] Christine Walker, The Dow Chemical Company, STLE 2014

[4] ppt Oil Soluble Polyalkylene Glycols A New Group V Solution oil DOW CHEMICAL COMPANY Dr. Yaokun (Ken) Han R & D / TS & D Dow Performance Fluid

[5] STLE Annual Meeting 2014 – STLE Annual Meeting 2014 Orlando, Synthetic and Hydraulic Lubricants I May 19th, 2014

Recenzent

Ing. Růžička Pavel, Ph.D., TOTAL ČR s. r. o., Praha; osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik tribodiagnostik – Kategorie III



Obrázek 5 [1]

Nástroje digitalizace údržby a jejich přínos pro odborné vzdělávání na vysokých školách

Digitalization as an tool for maintenance and its benefits for vocational education at universities

MARIE MOŘKOVSKÁ¹, LADISLAV CHALÁNEK^{1,2}, TADEÁŠ LIPUS²

1) VŠB-TU OSTRAVA, FAKULTA STROJNÍ, KATEDRA VÝROBNÍCH STROJŮ A KONSTRUOVÁNÍ, 2) SKF CZ, A. S.

Anotace

Potřeba zefektivňovat průběh procesu edukace, zejména v technických oborech, neustává a vede vzdělávací instituce k implementaci moderních prostředků do výuky tak, aby byla co nejvíce zkvalitněna příprava studentů na reálné pracovní prostředí.

Zejména z tohoto důvodu je snaha pedagogů na Fakultě strojní VŠB-TU Ostrava využívat metody aktivní výuky, a to ve spolupráci s firmami z řad budoucích zaměstnavatelů, např. SKF CZ, a. s. Zároveň usilují, aby tyto společnosti umožnily používání firemních technologií ve výuce, aby studenti byli co nejvíce motivováni a připraveni na svá budoucí zaměstnání.

Annotation

The need to get more effective process of education, especially in technical fields, is permanent and leads educational institution to try to implement modern tools in teaching, in order to make the students as prepare as it is possible for the real working environment.

Especially, for this reason, the efforts of teachers at the Faculty of Mechanical Engineering VŠB TU-Ostrava are embracing methods of active teaching in cooperation with companies from the ranks of future employers, eg SKF CZ, a. s. The aim is for these companies to enable the use of their technology in the teaching so that students are motivated and prepared as much as possible for their future employment.

1. Úvod

Celosvětový zájem o špičkové odborníky a jedince s vyšším vzděláním otevírá cestu všestrannému a flexibilnímu vzdělávání. Neustálá potřeba zefektivňovat průběh procesu edukace vede vysoké školy jakožto vzdělávací a vědecké instituce k implementaci moderních prostředků do výuky tak, aby mohly být znalostní základy aplikovány na konkrétních příkladech z praxe.

V rámci této potřeby je kladen důraz na nutnost využití progresivních metod vzdělávání, a to v těsné vazbě na obor studijního programu a charakteristiku studujících. Pro studijní specializaci „technická diagnostika, opravy a udržování“ je to využití technického vybavení na vyhodnocování vibrací strojů, diagnostiku ložisek, analýzu infračerveného záření sledovaného objektu, sledování jevů v elektrických strojích a sítích, analýzu stavu maziv, sledování vad a indikací ve struktuře materiálů a na další.

Ke správné interpretaci získaných dat jsou kromě přístrojové techniky nezbytné také znalosti o obsluze a nastavení přístroje,

o správném umístění snímačů a povědomí o souboru norem týkajících se dané problematiky.

Z tohoto důvodu je žádoucí do studijních programů zařazovat také cvičení založená na aktivní edukaci např. s využitím nástrojů digitalizace údržby, jako jsou on-line systém Imx 8, snímač QuickCollect nebo Microlog sloužící pro pochybnou diagnostiku. Použití těchto technologií ve výuce povede k prohloubení odborných znalostí a ke kvalitnější přípravě na reálné pracovní prostředí.

Využití rozmanitých výukových prostředků učiní edukaci zajímavější a hlavně zkvalitní výsledky vzdělávání. Tento článek si tedy klade za cíl seznámit čtenáře s přínosy aktivní výuky technických předmětů ve vysokoškolské pedagogice.

2. Efektivní vyučování pomocí aktivního učení

Pro efektivní výuku je využíváno aktivního učení a jeho postupy a procesy, pomocí nichž student přijímá informace a na jejichž základě vytváří své úsudky a současně si rozvíjí schopnost kritického myšlení. Tato metoda spoléhá na plné zapojení každého studenta do procesu edukace, student tedy není jen pasivním článkem, ale je ve středu vzdělávacího dění, podílí se na získávání dat a jejich interpretaci na výsledky. Z tohoto důvodu jsou metody aktivního učení stále více zasazovány do výuky.

V tomto případě je úkolem vyučujícího naučit se využívat aktivizační metody tak, aby nepřebíral většinu aktivit a studenti tak nebyli jen v roli pozorovatele vyučovacího procesu. Také studenti se musejí naučit využívat aktivizační metody, aby celý průběh cvičení vedl ke kvalitním výsledkům. Za kvalitní výsledek edukace považujeme připravenost studenta na reálné pracovní prostředí.

Formou aktivní výuky na vysoké škole je především cvičení, které je pro studenty příležitostí k nácviu specifických praktických a technologických dovedností v technických oborech. Cvičení může být také součástí přednášky, na kterou navazuje. Důležitým předpokladem úspěchu vysokoškolského pedagoga je pochopit návaznost přednášky na cvičení, jakých cílů je cvičením dosahováno a jak dosáhnout toho, aby byli studenti při výuce aktivní a spolupracovali.

Cvičení v předmětech technického směru jsou velice specifická. V rámci těchto cvičení se studenti seznamují s podstatou technologií a se základy vědeckého výzkumu. Dále získávají zkušenosti v manipulaci nejen s objekty testování, ale také s přístroji a dalším vybavením. Vysoké školy technického směru jsou vybaveny nejrůznějšími moderními technickými výukovými prostředky. Tyto hmotné didaktické prostředky plní úlohu

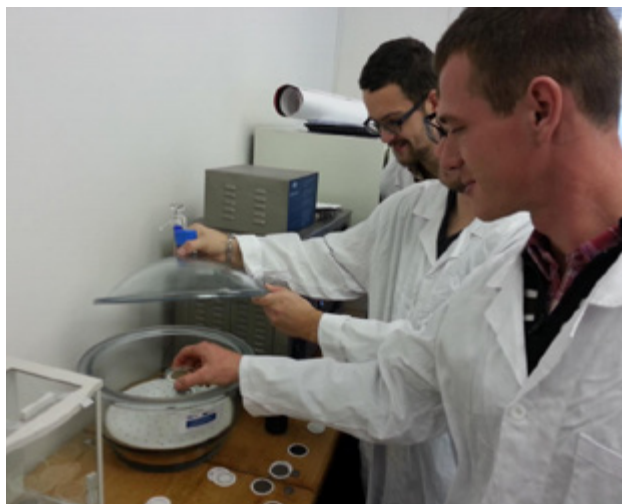
zprostředkovatele informací a zabezpečují výuku po materiální i technické stránce. Tím je podmíněno zefektivnění průběhu edukačního procesu a napomáháno dosažení edukačních cílů. Je nutné, aby pomůcky byly vybírány s ohledem na cíle a obsah výuky, ale také na schopnosti vyučujícího. Pedagogové technických předmětů však mají k technice pozitivní vztah, a tak její ovládání a manipulace s ní by neměly představovat problém. Skutečně nutná k posouzení pedagogem je výuka v souvislosti s charakterem učebního předmětu, množstvím a kvalitou učebních materiálů nebo velikostí studijních skupin.

I přes vysokou schopnost abstrakce vysokoškolských studentů, obzvláště u technických předmětů, je pro jejich motivaci významným faktorem vizualizace problematiky v reálném prostředí. Zejména proto je nezbytné, aby do výuky byly přinášeny předměty z praxe (např. zkolabované součásti), byly použity dokumentární a instruktážní filmy a ty následně analyzovány. Dále je vhodné demonstrovat konkrétní příklady aplikace učiva, zapojit do výuky odborníky z praxe a organizovat exkurze a zejména řešit reálné problémy na modelech pomocí technických výukových prostředků (viz obr. 1 výše), neboť studium zahrnuje nejen smysly, ale i myšlení a praxi. Odborníci také uvádějí, že je vhodné vyučovat různými metodami, jelikož student je schopen si zapamatovat 10 % z toho, co čte, 20 % z toho, co slyší, 30 % z toho, co vidí, 70 % z toho, co říká, a až 90 % z toho, co sám dělá.

3. Výukové prostředky technických předmětů

K dosahování edukačních cílů slouží výukové prostředky. Jejich využití by mělo být v souladu s celkovým pojetím vyučovaného předmětu, dále také s dovednostmi a zkušenostmi vysokoškolských učitelů odborných předmětů a s úrovní vývoje technologií. Efektivní uplatnění výukových prostředků ve výuce je podmíněno dovedností práce s přístroji, jež spočívá v ovládnutí portfolia funkcí a postupů pro schopnost správně vést studenty během cvičení.

Některé předměty na Fakultě strojní VŠB-TU Ostrava již výukové prostředky pro edukaci odborných předmětů využívají.



Obrázek 1: Práce studentů v laboratoři [8]

Z celého výčtu přístrojů zmíníme analyzátoři SKF Microlog nebo Adash, viskozitní lázeň Tamson, penetrometr Normalab, termovizní kameru Fluke a další.

Takovéto vybavení umožňuje provedení celé řady simulací, analýz, vyhodnocování dat a dalších činností prováděných v reálném čase na modelu. Jde zejména o následující:

- využití trendování hodnot zrychlení a rychlosti vibrací, jejich časového signálu, frekvenčních spekter pro vyhodnocování technického stavu;
- měření pomocí jednoosých či tříosých snímačů;
- měření technického stavu ložisek, převodovek, ventilátorů;
- hledání povrchových a podpovrchových necelistvostí;
- vyvažování strojních zařízení, měření nevyváženosti;
- diagnostika strojů a elektrozařízení pomocí termovize aj.

Není však vždy jednoduché v prostředí vysokoškolské pedagogiky reagovat na rychlost vývoje technologií. Řada zemí se již několik let zabývá vlivem tzv. čtvrté průmyslové revoluce, která by měla zásadním způsobem změnit povahu energetiky, průmyslu, strojírenství, logistiky a dalších. Očekává se, že jednotlivé elementy této revoluce, opírající se o digitalizaci, umělou inteligenci, kyberneticko-fyzické systémy atp., budou mít také společenské transformační dopady. I přesto, že je Česká republika zařazena mezi nejindustriálnější země Evropy, zůstává české vysoké školství za myšlenkou Průmysl 4.0 pozadu.

Abyste vysokoškolské vzdělávání obstálo v rámci nároků kvalifikace, jež plynou z Průmyslu 4.0, je nutné zásadně zkvalitnit celý edukační systém. Ke kvalitě a dobrému fungování systému je nutné mít motivované a kreativní absolventy škol s kritickým myšlením a schopností řešit problémy a rozhodovat se. Při výuce s technickými výukovými prostředky jsou studenti nuceni pracovat s informacemi, provádět analýzu dat, řešit problémy a hledat logické souvislosti. Na základě toho je pěstován postoj studenta k aktivitě, samostatnosti, dalšímu vzdělávání atd. To je pro cíle Průmysl 4.0 žádoucí.

Avšak jen nové technologie umožní rozšíření možností pro pedagogy i studenty. Technické univerzity jsou na dostatečné odborné úrovni, aby realizovaly kvalitní výuku, ale spíše v úzce zaměřených oborech. Nejlepší možností přístupu k novým technologiím je vstup zástupců zaměstnavatelů do vzdělávacích programů, aby byla podpořena realizace praktického vyučování studentů. Významnou roli také zastávají odborné stáže ve firmách. Vliv praxe v podnicích a firmách na aktivaci a výsledky studia je enormní. Podpora této formy výuky ze strany vzdělávací instituce je velmi žádoucí.

Dále by měla být jádrem výuky práce s výukovými prostředky, jako jsou nástroje a přístroje, jež budou adekvátní reálnému pracovnímu prostředí. Jednou ze společností podporujících vývoj vzdělávání, a to nejen na VŠB-TU Ostrava, je společnost SKF CZ, a. s., která chce umožnit zapojení nástrojů digitalizace údržby do vysokoškolského vzdělávání, aby byly prohloubeny odborné znalosti studentů.

4. Implementace nástrojů digitalizace údržby

Kvalitní údržba je základním předpokladem vysoké provozní spolehlivosti výrobních strojů, a to ať už je podpořena externí, či interní diagnostikou. Firmy se kvůli potřebě zkvalitnění výroby a zvýšení spolehlivosti strojů snaží přejít také na kvalitní systém

údržby. Tím je zejména prediktivní diagnostická údržba, které je dosahováno buď pomocí čistě externí diagnostiky, nebo pomocí interního diagnostického oddělení. Přístup externích firem může být dvojitý:

- specializovaná firma zastupuje pouze jedno odvětví diagnostiky;
- zabývá se multiparametrickou diagnostikou.

Služby firem, které nabízejí externí diagnostiku, jsou výhodné pro podniky, jejichž mechanická údržba nemá žádné nebo jen velice omezené zkušenosti s diagnostikou a monitorováním technického stavu.

