

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Asociace technických diagnostiků ČR, z.s., Ostrava

pod záštitou

doc. Ing. Karla Havlíčka, Ph.D., MBA, ministra průmyslu a obchodu ČR
prof. Ing. Igora Ivana, Ph.D., rektora VŠB - Technické univerzity Ostrava
Dr.h.c. prof. Ing. Roberta Čepa, Ph.D., děkana Fakulty strojní, VŠB-TUO



„DIAGO[®] 2026“

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA STROJŮ A VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ

KOLEKTIV AUTORŮ

SBORNÍK
43. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÉ KONFERENCE



OLOMOUC, 2026

Editor :

- **Ing. Ladislav HRABEC, Ph.D.,** VŠB - Technická univerzita Ostrava, FS

Vydavatel : **VŠB - Technická univerzita Ostrava**

Počet výtisků : **on-line**

Vydáno : **leden 2026**

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.

Za obsah jednotlivých článků plně zodpovídají uvedení autoři.

ISBN 978-80-248-4844-0 (on-line)

Organizátoři konference :

- Asociace technických diagnostiků České republiky, z.s., Ostrava
- Katedra konstruování, FS, VŠB - Technická univerzita Ostrava

Záštita nad konferencí :

- doc. Ing. Karel Havlíček, Ph.D., MBA ministr průmyslu a obchodu ČR
- prof. Ing. Igor Ivan, Ph.D. rektor VŠB - Technické univerzity Ostrava
- Dr.h.c. prof. Ing. Robert Čep, Ph.D. děkan Fakulty strojní, VŠB-TUO

Hlavní partner :

-  prof. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D. - ředitel CEET
Centrum energetických a environmentálních technologií

Odborní garanti :

- p. Ondřej Švec, DiS. TRIFOSERVIS s.r.o., Čelákovice
- doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D. VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET
- Ing. Jakub Všolák ČEZ, a.s., Elektrárna Štěchovice, Štěchovice
- prof. Ing. Milan Honner, Ph.D. „TMV SS“, spol. s r.o., Praha
- Mgr. Marek Šeremeta LAMI KAPPA, spol. s r.o., Teplice

Mezinárodní programový výbor :

- Dr.h.c. prof. Ing. Juraj Sinay, DrSc. koordinátor vodík. technologií SR, Košice, SR
- prof. dr hab. inž. Zbigniew Matuszak Politechnika Morska w Szczecinie, Polsko
- prof. Dr. Ing. Pavel Němeček viceprezident ATD ČR, z.s., TU v Liberci
- doc. Ing. Jozef Žarnovský, PhD. proděkan TF, SPU v Nitre, SR
- doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD. tajomník SSÚ, Žilinská univerzita v Žilině, SR
- prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD. viceprezidentka ATD SR, TU v Košiciach, SR
- Ing. Jan Hroch výkonný ředitel, ČSPÚ, z.s., Praha
- Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D. tajemník ATD ČR, z.s., VŠB-TUO, FS
- doc. Ing. František Helebrant, CSc. VŠB - Technická univerzita Ostrava, FS

Organizační výbor :

- Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D. tajemník ATD ČR, z.s., VŠB-TUO, FS
- Ing. Štěpán Pravda katedra 340, FS, VŠB-TUO, FS
- Bc. Marcela Dluhošová katedra 340, FS, VŠB-TUO, FS

Mediální partner :



SEZNAM PŘÍSPĚVKŮ

1. Rastislav Bernát, Zoltán Zálezák, Norbert Kecskés, Martin Kotus, Radoslav Majdan, Juraj Jablonický, Miroslav Čurgali: KONTROLA A INOVÁCIA ČASTI PROCESU VÝROBY NÁPRAVY AUTOMOBILU	6
2. Jan Fulneček, René Záruba, Ondřej Podivínský, Lukáš Prokop, Ondřej Kabot: DIAGNOSTIKA ASYNCHRONNÍHO MOTORU POMOCÍ ROZPTYLOVÉHO MAGNETICKÉHO POLE.....	13
3. Jan Fulneček, René Záruba, Ondřej Podivínský, Lukáš Prokop, Ondřej Kabot: VLIV FREKVENČNÍHO PÁSMU NA CITLIVOST DETEKCE ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ V IZOLAČNÍM SYSTÉMU VN KABELU.....	15
4. Robert Grega, Lucia Žulová: DIAGNOSTIKA PRUŽNÝCH SPOJOK	17
5. Jakub Grunt, Jiří Klapka: FORMULACE MAZACÍHO OLEJE V ČASE - ZÁKLADOVÉ OLEJE, ADITIVACE, TRIBODIAGNOSTIKA	23
6. Lukáš Heisig: DIGITALIZACE RUTINNÍCH ČINNOSTÍ V ÚDRŽBĚ: CESTA OD PAPÍRU K EFEKTIVNÍMU ŘÍZENÍ	24
7. Milan Honner, Vladislav Lang, Jan Šroub: AKTIVITA „LABIR EDU - TERMOVIZE DO ŠKOL“ - VÝCHOVA DALŠÍ GENERACE TERMO-DIAGNOSTIKŮ	28
8. Piotr Cheluszka: PREDICTION OF THE VIBRATION SIGNAL PARAMETERS CONTROLLING THE OPERATION OF THE DOF PLATFORM IN THE ROADHEADER RESEARCH SIMULATOR {RH-SIM} BASED ON THE RESULTS OF COMPUTER TESTS.....	29
9. Petr Kříž, Marta Filipová: BUDOUCNOST EVROPSKÉ LEGISLATIVY A STANDARDIZACE POHONNÝCH HMOT	37
10. Martin Kubáč: OČEKÁVÁNÉ VS. REÁLNE PŘÍNOSY IMPLEMENTACE ONLINE DIAGNOSTIKY STROJŮ: PŘÍPADOVÁ STUDIE	39
11. Petr Lněnička: VYUŽITÍ TERMODIAGNOSTIKY PŘI DETEKCI VLHKOSTI V OBVODOVÝCH PLÁŠTÍCH BUDOV V SOULADU S ČSN EN ISO 6781-1	45
12. Zbigniew Matuszak, Iwona Żabińska: O GRANICACH W POLIOPTYMALIZACJI PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH MASZYN I URZĄDZEŃ.....	46
13. Petr Nahodil: DIAGNOSTIKA MEZIZÁVITOVÝCH PROBLÉMŮ VYSOKONAPĚŤOVÝCH MOTORŮ	50
14. Pawel Prajzendanc, Igor Stankiewicz, Gracjan Szablowski, Kacper Olszański: SYSTEM ZDALNEGO STEROWANIA I TELEMETRII DLA USV PRZEZNACZONEJ DO ZASTOSOWAŃ PATROLOWYCH, BADAWCZYCH I DIAGNOSTYCZNYCH	52