Ve druhém případě, tj. interního přístupu k diagnostice, je nutné počítat s jistými náklady, a to:

- finančními (nákup měřicí techniky);
- personálními (školení zaměstnanců).

Na druhou stranu interní oddělení údržby přináší vysokou operabilitu, odpadnutí rizika zadavatele, kontrolovaný tok vnitřních informací a snadno kvantifikovatelné přínosy.

V rámci prediktivní údržby jsou řešeny především rotační stroje, u nichž je nejčtenější využití vibrační diagnostiky. Ta je schopna upozornit na poruchu již v zárodku vzniku. Je žádoucí, aby pracovník údržby včas zaznamenal vznikající poruchu zejména proto, že je možné zabránit náhlé odstávce výrobního zařízení, klíčových ventilátorů apod. a tím ušetřit značné finanční náklady.



Obrázek 3: Pracovník s analyzátozem Microlog (SKF) [6]



Obrázek 2: Snímač QuickCollect [7]

Pokud výrobní firmy, jež doposud využívají outsourcingu specializovaných firem, chtějí přejít na interní diagnostiku, je vhodné začít právě se základním monitoringem rotačních strojů. Existují přístroje pro pochůzkovou diagnostiku a také systémy pro on-line měření:

- základní monitoring rotačních strojů (QuickCollect, obr. 2);
- profesionální přístroje pro detailní analýzu (Microlog, obr. 3);
- on-line monitoring (Imx 8 a Imx 16, obr. 4).

Snímač SKF Quickcollect je nástroj pro základní monitorování rotačních strojů, jejichž pracovní otáčky přesahují 600 ot./min-1. Quickcollect měří rychlost, obálku signálu zrychlení a teplotu. Tento snímač je určen např. pro firmy, které chtějí začít

s monitorováním svých strojů a nemají zkušenosti s měřením vibrací. Pro zobrazení měření se používá aplikace volně stažitelná do telefonu nebo tabletu. Použití tohoto snímače spolu s využitím chytrého telefonu pro zobrazení naměřených hodnot je pro použití ve výuce velice jednoduché a uživatelsky přijatelné. Nejenže jsou pro studenty okamžitě zobrazeny měřené hodnoty, které mohou analyzovat, ale také je již vizuálně jasné, zda jsou naměřená data přípustná, tj. dle normy. Viz obr. 5.

V některých případech je však vyžadováno detailní sledování technického stavu strojů, především těch, jež jsou pro výrobu klíčové a jejichž náhlá odstávka by byla pro firmu finančně náročná. Detailní sledování je také používáno pro odhalení poruch neidentifikovatelných při pochůzkové diagnostice, a to např. z důvodu větších časových rozmezí mezi jednotlivými měřeními.

Pro takové aplikace je nutný přechod na on-line měřicí diagnostiku. Výhoda on-line měření oproti pochůzkovému spočívá v možnosti mnohonásobně vyššího počtu měření,



Obrázek 4: On-line systém Imx 8 [6]

kteřá jsou zobrazena v trendu naměřených hodnot. Rozestup mezi jednotlivými měřeními může být v řádech desítek minut, tzn. že pravděpodobnost zachycení vznikající poruchy je mnohonásobně vyšší než u pochůzkového měření. SKF nabízí například Imx 8, který by v budoucnu mohl být aplikován na přístroje využívané v prostorách VŠB-TU Ostrava; studenti by takto mohli zpracovávat data nejen z tzv. pochůzkového měření, ale také sledovat dlouhodobé trendy hodnot. To je ideální příprava na budoucí zaměstnání v tomto oboru a krok kupředu v rozvoji výuky daného odborného technického předmětu.

SKF nabízí kromě samostatného vyhodnocování dat také služby Remote Diagnostic Centre (RDC) v Ostravě, což je centrum vzdálené diagnostiky, které vyhodnocuje data přicházející ze sledovaných strojů z výrobních závodů, jež využívají právě Imx 8 či QuickCollect pro sběr dat, která následně vzdáleně analyzují odborníci v Ostravě. S ohledem na neustálý postup techniky je nutné také modernizovat způsoby vyhodnocování dat. Náhled studentů do způsobu vyhodnocování v RDC by zvýšil také atraktivitu tohoto oboru, jelikož pro dnešní generaci studentů je modernizace zpracování dat a využití analýz pomocí cloudových hodnot zajímavá.

5. Závěr

Pro řádnou přípravu studentů na budoucí povolání je vhodné, aby vysokoškolští pedagogové technických předmětů využívali různých edukačních metod. Dle odborníků je jednou z těch nejúčinnějších právě metoda aktivního učení s využitím výukových prostředků, jež jsou v souladu s oborem studia. Ty kromě jiného také vyvíjejí kritické myšlení, samostatnost a schopnost rozhodovat se.

V návaznosti na rozvoj studentů při aplikaci aktivizační metody výuky se předpokládá, že studenti absolvující vysokoškolské vzdělání v technickém oboru se i po ukončení studia budou nadále samostatně vzdělávat, uplatňovat tvůrčí myšlení a schopnost zpracování informací. Tato perspektiva vyžaduje, aby vysokoškolští učitelé technických předmětů dokázali studenty adekvátně připravit na budoucí profesi a směřovali studenty na podstatné a aktuální informace týkající se daného technického předmětu.

Neustálý rozvoj techniky a technologií znesnadňuje pedagogům připravit studenty technických specializací na reálné pracovní prostředí. Proto je snahou vzdělávacích institucí přizvat firmy a podniky a zapojit je do procesu edukace. Pedagogové a studenti tak dostávají příležitost odzkoušet si technologie využívané přímo v praxi a výuka se tak stává mnohem zajímavější a také efektivnější. Tato vzájemná spolupráce dále otevírá dveře možnostem exkurzí, odborným přednáškám a případné spolupráci na závěrečných pracích.



Obrázek 5: Pracovní prostředí QuickCollect SKF v mobilní aplikaci [7]

Efektivita takovéto spolupráce je obrovská.

Na VŠB-TU Ostrava je enormní snahou tuto spolupráci rozšířit a co neefektivněji zařadit do vyučovaných předmětů. Proto je zde velký zájem o implementaci různých přístrojových řešení do cvičení odborných předmětů nejen od společnosti SKF CZ, a. s., ale i od dalších významných firem technického oboru tak, aby specializace „technická diagnostika, opravy a udržování“ na této univerzitě dosáhla co nejvyšší kvality a efektivitu v práci se studenty.

Literatura:

- [1] SITNÁ, Dagmar. *Metody aktivního vyučování: spolupráce žáků ve skupinách*. Praha: Portál, 2009. ISBN 978-80-7367-246-1.
- [2] ROHLÍKOVÁ, Lucie, a VEJVODOVÁ, Jana. *Vyučovací metody na vysoké škole: praktický průvodce výukou v prezenční i distanční formě studia*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4152-9.
- [3] MIKLOŠÍKOVÁ, Miroslava. *Didaktika pro tvůrčí vysokoškolské učitele technických předmětů*. Žatec: Ohře Media, 2013. ISBN 978-80-905122-4-5.
- [4] DENEFF, A. Leigh a Craufurd D. W. GOODWIN, ed. *The academic's handbook*. 3rd ed. Durham: Duke University Press, 2007. ISBN 978-0-8223-3874-1.
- [5] Průmysl 4.0 má v Česku své místo. Ministerstvo průmyslu a obchodu [on-line]. Odbor 31300, 2. 9. 2016 [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/prumysl-4-0/initiativa-prumysl-4-0--176055/>
- [6] SKF Multilog On-line System IMx-8 [on-line]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/tcm:54-294338/0901d19680632304-SKF-Multilog-On-line-System-IMx-8_tcm_54-294338.pdf
- [7] Snímač SKF Quickcollect [on-line]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/tcm:54-306968/0901d19680681899-Snimac-SKF-QuickCollect---17198-CS_tcm_54-306968.pdf
- [8] BLATA, Jan. Laboratoř technické diagnostiky na katedře výrobních strojů a konstruování [on-line]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/2-Prezentace-Blata-vybaven%C3%AD%20technick%C3%A9%20diagnostiky%20FS%2065.pdf>

Recenzent

doc. Ing. Helebrant František, CSc., VŠB – Technická univerzita Ostrava; osoba certifikovaná na funkci Specialista vibrační diagnostiky – Kategorie III a Technik diagnostik tribodiagnostik – Kategorie II

Elektrodiagnostika jako součást multiparametrické diagnostiky v průmyslové praxi

Electrodiagnostics as a part of multiparametric diagnostics in industrial practice

MILOŠ HAMMER

ÚAI FSI VUT V BRNĚ

PETR NAHODIL

VIBRO-NAHODIL LOMNICE

Anotace:

Článek je zaměřen na elektrodiagnostiku a další diagnostické metody jako součást multiparametrické diagnostiky. V úvodní části je obecně pojednáno o technické diagnostice, jejím dělení a je objasněn pojem multiparametrická diagnostika. Dále je popsán objekt diagnostiky (dieselektrické soustrojí) a jsou stručně rozebrány aspekty s vlivem na jeho chování. Podstatná část článku je věnována příkladu použití multiparametrické diagnostiky s důrazem na rozbor a zobecnění výsledků. Nechybí návrh opatření pro technickou praxi a stručný závěr.

Annotation

The article is focused on electrodiagnostics and other diagnostic methods as a part of multiparametric diagnostics. The introductory part generally discusses technical diagnostics, its division and clarification of the concept of multiparametric diagnostics. Furthermore, the object of diagnostics - diesel-electric set is described and aspects with influence on its behavior are briefly analyzed. A substantial part of the article is devoted to the example of the use of multiparametric diagnostics with emphasis on the analysis and generalization of results. There is also a draft measure for technical practice and a brief conclusion.

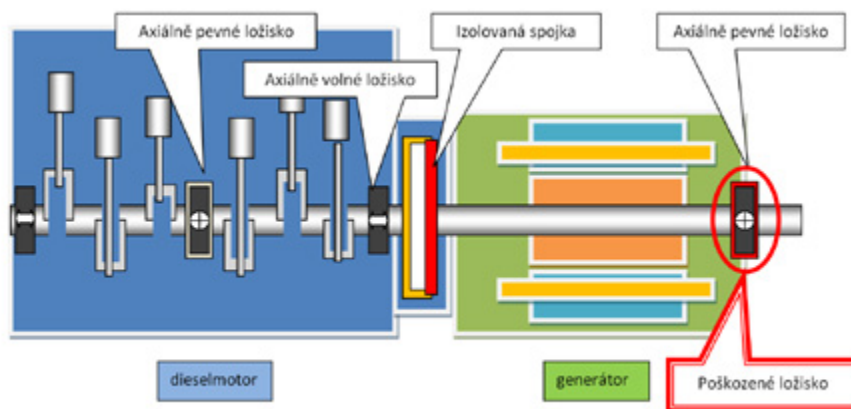
1. ÚVOD

Pro průmyslovou praxi je důležitá technická diagnostika. V současné době ji lze považovat za rozsáhlou vědní disciplínu, která prodělala značný vývoj. Nyní se na technickou diagnostiku dívá úplně jinak, než tomu bylo např. před 40 lety. V literatuře [1], [2] je technická diagnostika vždy chápána jako věda, která je zaměřena na zjištění technického stavu objektu. Základním současným úkolem diagnostiky není měřit, ale ohodnotit stav sledovaného zařízení. Nelze také jen vycházet z technických norem. Postupem času se technická diagnostika začala rozdělovat dle různých hledisek, avšak důležité je dělení podle příslušné diagnostické veličiny. Rozeznáváme tedy vibrodiagnostiku [2], termodiagnostiku [3], tribodiagnostiku [4], elektrodiagnostiku atd. Právě tyto diagnostiky mají pro průmyslovou praxi značný význam a nejvíce se používají. Je však třeba mít také na paměti,

že důležité dělení diagnostiky je i vzhledem ke sledovanému objektu, protože se použití diagnostiky liší, např. jedná-li se o výrobní stroj, čerpadlo, ventilátor, elektrický pohon apod. Jak již bylo výše naznačeno, technická diagnostika se vyvíjí jak z hlediska diagnostických prostředků, metod a metodik, tak i v pohledu na realizátora diagnostických šetření, tedy diagnostika, na něhož jsou kladeny vyšší nároky. Značný pokrok lze spatřovat rovněž v tom, že se k posouzení stavu objektu nyní nevyužívá jen jedna diagnostická metoda, např. určená z působícího dominantního degračního mechanismu, ale běžně se vychází z několika diagnostických metod nebo se v rámci jedné diagnostické metody sleduje více diagnostických veličin. Pro takto pojatou diagnostiku technických systémů se již běžně používá pojem multiparametrická diagnostika [2]. Předložený článek je zaměřen právě na elektrodiagnostiku jakožto součást multiparametrické diagnostiky a je naznačeno využití uvedeného včetně dalších diagnostických metod k posouzení stavu konkrétního technického systému z průmyslové praxe.

2. OBJEKT DIAGNOSTIKY- DIESELELEKTRICKÉ SOUSTROJÍ

V technické praxi se setkáváme s aplikací multiparametrické diagnostiky při řešení složitých technických problémů u strojů, které jsou specifické z hlediska aplikací a použití. Příkladem takového soustrojí je i dieselmotorový generátor sloužící jako zdroj energie pro pohon zařízení a vozidel velkých výkonů. Dieselektrické soustrojí se skládá z šestnáctiválcového dieselmotoru, který je spojen s hlavním generátorem pomocí izolované kompozitové diskové spojky. Hlavní, dvanáctipólový synchronní generátor o výkonu 2 000 kW je jednoložiskový



Obrázek 1: Schéma dieselelektrického soustrojí

a má valivé jednořadé kuličkové ložisko typu 60. Generátor je buzen přes kroužky ze statického budiče s pulzně šířkovou modulací řízení napětí a proudu. Výstupní napětí generátoru je usměrněno ve vestavěném výkonovém usměrňovači s výstupním napětím 6×430 V. Na obr. 1 je schéma uspořádání popisovaného dielelektrického soustrojí.

Aby bylo možné do relativně malého prostoru stroje „dostat“ velký výkon, je nutné, aby synchronní generátor, který je použit jako zdroj střídavého proudu, měl vysoký výkon. Toho je docíleno použitím vícepólových (až 12) generátorů, jež pracují při otáčkách, které jsou běžné pro čtyřpólové stroje. Provozní otáčky těchto dielelektrických soustrojí bývají v rozmezí 600 až 1 800 RPM, což ve výsledku znamená, že výstupní frekvence AC sítě bývá v rozmezí 60 až 180 Hz. Toto napětí je následně usměrněno a využito pro pohon stejnosměrných pohonů, případně přes frekvenční měnič pohonů střídavých.

3. ASPEKTY S VLIVEM NA CHOVÁNÍ DIESELELEKTRICKÝCH POHONŮ

Z hlediska diagnostiky nestacionárních dielelektrických pohonů je nutné vzít v úvahu několik aspektů, které mají vliv na jejich chování.

V první řadě je to mechanický vliv. Jedná se o rotační stroje, na které působí dynamické účinky z provozu zařízení nebo případně z jízdy vozidla. Vznikají přídatná zatížení na ložiska vlivem gyroskopického momentu, působí Coriolisovy síly, dále dynamické účinky od setrvačných sil, odstředivých sil působících na rotorové vinutí apod. Stanovení těchto vlivů při konstrukci zařízení bývá mnohdy velmi náročné.

V druhé řadě jsou to vlivy elektrické. Synchronní generátor a jeho hlavní frekvence je násobně vyšší, než známe u strojů pracujících s frekvencí 50 Hz. Běžné izolační systémy jsou navrženy na obvyklou frekvenci 50 Hz a při použití vyšších frekvencí je třeba brát v úvahu nejenom odpor izolace, ale především její impedanci, která je závislá na kapacitě izolačního systému, frekvenci sítě, případně na vyšších frekvencích, které mohou být zavlečeny ze statického budiče – pulzně šířkové modulace

buzení rotoru generátoru. V důsledku těchto vyšších frekvencí v systému dielelektrického pohonu vznikají kapacitní proudy, které se uzavírají přes valivá ložiska generátoru a v horším případě se mohou uzavírat i přes pohonnou jednotku dieselmotoru.

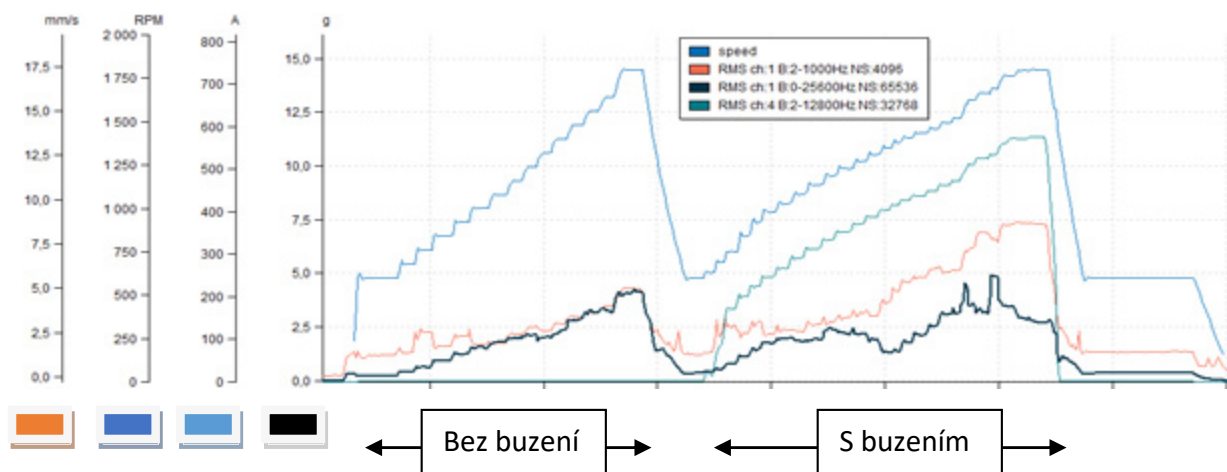
Tyto popsané vlivy mají nepříznivý účinek na životnost ložiskového uložení soustrojí a pro zjištění příčin je vhodná analýza zařízení právě s využitím multiparametrické diagnostiky.

4. PŘÍKLAD POUŽITÍ MULTIPARAMETRICKÉ DIAGNOSTIKY

Následně je uveden příklad použití multiparametrické diagnostiky v případě synchronního generátoru, kde se objevila krátká životnost ložiska generátoru. V první fázi bylo provedeno vibrodiagnostické měření soustrojí v rozsahu otáček, kde byla zjištěna závada na vnějším kroužku ložiska. Vzhledem k tomu, že se nejednalo o ojedinělou závadu jen u jednoho zařízení, bylo nutné k diagnostice přistupovat z hlediska stanovení nejen rozsahu poškození ložiska, ale i z hlediska příčin, které vedou ke snížení životnosti. Proto byla provedena demontáž a výměna vadného ložiska. Toto ložisko bylo následně podrobeno detailnějšímu zkoumání, byly odebrány vzorky mazacího tuku pro tribodiagnostickou analýzu a také provedena důkladná prohlídka poškozeného uzlu. Z analýzy poškozeného ložiska bylo zjištěno, že příčinou poškození je nejen mechanický vliv na ložisko, ale také je patrný vliv z důvodu průchodu elektrického proudu. Tyto závěry byly použity z hlediska posouzení stavu i dalších zařízení. V předkládaném článku je dále uveden příklad použití multiparametrické diagnostiky u jiného dielelektrického soustrojí.

Nejprve byla provedena vibrodiagnostika a elektrodiagnostika u sledovaného dielelektrického soustrojí.

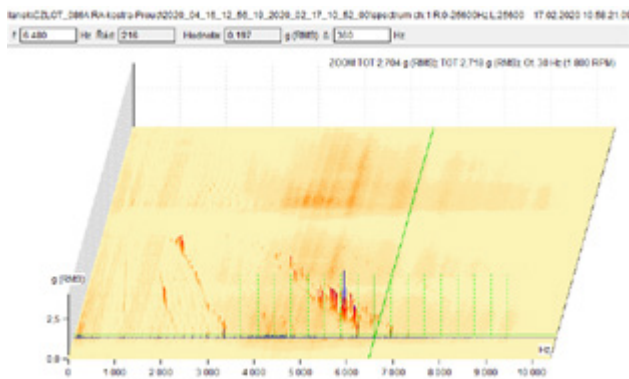
Byly porovnávány širokopásmové hodnoty rychlosti vibrací a zrychlení s hodnotou proudu v závislosti na otáčkách soustrojí. Výsledky jsou na obr. 2. Z provedeného srovnání je patrné, že zatížení generátoru, které se v grafu projevuje zvýšením hodnoty statorového proudu, má vliv na hodnoty rychlosti vibrací, nikoli na hodnotu zrychlení.



Obrázek 2: Závislost širokopásmových hodnot rychlosti a zrychlení vibrací, dále proudu na otáčkách

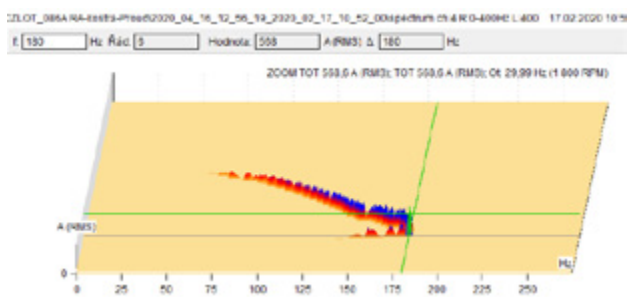
Při porovnání spekter proudu a zrychlení lze spatřovat určitou souvislost mezi těmito veličinami v naměřených spektrech. Při výstupní frekvenci proudu 180 Hz je ve spektru zrychlení jasně zřetelná amplituda na 6násobku výstupní frekvence proudu (počet pólových dvojic). Tato harmonická frekvence má dále na 1- (1 080 Hz), 2- (2 160 Hz) a 3násobku (3 240 Hz) zvýrazněnou amplitudu zrychlení a následně je zřetelný 6násobek této amplitudy (6 480 Hz) s postranním pásmem 360 Hz, což je 2× výstupní frekvence proudu.

V běhu bez napětí (bez výkonu, respektive bez buzení generátoru) se tyto složky závislé na napětí a proudu nevyskytují, viz obr. 3.



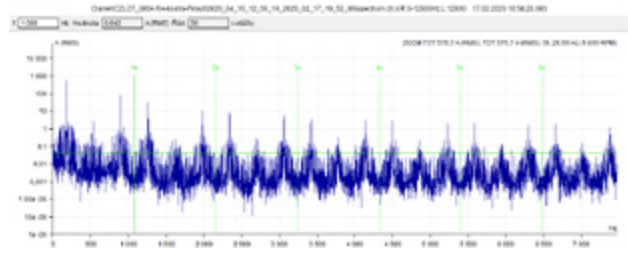
Obrázek 3: Spektrum zrychlení při běhu bez napětí a s napětím

Na obrázku 4 je vidět proud a jeho frekvence při měření sledovaných hodnot při buzení generátoru v rozsahu otáček 600 až 1 800 za minutu (RPM). Minimální frekvence proudu je 60 Hz při otáčkách 600 RPM a 180 Hz při otáčkách 1 800 RPM, která vychází z obecného vztahu $f = p \cdot n / 60$.

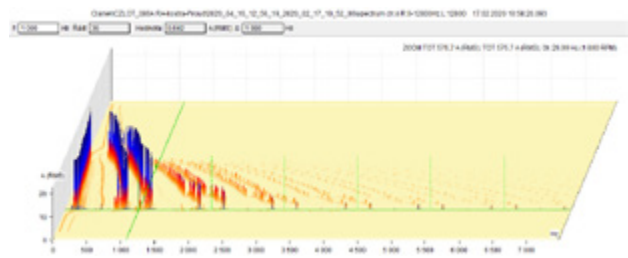


Obrázek 4: Spektrum výstupní frekvence proudu

Na obrázku 5 je spektrum statorového proudu, kde jsou zřejmé harmonické násobky dvojic postranního pásma se středem na 6násobku frekvence proudu, tj. na frekvenci 1 080 Hz, 2 160 Hz, 3 240 Hz atd. Tyto frekvence a jejich závislost na otáčkách bez buzení a s buzením odpovídají frekvenci, která byla naměřena ve spektru zrychlení vibrací; je zde patrná souvislost mezi proudem a zrychlením vibrací. Na obrázku 6 je spektrum výstupní frekvence proudu v závislosti na otáčkách bez buzení a s buzením generátoru.

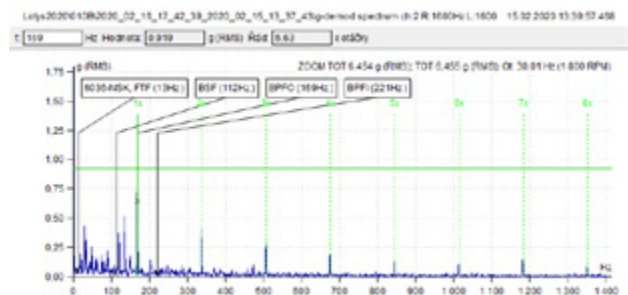


Obrázek 5: Spektrum výstupní frekvence proudu při otáčkách motoru 1 800 RPM



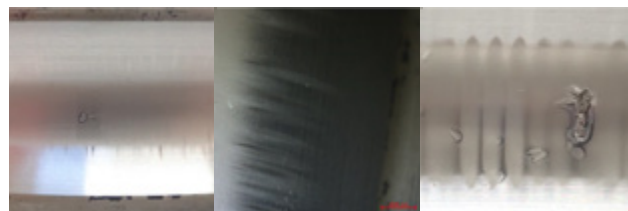
Obrázek 6: Spektrum výstupní frekvence proudu v závislosti na otáčkách bez buzení a s buzením generátoru

Z analýzy obálky (obr. 7) zrychlení ložiska (konkrétní typ 6036 NSK) generátoru, které je použito, je patrné jeho poškození na vnějším kroužku – frekvence BPFO a její harmonické násobky.



Obrázek 7: Analýza spektra obálky zrychlení vibrací ložiska

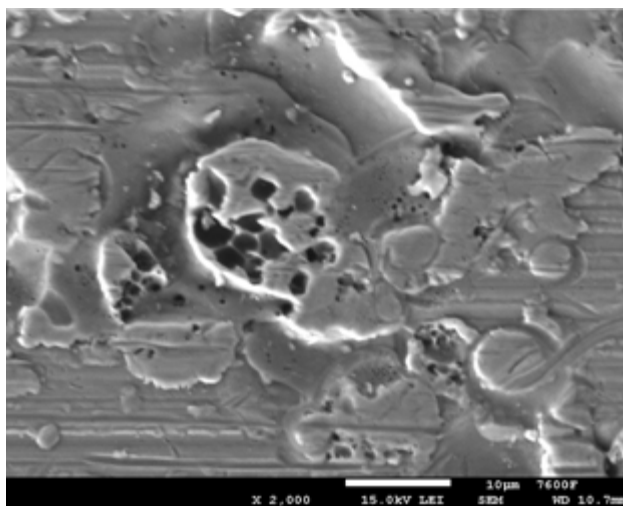
Po měření bylo ložisko demontováno a vyměněno; následně byl proveden rozbor poškozeného ložiska. Na obrázku 8 je možné vidět několik problémů od axiálních vtisků způsobených dynamickým zatížením a rovněž rázy od setrvačných hmot rotoru přes průchod elektrického proudu až po odlupování



Obrázek 8: Snímky poškození ložiska

horních vrstev, jež bylo způsobeno pravděpodobně podpovrchovými trhlinami.

Následně bylo ložisko podrobena zkoumání pod elektronovým mikroskopem, viz přítomnost nečistot i stopy po přetaveném materiálu. Dále jsou na valivé dráze patrné jednotlivé důlky větších rozměrů, ve kterých na jejich spodku ulpívají nečistoty, a stopy po vychýlení kuliček u stojícího i pomalu se otáčejícího ložiska.



Obrázek 9: Snímek dráhy ložiska z elektronového mikroskopu

Pro ucelený diagnostický obraz tohoto zařízení byl proveden i tribodiagnostický rozbor použitého tuku ložiska. V mazivu se vyskytovalo poměrně velké množství prvku železa a prachových částic, méně pak mědi a olova. Zajímavostí u tohoto poškození proudem bylo, že se metodou infračervené spektroskopie FTIR (obr. 9) nezjistila oxidace mazacího tuku, která bývá u průchodu elektrickým proudem běžná. To lze pravděpodobně vysvětlit tím, že viskozita použitého maziva nebyla vhodně navržena,

což potvrdil i kontrolní výpočet pro toto mazivo s uvažováním reálného zatížení maziva.

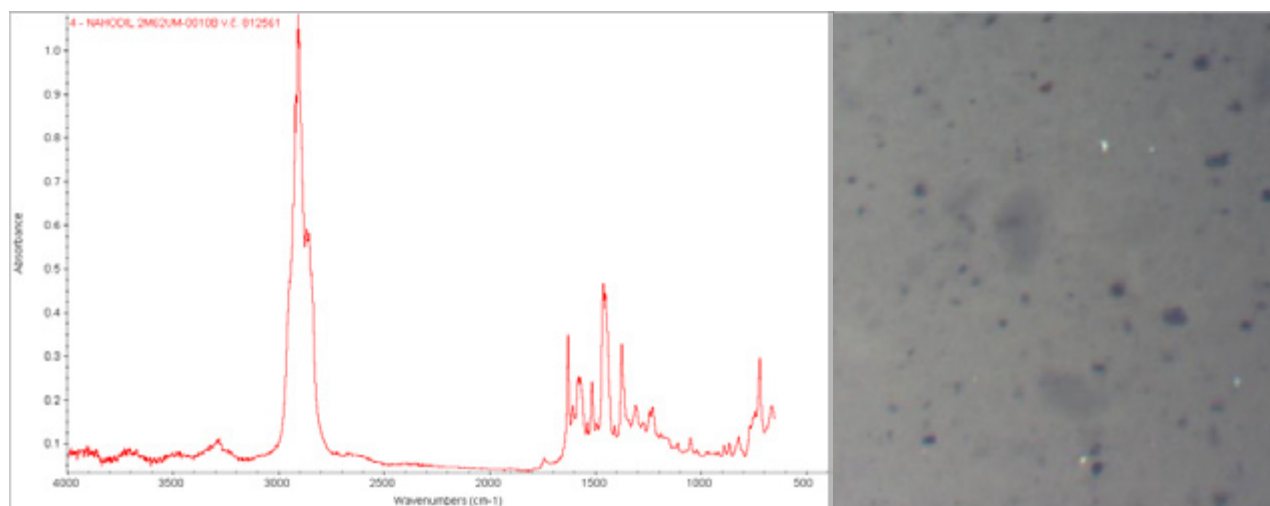
Z provedených měření a analýz bylo zjištěno několik problémů. Na hlavním generátoru je použito jednořadé kuličkové ložisko. Vzhledem k tomu, že se jednotka neustále pohybuje, dochází v ložisku vlivem velké hmotnosti rotoru a vlivem setrvačných sil k axiálním rázům, které poškozují dráhu ložiska. Dochází rovněž k neustálým změnám rotace valivého elementu, kde se mění osa rotace v závislosti na změně stykového úhlu valivého elementu v ložisku. Vlivem změn osy rotace dochází ke smýkání kuličky mezi kroužky ložiska, k vytlačování maziva a k poškození dráhy ložiska.

Na základě rozboru ložiska pod elektronovým mikroskopem bylo potvrzeno, že mimo mechanické příčiny poškození je zde i poškození průchodem elektrického proudu přes ložisko. Z rozboru konstrukce hlavního generátoru a měření elektrického odporu spojky bylo zjištěno, že uzavírání elektrického obvodu z důvodu indukce hřídelového napětí na rotoru přes spojky není možné, a to kvůli vysokému odporu spojky.

Další příčinou, kdy může přes ložisko procházet proud, je průchod kapacitních proudů, který je zde vzhledem k vysoké síťové frekvenci pravděpodobnější. Tyto kapacitní proudy jsou dále ovlivněny i použitím buzení z řízeného statického budiče s nosnou frekvencí 1 kHz.

Další příčinou průchodu elektrického proudu je průsakový proud z vinutí rotoru. Rotor vinutí je zhotoven metodou vyspávaného vinutí z kulatého vodiče, kdy tato technologie pro sledované stroje z hlediska mechanické odolnosti není příliš vhodná. Hrozí zde riziko vzniku závitových zkratů, neustálého pohybu vodičů vlivem odstředivých sil a vibrací, případně průsaku proudu na rotor v důsledku zeslabení a stárnutí izolace vinutí vlivem vyšší síťové frekvence.

Z provedené tribodiagnostiky a rozboru použitého maziva bylo zjištěno, že navržené mazivo by bylo vhodné pro statický stroj, nikoli pro dynamicky zatížený stroj, v tomto případě generátor zařízení či vozidla. Pro rázové zatížení má použité mazivo menší únosnost a z hlediska zvýšení únosnosti bylo



Obrázek 10: FTIR spektrum mazacího tuku a mikroskopický snímek použitého maziva

doporučeno použít mazivo s vyšší viskozitou s přísadou EP (vysokotlaké, protioděrové přísady) složek.

Výše popsané problémy bylo možné sledovat i u dalších diagnostikovaných dielelektrických soustrojí, která byla použita u podobně provozovaných průmyslových zařízení.

6. NÁVRH OPATŘENÍ

Na základě provedené analýzy popsaného dielelektrického soustrojí bylo navrženo několik opatření, která se postupně realizují na dalších zařízeních a vozidlech, jež tato soustrojí používají.

1) Abychom odstranili vliv mechanického působení na ložiska a aby se zabránilo prokluzům valivých elementů ložiska, byla provedena rekonstrukce ložiskového uzlu hlavního generátoru. Původní jednořadé kuličkové ložisko 6036 bylo nahrazeno dvojicí ložisek s kosoúhlým stykem řady 7036 s předem definovanou ložiskovou vůlí v pozici montáže o „X“ s vloženým distančním kroužkem tak, aby mazání ložisek bylo přiváděno mezi obě ložiska a rovnoměrně rozváděno přes obě tato ložiska. Dále je zde přesně nastavena ložisková vůle s ohledem na toleranční pole vnitřního a vnějšího kroužku a na tepelnou roztažnost hřídele a ložiskového štítu. Uspořádání ložisek do „X“ a tloušťka distančního kroužku jsou stanoveny kvůli požadované menší tuhosti ložiskového uspořádání, než má uspořádání do „O“, a to z důvodu konstrukce jednoložiskového generátoru a případného vychýlení osy rotoru v ložisku.

Kosoúhlá ložiska lépe zachytávají axiální síly a použitím dvou kosoúhlých ložisek rozdělíme zachytávání sil v různých směrech na příslušné ložisko, tím se zamezí i neustálé změně rotace valivého elementu v ložisku a vyloučí se jeho prokluz.

- 2) Pro mazání ložisek bylo navrženo použití speciálního mazacího tuku Klüberlectric HB 72-102 se zvýšenou vodivostí, tím se omezí hoření oblouku mezi valivým elementem a oběžnou dráhou ložiska.
- 3) Použití zemního kartáče ložiska. Abychom co nejvíce ochránili ložisko, byla na vnitřní víčko namontována dvojice zemnicích kartáčů, které pomohou snížit velikost proudu procházejícího ložiskem.
- 4) Použití izolovaných ložisek, případně hybridních ložisek, je z hlediska jejich dostupnosti velmi problematické. Nicméně v případě jejich dostupnosti by použití přineslo další zlepšení z hlediska zabránění poškození.

7. ZÁVĚR

Článek seznamuje čtenáře s příkladem využití multiparametrické diagnostiky k posouzení stavu zařízení z technické praxe. Důraz je kladen na využití elektrodiagnostiky a její konfrontaci z hlediska výsledků i za použití jiných diagnostických metod. Je zde zmíněna i tribodiagnostika a vibrodiagnostika, tedy metody, které jsou

také součástí multiparametrické diagnostiky a které nacházejí v průmyslové praxi stále větší využití. Vše výše uvedené ve svém důsledku řeší nejen vlastní diagnostiku, ale také může být podkladem pro stanovení údržby a má vliv i na konstrukční záležitosti komponent technických zařízení. Použitím souboru vhodných metod multiparametrické diagnostiky, provedením důkladné analýzy chování diagnostikovaného objektu a návrhem opatření docílíme zvyšování životnosti technických systémů jako celku.

AUTOŘI

Doc. Ing. Miloš Hammer, CSc., osoba certifikovaná na funkci Specialista vibrační diagnostiky – Kategorie II a Technik diagnostik elektrických zařízení – Kategorie II

Ing. Petr Nahodil, osoba certifikovaná na funkci Specialista vibrační diagnostiky – Kategorie III a Technik diagnostik elektrických zařízení – Kategorie I

Literatura

[1] KREIDL, Marcel a ŠMÍD, Radislav. Technická diagnostika. 4. díl, senzory neelektrických veličin: senzory-metody-analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

[2] HELEBRANT, František a ZIEGLER, Jiří. Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004. 173 s. ISBN 80-248-0650-9.

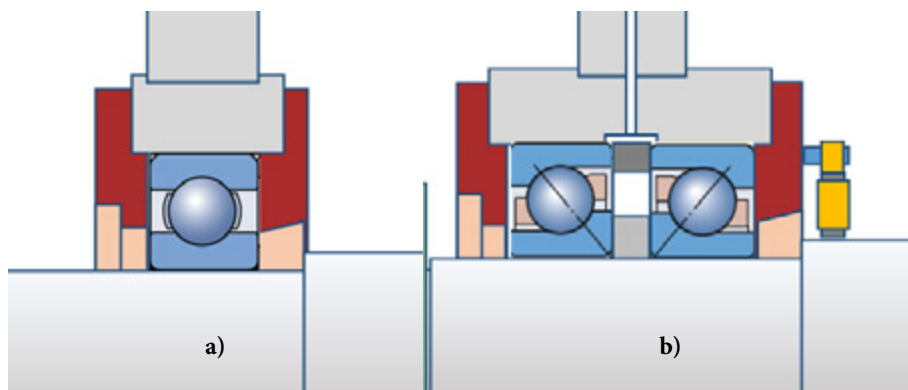
[3] PEŤKOVÁ, Viera a SVOBODA, Jiří. Termodiagnostika. 1. vyd. Košice: Vydavatelstvo VIENALA, 2016. 310 s. ISBN 978-80-8126-132-9.

[4] ZIEGLER, Jiří, HELEBRANT, František a MARASOVÁ, Daniela. Technická diagnostika a spolehlivost. Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001. 155 s. ISBN 80-7078-883-6.

[5] LEGÁT, Václav a kol. Management a inženýrství údržby. 2. doplněné vyd. Příbram: Kamil Mařík Pbtisk, 2016. 622 s. ISBN 978-80-7431-163-2.

Recenzent:

Lumír Kolář, specialista vibrační diagnostiky, třída IV



Obrázek 11: Konstrukce ložiskového uložení: a) původní řešení s kuličkovým ložiskem řady 60, b) navržené řešení s dvojicí kosoúhlých ložisek řady 70 a s uzemňovacím kartáčem

Využití „akustických“ kamer pro prediktivní údržbu

Use of “acoustic” cameras for predictive maintenance

ING. VÁCLAV STRAKA, ING. ANTONÍN KRŇOUL,
PAVEL PETRÁŇ
TMV SS, S. R. O.

Abstrakt

Metoda akustické emise (AE) je poměrně standardní diagnostickou metodou využívanou v oblasti NDT, vědy a výzkumu, ale i v oblasti prediktivní údržby. Používají se jak kontaktní, tak bezkontaktní metody. V tomto materiálu budou představeny možné aplikace tzv. akustických kamer pro oblast prediktivní údržby, respektive jejich aplikace na detekci poruchových stavů ve dvou různých oblastech.

Abstract

Diagnostic method of acoustic emission is pretty common diagnostic method used in NDT, RD but in the area of predictive maintenance too. This method can use contact and non-contact sensors. In this materials authors would introduce possible application of, so called „acousticcameras“ in the predictive maintenance area, respectively its application in two different application areas.

Úvod

Metoda akustické emise je dlouhodobě užívána v širokém spektru diagnostických činností a je standardně aplikována na široké spektrum prvků. Běžně se využívá jak pro monitoring, tak pro testování, a to nejen v oblasti točivých strojů, ale například i v materiálovém výzkumu.

Kontaktní měření

Metoda je založena na snímání elastického vlnění, které vzniká v důsledku dynamických procesů objevujících se v materiálu při jeho zatěžování vnitřními nebo vnějšími silami. Technika AE umožňuje sledovat kumulaci poškození, průběh plastické deformace, iniciaci a šíření trhlin, různé fázové transformace, korozní děje, ale např. i proudění tekutin apod. Vzniklé mechanické vlnění je snímáno

na povrchu sledovaných vzorků a konstrukcí pomocí různých typů snímačů AE, v nichž je transformováno na elektrický signál. Běžná zařízení pro sledování AE využívají piezoelektrické snímače, které pracují v oblasti od desítek až stovek kHz až po malé jednotky MHz. Tyto



*Obrázek 1: Detekce časově-
tečných výbojů pomocí
jednobodového detektoru
a parabolické antény [4]*

prvky snímají povrchové vlny a společně s různými zesilovači a filtry vytvářejí elektrický signál, který je nositelem informací o dějích probíhajících v zatěženém materiálu.

Akustická emise je tedy velmi univerzální metodou NDT pro mnoho průmyslových odvětví:

- tlakové testy nádrží, zásobníků a potrubí,
- příprava zatěžovacích měření,
- vznik, vývoj a šíření trhlin,
- systém pro detekci úniků,
- monitorování koroze,
- detekce výbojů v olejových transformátorech,
- kontrola kvality ve výrobě,
- delaminace v kompozitních materiálech a betonech,
- kontrola výrobních procesů (svařování, obrábění, sledování laseru nebo vodního paprsku, fermentační procesy, sušení dřeva),
- diagnostika rotačních strojů (ložiska, převody),
- diagnostika vn a vvn vypínačů.

V naprosté většině případů je nutno používat kontaktní snímače, což je vhodné z pohledu monitorovacích systémů, avšak z hlediska prediktivní údržby či v případě nutnosti kontroly velkého množství prvků se právě z instalace snímačů stává časově omezující úkon. Na druhou stranu je zapotřebí zohlednit fakt, že právě fyzické umístění a připevnění kontaktních snímačů umožňuje mít kontrolu i nad geometrickým šířením signálu či jeho útlumem.

Bezkontaktní měření

Samostatnou kapitolou je snímání akustické emise bezkontaktně, tj. pomocí mikrofonů či jejich sestav. Na jednu stranu odstraňuje problémy s instalací senzorů na snímávaný prvek, na druhou stranu je zapotřebí vzít v potaz faktory, jako je odraz akustického signálu, případně interpolace signálů z více zdrojů.

Jednobodové bezkontaktní senzory

Relativně často jsou používány v oblasti prediktivní údržby samostatné (jednotlivé senzory) vybavené doplnky pro koncentraci signálu, ať už se jedná o trychtýře, či parabolické antény. Takovéto řešení se obvykle používá na delší jevy, jako jsou např.:

- mechanické tření,
- periodicky se opakující výbojová aktivita,
- úniky stlačených plynů, například vzduchu.

Toto řešení se obvykle nepoužívá na sledování strukturálních změn materiálu, konstrukcí nebo prvků, neboť se jedná o velmi rychlé jevy vyžadující vysokou vzorkovací frekvenci ve stovkách kHz až jednotkách MHz, kde se jeví jako výhodnější použití kontaktních senzorů. Stejně tak je zapotřebí vzít v potaz, v případě bezkontaktních systémů, i kvantifikaci signálu. Vzhledem k tomu, že akustický signál se šíří vzduchem, je obvyklá kvantifikace v dB, avšak při šíření signálu dochází k jeho útlumu v závislosti na vzdálenosti, vlhkosti a teplotě atmosféry, případně na konkrétní frekvenci emitovaného signálu.

V případě jednotlivých senzorů, byť doplněných o trychtýře či parabolické antény (viz obr. 1), je nutno zohlednit směrovou selektivitu řešení. Pokud je prostorový úhel (můžeme si ho pro jednodušost představit jako zorné pole) příliš široký, znamená to horší vyhledání konkrétního zdroje akustického signálu, případně určení, zdali se jedná o zdroj skutečný nebo zdánlivý, tzn. odraz skutečného zdroje. Opačný případ nastává za situace, kdy je směrová charakteristika úzká, což sice umožňuje lepší a jednodušší určení místa emise signálu, avšak současně vyžaduje nutnost detailního prozkoumání celé oblasti, přičemž problematika odražených signálů zůstává identická, stejně jako v případě senzorů se širším prostorovým úhlem. Pokud je jev ve větší vzdálenosti, nastává i riziko špatného určení zdroje.

Vícebodové bezkontaktní systémy – akustické kamery

Akustickými kamerami se obvykle nazývají sestavy složené z většího množství jednotlivých senzorů (mikrofonů) doplněných o vizuální kameru, přičemž signály/záznam z obou zdrojů jsou následně překryty a je vytvořena akustická mapa na pozadí viditelného snímku. Takové řešení umožňuje nejen přehled o zdrojích signálu a jejich umístění, tzn. jejich lokalizaci, ale i výrazné usnadnění prezentace výsledku. Za akustickou kameru tedy nelze považovat řešení, kdy je obraz vizuální kamery doplněn signálem (hodnotou) jednoho akustického senzoru.

Fixní aplikace

Až do nedávné minulosti se obvykle jednalo o poměrně rozsáhlé systémy (včetně řídicí jednotky, event. PC) určené pro stacionární aplikace, tzn. umístění na jednom místě, případně statické sledování konkrétního objektu v laboratoři. Příklad takové aplikace můžete nalézt na obrázku 2 ze zdroje [2]. Tyto systémy na jednu stranu umožňují vysokou přesnost a frekvenční rozsah daného měření, ale současně právě koncepce uspořádání je limitujícím faktorem pro účely prediktivní údržby nebo pochůzkové kontroly zařízení.



Obrázek 2: Fixní aplikace

Mobilní systémy

Pokud se jedná o požadavky na pochůzkovou kontrolu, můžeme mezi vhodné aplikace zahrnout následující jevy:

- mechanické tření,
- výbojovou aktivitu,
- úniky stlačeného vzduchu.

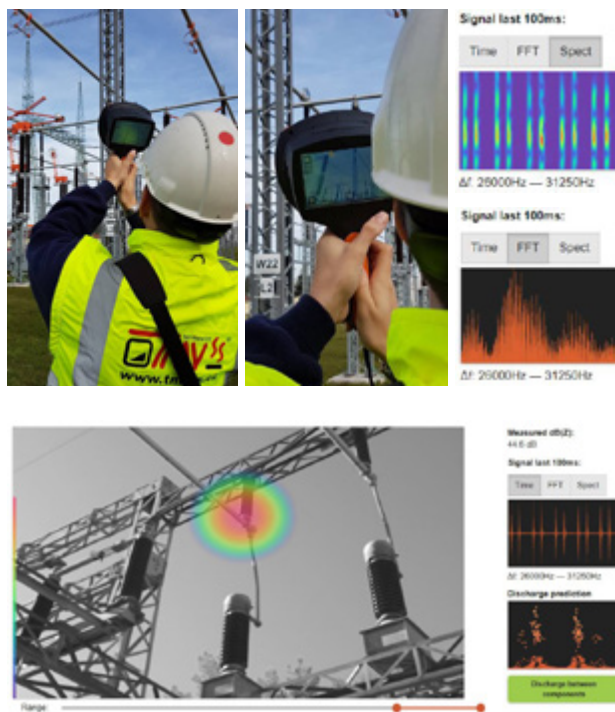
Podmínkou je vždy mobilita řešení, jež umožňuje právě snadnou přemístitelnost, respektive flexibilitu příslušného pracovníka při vyhledávání poruchových jevů a tím snadnou kontrolu širokého spektra a množství prvků. V následujících částech budou popsány aplikace určené k detekci výbojové aktivity a úniků stlačeného vzduchu. Aplikace zahrnující mechanické tření není opomenuta, ale není rozebrána podrobněji vzhledem k nedostatečnému množství dat, která na dané aplikaci autoři pořídili.

Detekce výbojové aktivity

Detekce výbojové aktivity, respektive částečných výbojů, umožňuje detekovat prvky, u nichž dochází k tvorbě tohoto jevu. Jedná se hlavně o následující příčiny:

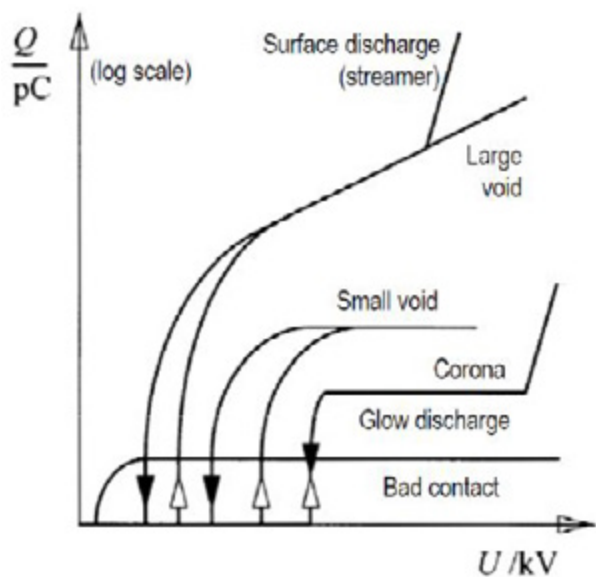
- selhání izolačního systému,
- přetěžování izolačního systému,
- chybu v konstrukčním návrhu prvku,
- nedostatky při výrobě nebo instalaci.

Samotná detekce jevu nemusí být dostačující pro určení jeho podstaty, proto je vizuální informaci vhodné doplnit o rozložení výbojové aktivity vůči periodě excitačního zdroje (obvykle napětí), dále o průběh signálu, FFT analýzu, případně analýzu spektra signálu.



Obrázek 3: Detekce výbojové aktivity v transformovně vvn a zvn akustickou kamerou

Na předchozí skupině obrázků (obr. 3) je uveden příklad výbojové aktivity mezi komponenty, včetně rozložení aktivi-



Obrázek 4: Průběh výbojové aktivity v závislosti na typu příčiny

ty vůči sinusovému průběhu signálu. Podstatná není pouze intenzita jevu (v tomto případě vyjádřená v dB), ale právě průběh detekovaného signálu. Pokud bychom mu chtěli lépe porozumět, můžeme vycházet z následujícího grafu popisujícího závislost odezvy na průběhu napětí:

Jedná se o znázornění průběhů odezvy na aktuálním defektu a jeho úrovně v pC. I když jde v tomto případě o akustickou detekci, nikoli elektrickou, je možno tyto průběhy úspěšně aplikovat i na naměřený akustický signál. Kvantifikace v případě akustické detekce je prováděna v dB. Tuto hodnotu je možno za znalosti okolních podmínek (teplota, vlhkost, vzdálenost, případně frekvence) převést na údaj v pC, avšak tento převod je v terénních podmínkách komplikovaný a vzniká riziko zavedení značné nejistoty do výsledné hodnoty. Grafické znázornění je na obrázku 4.

Typ	Lissajousovy obrazce	Popis	Uspořádání
A		Pauly stejné velikosti v jedné půlperiodě, symetricky okolo maxima napětí. Počet pulzů roste s napětím, amplituda je konstantní. Pauly v druhé půlperiodě posuv při vyšším napětí.	Hrot – deska v plyšných izolacích pulsy v záporné půlperiodě, je hrot na vysokém potenciálu. V opačném případě jsou pulsy v kladné půlperiodě.
B		Pauly v obou půlperiodách symetricky okolo napětí maxim/minim. V jedné půlperiodě jsou pulsy větší, v druhé půlperiodě větší množství malých pulzů. Počet pulzů roste s napětím.	Hrot – deska v kapalných izolacích. Pokud jsou pulsy s větší amplitudou v kladné půlperiodě, je hrot na vysokém potenciálu.
C		Pauly mezi přechody malou a velkými v obou půlperiodách. Pauly v obou půlperiodách mají stejnou velikost.	Dotazy v pevném či kapalném izolantu, dotyk izolovaných vodičů, povrchové výboje bez galvanického spojení.
D		Pauly mezi přechody malou a velkými v obou půlperiodách. Pauly v jedné půlperiodě jsou větší než pulsy v druhé půlperiodě.	Dotazy v pevném či kapalném izolantu u elektrod. Pokud jsou pulsy s větší amplitudou v kladné půlperiodě, je hrot na vysokém potenciálu.
E		Pauly symetricky rozmístěné kolem obou přechodů malým napětím.	Spáry, kontakty mezi kovovými částmi nebo potvrdovacími ventily.

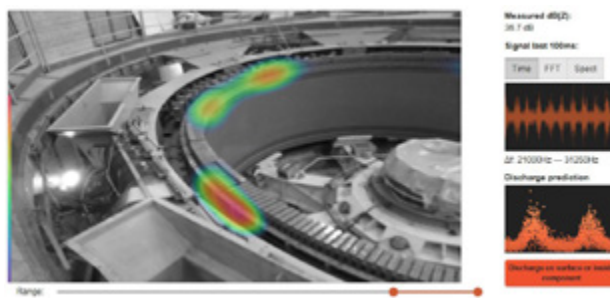
Obrázek 5: Lissajousovy charakteristiky [3]

Pro určení typu poruchy je též možno použít obdobnou formu vyjádření závislosti výbojové aktivity na průběhu signálu; jde o Lissajousovy charakteristiky uvedené na následujícím obrázku (obr. 5):

Platí, že i když jsou tyto charakteristiky obvykle používány pouze pro metody, při nichž je detekce výbojové aktivity prováděna na elektrickém principu, je možno je s úspěchem použít i pro detekci akustickou. Na základě těchto charakteristik uvedených na obrázku 5 je tedy možno poměrně spolehlivě usuzovat na charakter a příčinu jevu a tím i na možný rozsah nápravných opatření. Stejně tak důležité je rovněž frekvenční rozložení odezvy daného signálu.

Detekci výbojů je možno provádět nejen na venkovních prvcích distribuce a přenosu elektrické energie (AIS), ale i na prvcích vn, jako jsou rozváděče, kabely (povrchové jevy), ale například i vnitřní elektrických strojů, jako jsou motory či generátory, viz následující příklad:

V tomto případě (obr. 6) se jedná o ukázkou z napětěvých zkoušky generátoru s naprosto jednoznačnou lokalizací místa vzniku výbojové aktivity, tj. na horní straně statorových tyčí. Takovéto měření (platí přeneseně nejen pro vnitřní generátorů, ale též pro motory) umožní určit místa, v nichž je například zeslabena protikoronová ochrana, ať již degradací, či nedodrženými technologickými postupy, případně jevy způsobenými propojením jednotlivých statorových tyčí.



Obrázek 6: Výbojová aktivita na statoru točivého stroje – generátor

Mezi přednosti v porovnání s obdobnými metodami patří nejen jednoznačné určení místa, ale současně i kvantifikace jevu, zachycení průběhu signálu pro následnou analýzu a současně i schopnost detekovat nejen induktivní, ale i kapacitní výboje.

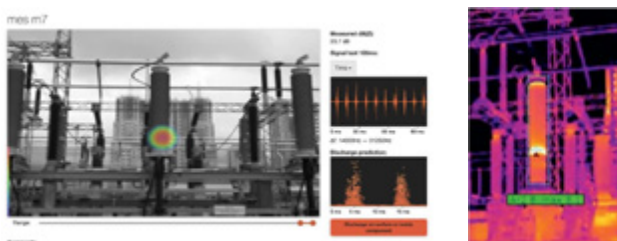
Pokud bychom detekci částečných výbojů v akustickém spektru chtěli dát do souvislosti s vizualizací jevů v UV nebo IR (v infračerveném spektru), je potřeba vždy vzít v potaz fyzikální podstatu jevu jako takového.

V UV spektru můžeme zobrazovat ionizované molekuly dusíku v okolní atmosféře; tato ionizace je způsobena překročením limitního napětěvého gradientu, který bývá udáván obvykle jako 2 kV/mm. Stejně jako v akustickém spektru je potřebná přímá viditelnost zdroje, nelze však využít principu odrazu akustického signálu v případě potřeby diagnostiky prostor, které nejsou přímo viditelné. Je třeba si též uvědomit, že v UV spektru nejsou zobrazitelné kapacitní výboje. Z hlediska

vypovídací schopnosti je možno akustické kamery považovat za substitut k vizualizaci v UV spektru.

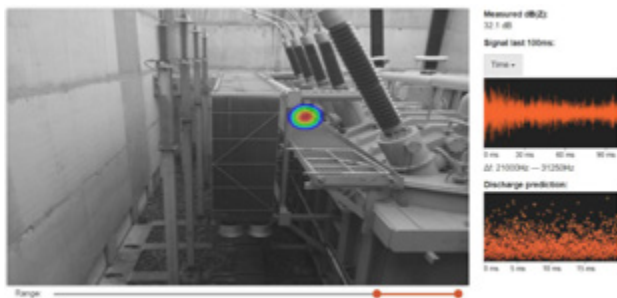
Co se týče porovnání s vizualizací jevů v IR spektru, je nutno vyjít z podstaty jevu v oblasti elektrických prvků a strojů. Naproti většina tepelných jevů v souvislosti s touto oblastí je způsobena přechodovými odpory, zatímco ostatní jevy či mechanismy poruch/degradací (svodiče přepětí, degradace průchodek, magnetizace vinutí rotačních strojů) je možno považovat za jevy s minoritním výskytem v porovnání s přechodovými odpory z předchozí části. Procentuální podíl není možno odhadnout; ten značně závisí na specializaci diagnostika, napěťové úrovni a struktuře elektrických prvků, která je brána v potaz při statistickém zpracování.

Za určitých okolností jsou částečné výboje doprovázeny tepelným jevem o velikosti detekovatelné termokamerami pro oblast prediktivní diagnostiky a údržby. Vždy záleží na intenzitě jevu a jeho lokalizaci v rámci elektrického prvku.



Obrázek 6: Současné zobrazení výbojové aktivity v akustickém a tepelném spektru

Jak je uvedeno na předchozím obrázku (kabelová koncovka 110 kV, obr. 6), je možno poruchový jev vidět jak v akustické oblasti, tak v IR spektru. Nicméně je potřeba dodat, že tento příklad není zcela typický. Například zdroje CIGRE uvádějí, že pokud se částečný výboj začne projevovat signifikantní teplotní změnou, jež bude spolehlivě detekovatelná termokamerou, lze dobu do poruchy předpokládat v řádu hodin, případně několika dnů. Zobrazení v infračerveném spektru lze tedy považovat pouze za verifikaci nálezu, nikoli za vhodnou detekční metodu jako takovou. Vzhledem k předpokládané délce období rozvoje poruchy není možno naplánovat nápravné opatření s dostatečným předstihem, stejně tak periody kontrol definované ŘPÚ či jinými lokálními předpisy počítají s časovými intervaly, které



Obrázek 7: Příklad akustického projevu nezpůsobeného částečnými výboji

nezaručují spolehlivou detekci rozvíjejícího se jevu. Případné nasazení monitoringu je komplikované požadavky na geometrické rozlišení a dostatečnou citlivost senzorů.

Možnost současného zobrazení fázového rozložení akustického jevu je předností nejen v souvislosti s kvantifikací a identifikací detekovaného jevu, ale paradoxně i jako nástroj na vyloučení falešné positivity nálezu. Tento aspekt je použit jako poslední příklad v pasáži věnované částečným výbojům. Na následujícím příkladu (obr. 7) je možno názorně ilustrovat tuto situaci.

Na výše uvedeném záznamu je možno rozeznat zdánlivě aktivní zdroj v místě, kde by mohlo k výbojové aktivitě docházet, a mohla by naznačovat výbojovou aktivitu v oblasti připojení průchodky na nádobu transformátoru. Současně se jedná o místo poměrně obtížné přístupné, obzvlášť pokud je stroj pod napětím. Pokud však analyzujeme rozložení „událostí“ vůči periodě napětí, zkušební diagnostik rozpozná, že se jedná o mechanické vibrace, nikoli výbojovou aktivitu.

Právě fázové rozložení umožňuje vytvoření kvalitního diagnostického závěru nejen vzhledem k vyloučení falešné pozitivních nálezů, ale zejména vzhledem k určení charakteru případných jevů a tím i k zefektivnění nápravných opatření.

Detekce netěsností tlakových rozvodů

V případě tlakových rozvodů se jedná o klasickou aplikaci v oblasti prediktivní údržby. Některé zdroje uvádějí obvyklé ztráty v tlakových rozvodech (například stlačený vzduch) v rozmezí 15–30 %. Tyto ztráty mají za následek nejen nadměrný provoz kompresorů (spojený se zvýšenou spotřebou), ale i jejich zvýšené opotřebení a nadměrné spotřebování zbytkové životnosti. Současně je možno brát v potaz i snížení tlaku v soustavě, případně jeho nedostatečnou úroveň v místě upotřebení.

S netěsnostmi se můžeme setkat nejen na ventilech či spojkách vedení, ale v některých případech se setkáváme i s netěsnostmi materiálu rozvodu jako takového, i když tyto případy jsou méně časté než právě zmiňované spojky a ventily. Ukázka detekce úniku je na následujícím obrázku (obr. 8):



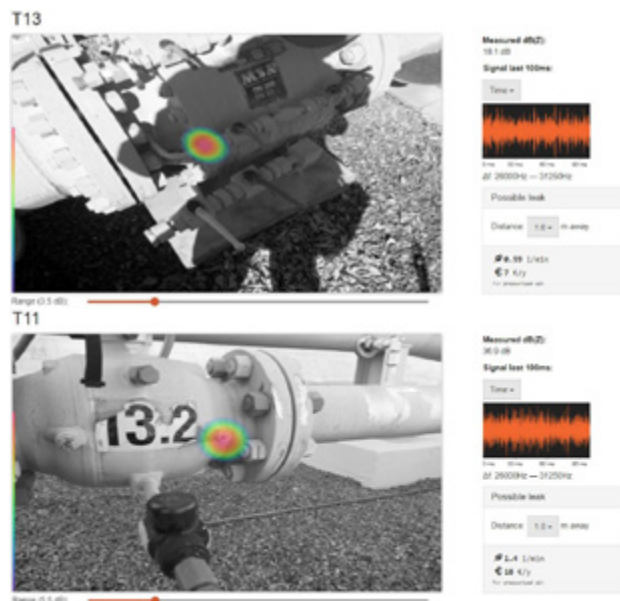
Obrázek 8: Ukázka netěsnosti rozvodu stlačeného vzduchu včetně kvantifikace

V tomto případě je možno nejen jednoznačně lokalizovat místo úniku, ale současně, a to po zadání vzdálenosti mezi akustickou kamerou a lokalizovaným místem (případně doplněním o teplotu atmosféry a relativní vlhkost), kvantifikovat množství vzduchu unikajícího netěsností a po zadání jednotkových cen

i finančně ocenit každý jednotlivý únik. Stejně jako v případě částečných výbojů je možno provést detailní analýzu průběhu akustického signálu, ať již pomocí časového průběhu, FFT či analýzy spektra signálu. Za hlavní přínos je ale možno považovat přesnou lokalizaci úniku a jeho kvantifikaci, což umožňuje managementu rozhodnout o efektivním nasazení nápravných opatření, včetně určení jejich priorit. Výše uvedený způsob diagnostiky je též zcela v souladu s ISO 50001.

Vzhledem ke korekci vlivu vzdálenosti je možno takovéto kamery využívat i pro poněkud odlišnou aplikaci. Určité technologie vyžadují simultánní průtok stlačeného vzduchu ze sady trysek o identickém množství (průtoku). Pomocí akustických kamer je možno tyto trysky bezdemontážně sledovat a korigovat naměřené hodnoty o vzdálenost.

Aplikace je vhodná nejen pro detekci úniku stlačeného vzduchu, ale obecně pro úniky stlačených plynů jako takových. Příkladem mohou být měření (obr. 9) na následujících záznamech. Médium byl v tomto případě zemní plyn. V prvním případě byla nalezena netěsnost na šroubení, v případě druhém únik netěsnící maznicí. Úniky byly v obou případech následně verifikovány laserovým detektorem koncentrace plynu, přičemž koncentrace v těsné blízkosti místa úniku se pohybovala v řádech desítek ppm.



Obrázek 9: Úniky zemního plynu (vlevo šroubení, vpravo maznice)

Tyto experimenty potvrdily aplikovatelnost metody i pro jiná stlačená plynná média, než je vzduch. Pro tato média je potřeba provést individuální korekci parametrů kvantifikace objemového množství a ceny úniku, což kvalitní kamery umožňují, případně mají tato nastavení uložena.

Pokud bychom porovnali se stávajícími metodami, v úvahu pro porovnání připadají termokamery adaptované na vizualizaci úniku plynů (souhrnně nazývané OGI – optical gas imaging). Jedná se o termokamery osazené spektrálními filtry, jež umožňují zobrazení (a v některých případech i kvantifikaci koncentrace)

úniku konkrétního plynu. Tyto kamery zobrazují plyn na základě faktu, že některé plyny jsou v daném úzkém spektrálním pásmu (šířka pásma obvykle v malých desetinách μm) netransparentní, případně méně transparentní než okolní atmosféra. Spektrální pásmo filtru je zvoleno s ohledem na konkrétní plyn, případně skupinu plynů, přičemž právě toto spektrální pásmo je zcela klíčové, neboť jeho posun by o jednotlivé desetiny μm často dramaticky ovlivňuje citlivost systému i pro zdánlivě blízké skupiny plynů, jako jsou například jednoduché a složité uhlovodíky. Pro konkrétní plyny je tedy třeba mít kameru s vhodným spektrálním filtrem; neexistuje jedna univerzální kamera. V některých případech je možno setkat se s koncepcí, kdy je spektrální filtr pevně zabudován, což je v porovnání se systémy umožňujícími výměnu spektrálního filtru uživatelem v terénu nevýhodou, která ve finále omezuje citlivost a aplikovatelnost takovýchto systémů. Současně je nutno vzít v úvahu, že některé plyny (například H_2 /vodík/) jsou v infračerveném spektru transparentní a nejsou zobrazitelné před přidáním dostatečných příměsí, což je v mnoha případech neakceptovatelné a nepoužitelné. Stejně tak pokud by se jednalo o vizualizaci úniku stlačeného vzduchu – tam se nedá použít ani termografie jako taková, neboť potrubí a elementy vedoucí stlačený vzduch jsou často z materiálů s vysoce reflexními povrchy, takže kvantifikace teplotní difference je prakticky nemožná.

Pokud bychom tedy měli porovnat systémy OGI s akustickými kamerami, oba z přístupů mají své přednosti. Systémy OGI nemusejí vidět přímo místo úniku, je možné zobrazit unikající plyn za předpokladu, že je použit systém s vhodným spektrálním filtrem. Akustické kamery by měly mít v zorném poli místo úniku, i když velmi často je možné využít odrazu akustického signálu od okolních struktur. Stejně tak akustické kamery nejsou závislé na konkrétním médiu. Investiční náklady na akustickou kameru v porovnání s OGI jsou výrazně ve prospěch kamer akustických.

Detekce mechanického tření

V této oblasti, jak bylo uvedeno výše, nemají autoři prozatím dostatek relevantních měření. Autorům nepřišlo vhodné prezentovat převzaté výsledky, avšak hodljají se této oblasti ve spolupráci s experty věnovat v budoucnu.

Shrnutí

Použití akustických kamer pro oblast prediktivní údržby je posunem nejen z hlediska vypovídací schopnosti, ale hlavně s ohledem na přesnou lokalizaci místa, možnost analýzy poruchy, ale též pro předložení srozumitelné informace managementu, který nemusí být zběhlý v jiných diagnostických metodách, avšak je schopen dobře pochopit grafickou informaci. Současně tento přístup umožňuje přechod z periodicky orientované údržby na údržbu stavově orientovanou, včetně definice priorit a rizik v rámci asset managementu.

Literatura:

- [1] Diagnostika metodou akustické emise. Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum [online]. Copyright © 2020 www.mmspektrum.com [cit. 08. 05. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/diagnostika-metodou-akusticke-emise.html>
- [2] Měření hluku, vibrací, osvětlení, prašnosti, EIA/SEA,

IPPC - EKOLA group, spol. s r. o. [online]. Copyright © [cit. 08. 05. 2020]. Dostupné z: <http://www.ekolagroup.cz/data/files/page/big/1/f4f3991e8ba5620230b6f372359503ed.jpg>

[3] ZÁLIŠ, Karel. Částečné výboje v izolačních systémech elektrických strojů. Praha: Academia, 2005. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1358-X.

[4] Partial Discharge Solutions | EA Technology [online]. Copyright © [cit. 08. 05. 2020]. Dostupné z: <https://www.eatechnology.com/engineering-products/partial-discharge-solutions>

[5] Makingsenseofsound - NL Acoustics. Makingsenseof-

sound - NL Acoustics [online]. Copyright © [cit. 08. 05. 2020]. Dostupné z: <https://nlacoustics.com/>

[6] Akustická kamera NL Acoustics - TMV SS. TMV SS [online]. Copyright © [cit. 08. 05. 2020]. Dostupné z: <https://www.tmvss.cz/vyrobci/tmv-ss/akusticka-kamera-nl-acoustics>

[7] Měření provedená TMV SS

Recenzent:

Ing. Daniel Zuth, Ph.D., VUT v Brně; osoba certifikovaná na funkci Technik diagnostik termografie – Kategorie I

Měření vibrací převodovek jako ukazatel jízdního komfortu vozidel

Gearbox vibration measurement as vehicles indicator of ride comfort

DOC. DR. ING. ELIAS TOMEH
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI,
FAKULTA STROJNÍ

Anotace

Hluk a vibrace jsou základním projevem pracovních procesů u dopravních prostředků a v dnešní době jsou důležitými faktory komfortu, protože je nelze v plné míře odstranit, ale pouze redukovat na přijatelnou hodnotu. Při běžném provozu automobilu by měly být vibrace a hluk dostatečně utlumeny, aby nerušily a jiným způsobem neovlivňovaly posádku. Článek se zabývá především otázkou měření vibrací převodovky, která je jedním z potenciálních zdrojů hluku vozů.

Klíčová slova

Jízdní komfort, hluk, vibrace, převodovka

Annotation

Noise and vibration are fundamental expression of work-flows for means of transport and are today important factors of comfort, because it cannot be fully removed, but only reduced to an acceptable value. During normal operation of the vehicle, vibration and noise should be sufficiently attenuated to prevent disturbance and other ways to impair the crew. The article focuses primarily on issues of gearbox vibration measurement, which is one of the potential sources of car noise.

Keywords

Ride comfort, noise, vibrations, gearbox

1. Úvod

Automobilový průmysl patří k nejvíce se rozvíjícím průmyslovým odvětvím a s jeho rozvojem se zvyšují i nároky na jízdní komfort. Převodovka je nedílnou součástí každého automobilu a každý uživatel vozidla, nejen řidič, její projev intenzivně vnímá.

V současné době se automobilové společnosti kvůli vysoké konkurenci snaží o to, aby jejich produkty opouštěly výrobní prostory v nejvyšší kvalitě. Otázka pohodlí řidiče vozidla i ostatních cestujících je již dávno odrazem konkurenceschopnosti a úspěšnosti návrhu a konstrukce vozidla. Řešení těchto otázek eliminuje nervovou i svalovou únavu, vibrace, hluk, viditelnost, tepelnou pohodu a ovlivňuje řadu dalších činitelů, které mají vliv na přenos vibrací na člověka.

2. Kritéria jízdního komfortu

Základní kritéria, která určují jízdní komfort, jsou vibrace, hluk a tepelná pohoda v kabině vozidla. Hluk a vibrace jsou základním projevem pracovních procesů u dopravních prostředků a v dnešní době jsou důležitými faktory komfortu, protože je nelze v plné míře odstranit, ale pouze redukovat na přijatelnou hodnotu. Při běžném provozu automobilu by měly být vibrace a hluk dostatečně utlumeny, aby nerušily a jiným způsobem neovlivňovaly posádku. Automobil obsahuje několik dílčích zdrojů, jako jsou motor, převodovka, pneumatiky a další. Tepelná pohoda není v dnešní době velkým problémem, je vyřešena možností regulace klimatizace kabiny automobilu.

3. Experimentální metody určování jízdního komfortu

Základním aspektem je typ vozidla. Vozidla různých typů jsou odlišnými způsoby konstruována a tato konstrukce a použité prvky přímo ovlivňují pohodlí a kvalitu jízdy. Základní hodnocení jízdního komfortu se provádí podle subjektivního vnímání člověka nebo objektivního měření. Objektivní měření se provádí na základě stanovených veličin.

Aby byly provedené zkoušky dostatečně kvalitní a jejich výsledky dostatečně věrné, je nutno před samotným testováním stanovit testovací podmínky.

Experimentální zkoušení vozidel bývá zpravidla dvojího typu:

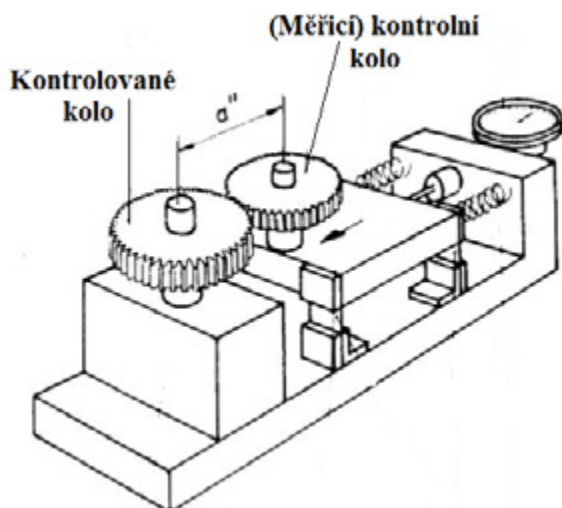
- Testování vozidel v reálných podmínkách – jízdní zkoušky: Vozidla jsou testována v reálných podmínkách, a to buď

přímo v běžném silničním provozu, nebo na polygonech. Cílem tohoto areálu je co nejdříve nasimulovat podmínky, které jsou typické pro klasický silniční provoz.

- Testování vozidel v podmínkách uměle vytvořených – laboratorní zkoušky: Testy se provádějí v uměle vytvořených podmínkách ve zkušebnách, většinou souběžně s jízdními testy. Cílem je vytvořit takové prostředí, které odpovídá realitě. Výhodou je časová úspora.

4. Zkoušky hlučnosti převodovky

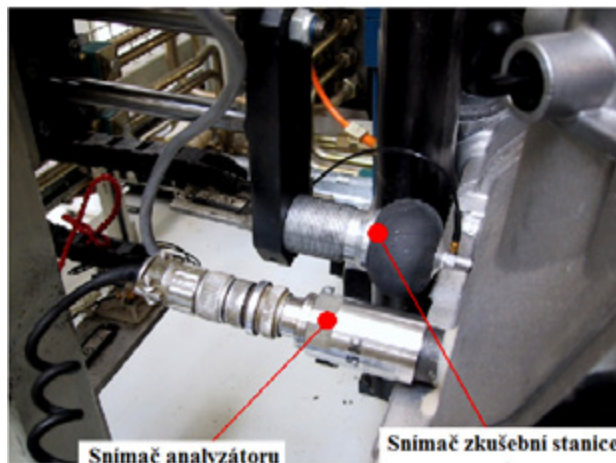
Detekci vibrací převodovek umožňuje technická diagnostika pomocí metod vibrodiagnostiky. Tyto metody slouží jednak ke zjištění kvality výrobku, jednak také pro identifikaci závady na stroji. V jednotlivých fázích výroby převodovky se provádějí testy na hlučnost. Ve fázi výroby ozubení je po dokončovací operaci provedena na obrobku zkouška hlučnosti odvalem. Jedná se o základní metodu zjišťování kombinovaných odchylek a házivosti ozubení. Při tomto komplexním testu je ozubené kolo testováno pro stanovení chyby záběru. Zkouška odvalem se provádí na každém díle s valivým ozubením, které je dokončováno za měkka. Princip dvoubokého odvalu spočívá v odvalování dvou ozubených kol bez boční vůle, kdy jedno z nich je hnací (kontrolní) a druhé hnané (kontrolované). Jedno z kol je přitlačováno k druhému, aby byl zajištěn stálý oboustranný dotyk spoluzabírajících zubů. Osová vzdálenost obou kol při měření není konstantní. Případné geometrické odchylky testovaného kola se projeví právě ve změně osové vzdálenosti spoluzabírajících kol na úchytkoměru.



Obrázek 1: Princip dvoubokého odvalu

Po kompletaci převodovky je na montážní lince opět provedena zkouška hlučnosti, tentokrát však již kompletní převodovky. Přímé měření vibrací kompletní převodovky se provádí na zkušebním stavu, kde je převodovka upnuta a je zajištěn její pohon (zátěž). Je zjišťována hlučnost všech převodových režimů (v tahu i při brzdění motorem) včetně zpětného chodu. Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí řádové analýzy, kterou je

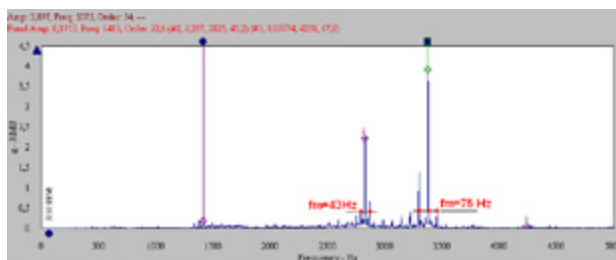
možné vizuálně sledovat při každém měření na displeji ovládacího panelu.



Obrázek 2: Hlukový zabíhací stav

V případě, že software hlukového stavu vyhodnotí převodovku jako špatnou z hlediska vibrací, je měření opakováno. Pokud ani podruhé nejsou hodnoty v normě, provede pracovník příslušné úkony pro jeho separaci od ostatních. Výsledkem měření hlukového zabíhacího stavu je frekvenční spektrum.

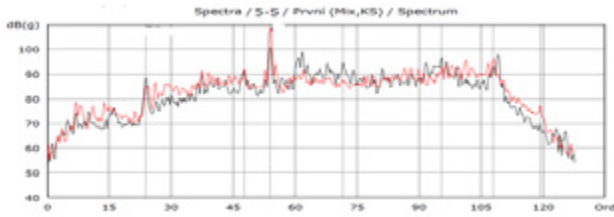
Ve spektru (obr. 3) je identifikovatelná zubová frekvence stálého převodu (1 413 Hz; 0,17 g) a její výrazná druhá harmonická složka (2 825 Hz; 2,2 g), vznik kolem 2 HS modulační $f_m = 43$ Hz, tj. počet zubů hnaného kola (Schaltrad) páté rychlosti. Ve spektru je také identifikovatelná výrazná zubová frekvence páté rychlosti (3 375 Hz; 3,89 g) a kolem ní vznik modulační $f_m = 75$ Hz, tj. počet zubů hnaného kola (talíře) stálého převodu.



Obrázek 3: Spektrum frekvenční analýzy FA převodovky v tahu, $n = 3\,750 \text{ min}^{-1}$ na Standu

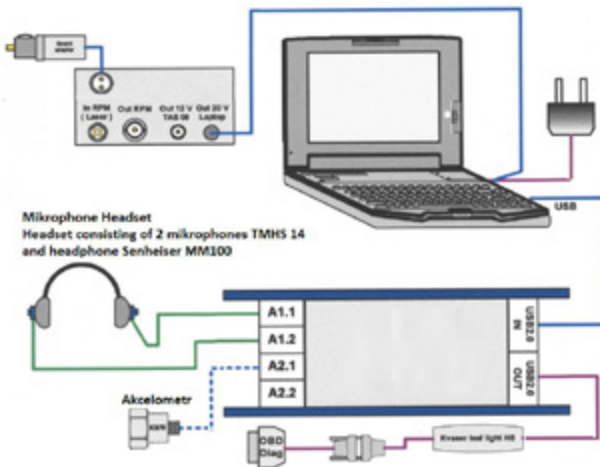
Poslední fází zkoušení hlučnosti je montáž převodovky přímo do automobilu, kde se namátkově, popř. na vyžádání, provádějí jízdní zkoušky.

Pravidelné jízdní zkoušky se vykonávají na sériových automobilech, které jsou odebrány přímo z montážní linky. Takto jsou zkoušeny všechny vozy a testuje se kompletní funkčnost automobilu na speciálním testovacím polygonu uvnitř automobilky.



Obrázek 4: Spektrum řadové analýzy na Standu – porovnání měření hlučnosti převodovek páté rychlosti v TAHU

Kromě těchto standardních jízdních zkoušek jsou také prováděny specializované zkoušky určené přímo k analýze a optimalizaci akustického projevu převodového ústrojí. Během jízdní zkoušky se subjektivně a objektivně hodnotí hlučnost převodového ústrojí.

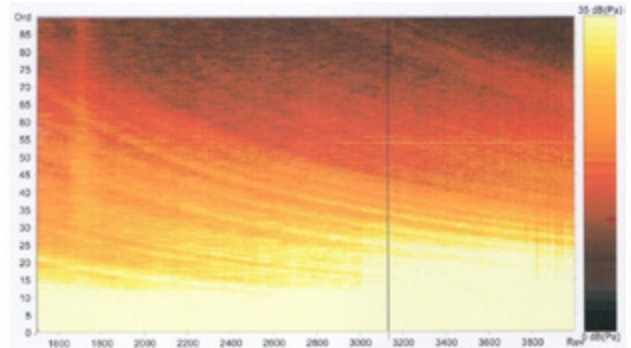


Obrázek 5: Měřicí zařízení při jízdní zkoušce

Speciální náhlavní souprava (sluchátka) slouží pro analýzu akustického projevu v oblasti hlavy řidiče. Sluchátka má řidič při testovací jízdě na uších, a to proto, že mikrofony jsou umístěny místo reproduktorů přímo ve sluchátkách, aby byly co nejlépe sluchovým orgánům a nejlépe tak reprezentovaly sluchové vnímání řidiče. Výstupem z mikrofonů jsou hodnoty akustického tlaku (dB/Pa).

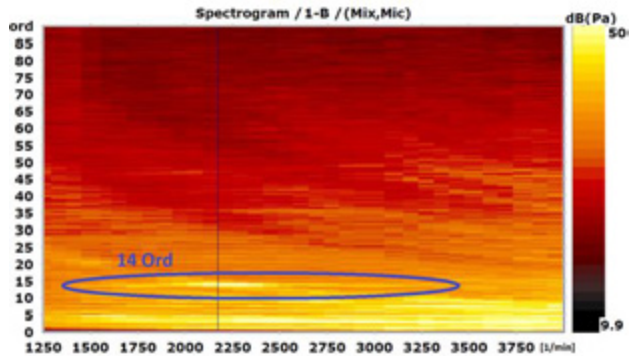
Výsledkem jízdních zkoušek je subjektivní známkování testovacího řidiče – každý převod zvlášť a v obou režimech provozu, tj. jak v tahu, tak nazpět. Objektivním výsledkem měření z jízdních zkoušek je tzv. Cambellův diagram (obr. 6). Na ose X jsou vyneseny otáčky motoru a na ose Y řády. Složky spektra vibrací jsou přesnými násobky frekvence otáčení. Řád je v tomto smyslu vybuzená frekvenční složka signálu, jejíž frekvence otáček je určitým fixním násobkem vratných pohybů, v tomto případě počtu zubů hnacího kola u daného převodu. Osa Z je zde kolmo k rovině XY a znázorňuje hladinu akustického tlaku, která je rozdělena dle barevného spektra.

Jízdní zkoušky byly provedeny dle výše uvedených informací. První akustický spektrogram z mikrofonů (obr. 7) ukazuje „peak“ na 14. řádu (Ord), což je první harmonická frekvence

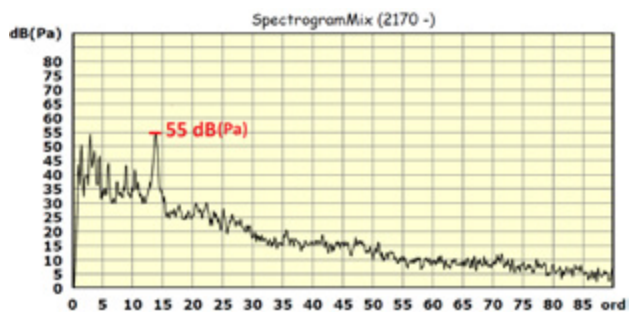


Obrázek 6: Cambellův diagram z jízdní zkoušky

patřící 1°, protože hnací ozubení má 14 zubů. Zvýšený hluk se projevuje nejvíce v rozmezí 2 500–1 800 min⁻¹, kde je projev slyšitelný pro posádku vozu v interiéru. Hodnoty v diagramu reprezentují akustický tlak (Pa).



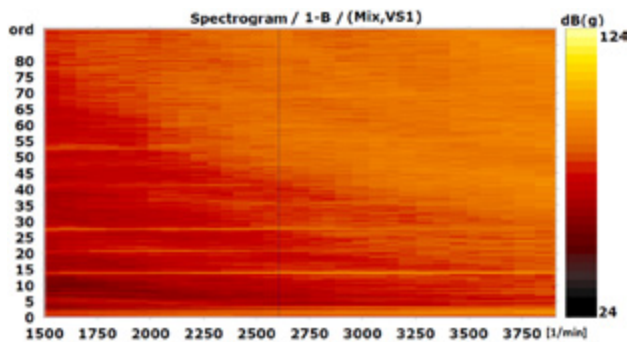
Obrázek 7: Spektrogram 1° ZPĚT z MIKROFONU (Mic) – SÉRIE



Obrázek 8: Řez spektrogramem (obr. 7) přes extrém při otáčkách 2 170 min⁻¹

Druhý spektrogram ze snímače zrychlení (obr. 9) ukazuje špičkovou hodnotu na první (14 ord) a druhé (28 ord) harmonické frekvenci, třetí (42 ord) je také na spektrogramu viditelná. Dále je možné pozorovat interharmonickou frekvenci 21. řádu, která má ale výrazně menší amplitudu než první a druhá.

Konkrétní hodnoty zrychlení (g) v první a druhé harmonické frekvenci jsou zvýrazněny na řezu spektrogramem (obr. 10) při otáčkách 2 590 min⁻¹.



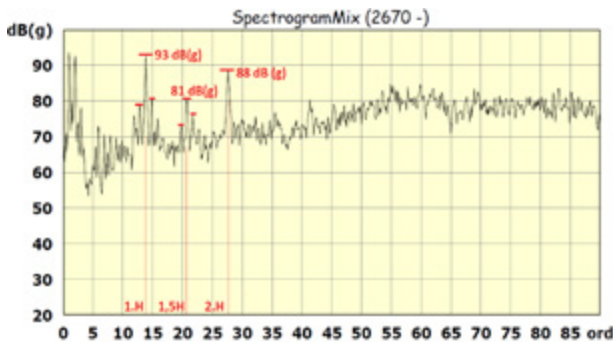
Obrázek 9: Spektrogram 1° NAZPĚT ze SNÍMAČE (VS1) – SÉRIE

Závěr

Jízdní komfort je jedna z problematik řešených při vývoji v oblasti automobilového průmyslu. Jízdní zkoušky jsou hodnoceny pomocí experimentálních zkoušek, které se dělí na jízdní a laboratorní. Každý automobil by měl být testován v takových podmínkách, pro které je určen. Osobní automobil by tedy měl být testován především na asfaltovém povrchu, po kterém jezdí nejčastěji. Výsledky jízdních zkoušek lépe odrážejí reálný provoz vozidla a dopad hluku převodovky na posádku automobilu, což je z pohledu zákazníka významný aspekt. Důležité také je, že během jízdní zkoušky je možné zatížit převodovku plným kroticím momentem od spalovacího motoru, na rozdíl od hlukového stavu, kde je tato možnost omezena použitými elektromotory (sériová zkouška se provádí max. při 40 Nm).

Literatura:

[1] Tomeh, E.: Technická diagnostika: vibrační diagnostika strojů a zařízení. Skripta TU v Liberci 2015.



Obrázek 10: Řez spektrogramem (obr. 9) přes extrém při otáčkách 2 590 min⁻¹

[2] Tomeh, E.: Hlučnost a vibrace automobilových převodovek v souvislosti s identifikovanými závadami obráběcích strojů. Habilitační práce TU v Liberci 2008.

[3] Tomeh, E.: Possibilities for Reducing Car Gearbox Vibration and Noise. In.: Advances in Mechanism Design II - Proceedings of the XII International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms. Technická univerzita v Liberci 2016. ISBN 978-3-319-44086-6.

[4] Tomeh, E.: Diagnostic Methodlogy of Rolling Element and Journal Bearings. Textbook TU in Liberec 2007.

[5] Moravec, V.: Konstrukce strojů a zařízení II., Montanex, a. s. 2001.

[6] Oudrnický, T.: Konstrukční úprava převodovky pro snížení hlučnosti. Diplomová práce TU v Liberci 2016.

Recenzent:

Ing. Křepela Jan, Ph.D., Wikov MGI, a. s., Hronov; osoba certifikovaná na funkci Specialista vibrační diagnostiky – Kategorie IV

Hledáte?
Pátráte?
Sháníte?
Nenacházíte?

Almanach
PRODUKCE V ČR A SR

Vyhledávejte na správném místě!
ru.almanachprodukce.cz

VÁŠ PARTNER

V ELEKTRONICE

A TECHNICE

4.124,-



Aku vrtací šroubovák Bosch Professional GSR 12V-15

- 2 rychlostní převodovka (0 - 350 / 0 - 1 300 ot./min)
- Upínací rozsah 1 - 10 mm
- 2 Li-Ion akumulátory 12 V 2 Ah a 4 Ah
- Integrovaná pracovní LED svítilna
- VČ. vrtáků, bitů a brašny

Obj. č.: 1416722

1.479,-

IR teploměr Voltcraft IR-SCAN-350RH

- Zobrazení teploty, vlhkosti vzduchu a rosného bodu
- Výstraha před plísní (semafor)
- S dvojitým zaměřovacím laserem
- Podsvícený inverzní displej
- Optika 20:1
- Teplotní rozsah -50 až 380 °C

Obj. č.: 1405828



751,-



Multifunkční časové relé CMFR-66

- Max. nastavení času: 2s - 24 h
- Vícenapěťový vstup 12 - 240 V DC/AC
- 1 přepínací kontakt

Obj. č.: 506666

3.050,-



Samonastavovací krimpovací kleště pro dutinky KNIPEX 97 53 04

- Průřez kabelu 0,08 do 16 mm²

Obj. č.: 801925

379,-



Kabelová svorka WAGO 221-413

- O 40 % menší než předchozí model
- Pro kabely o průřezu 0,14 - 4 mm²
- pólů 3, počet 50 ks

Obj. č.: 1188440

Ceny jsou uvedeny bez DPH a zaokrouhlené na Kč. Právo na chyby vyhrazeno. Kompletní nabídku naleznete na velkoobchod.conrad.cz.

CONRAD

PROCUREMENT. SIMPLE. FAST. COMPREHENSIVE.



+420 225 224 254
v pracovní dny 8 - 16 hodin



velkoobchod@conrad.cz



velkoobchod.conrad.cz

7 jistot pro spolehlivý provoz strojů



Vibrační
diagnostika

SKF cloud

Ložiska

Digitalizace
monitorování
stavu strojů

Engineering
a komplexní
know-how v oblasti
rotačních strojů

Centrum
vzdálené
diagnostiky
v Ostravě

Těsnění

Mazání

Získáváte z vašich výrobních zařízení ten nejvyšší výkon?

Kontaktujte nás na skf.cz@skf.com či na www.skf.cz

SKF®