15. Eryk Remiorz: MONITOROWANIE OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH W ŁAŃCUCHACH POCIĄGOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH	59
16. Jaroslav Roubíček: VÝZNAM SPRÁVNÉ INSTALACE KOMPRESORŮ PRO ZVÝŠENÍ JEJICH SPOLEHLIVOSTI.....	70
17. Luboš Smolík, Jakub Šulda, Václav Steinbach: VYUŽITÍ VELKÝCH JAZYKOVÝCH MODELŮ PRO AUTOMATIZOVANOU TVORBU ZPRÁV O VIBRAČNÍM CHOVÁNÍ STROJŮ.....	71
18. Václav Straka, Antonín Krňoul, Pavel Zítek: MONITORING GIS - POSTUPY, PROSTŘEDKY, MODELOVÁ ŘEŠENÍ.....	78
19. Václav Straka, Jiří Svoboda, David Kuboš, Pavel Petrář, Mikoláš Choura, Pavel Zítek: KVANTITATIVNÍ TERMOGRAFIE JEVŮ S VELKOU DYNAMIKOU.....	97
20. Ondřej Šůsa: MODERNÍ PŘÍSTUPY K TECHNICKÉ DIAGNOSTICE S VYUŽITÍM ANALYZÁTORŮ CRYSTAL INSTRUMENTS	107
21. Marek Šeremeta: MĚŘENÍ SOUOSOSTI VICESTUPŇOVÉ PARNÍ TURBÍNY LASEROVÝM PŘÍSTROJEM A ČÍSELNÍKOVÝMI ÚCHYLKOMĚRY, VČETNĚ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	110
22. Michal Švantner, Alexey Moskovchenko, Lukáš Muzika, Martin Valenta, Rudolf Vávra, Milan Honner: POKROK V KVANTITATIVNÍM VYHODNOCENÍ FLASH- PULZNÍ TERMOGRAFICKÉ INSPEKCE POVÝSTŘELOVÝCH ZPLODIN.....	117
23. Ondřej Švec: KAM SMĚŘUJE TRIBODIAGNOSTIKA?	119
24. Zdeněk Veselý, Jiří Tesař, Michal Matějka: APLIKACE ANALÝZ OPTICKO- TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ A IR TERMODIAGNOSTIKY V TECHNOLOGII 3D TISKU KOVŮ	122
25. Zoltán Záležák, Rastislav Bernát, Norbert Kecskés, Martin Kotus, Miroslav Čurgali: VYBRANÉ DIAGNOSTICKÉ METÓDY VYUŽÍVANÉ V STROJÁRSTVE...	124
26. Lucia Žulová, Robert Grega: VIBRODIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMOV S VARIABILNOU TUHOSŤOU.....	130

KONTROLA A INOVÁCIA ČASTI PROCESU VÝROBY NÁPRAVY AUTOMOBILU

INSPECTION AND INNOVATION OF A PART OF THE AUTOMOBILE AXLE PRODUCTION PROCESS

Rastislav BERNÁT, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ¹

Zoltán ZÁLEŽÁK, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ²

Norbert KECSKÉS, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FEM ³

Martin KOTUS, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ⁴

Radoslav MAJDAN, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ⁵

Juraj JABLONICKÝ, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ⁶

Miroslav ČURGALI, DT Transport, s.r.o., Nitra, Slovensko ⁷

Anotácia:

Cieľom výskumnej práce je na základe analyzovania a zhodnotenia spôsobilosti výrobného procesu lisovania časti nápravy automobilu, eliminovať nezhodnosť výrobkov a zvýšiť kvalitu vyrábaných produktov použitím Shewarthových regulačných diagramov a výpočtov prostredníctvom indexov spôsobilosti C_p a C_{pk} . Výsledky analýzy výrobného procesu lisovania ramena zadnej nápravy sú aplikované na produkte ramena v konečnej fáze procesu lisovania ako medzikontrola jeho výkresových rozmerov pred samotnou finalizáciou ramena s cieľom eliminovať nezhodné finálne komponenty a celkovo zvýšiť kvalitu a efektivitu výrobného procesu.

Annotation:

The aim of the research work is to eliminate product non-conformity and increase the quality of manufactured products by using Shewarth control charts and calculations

¹ Ing. Rastislav Bernát, PhD. IWE

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta

Ústav konštruovania a strojárskych technológií

Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

tel.: +421 37 641 5796, mobil: +421 903 260 306, e-mail: rastislav.bernat@uniag.sk, <https://uniag.sk/sk/>

² Ing. Zoltán Záležák, PhD.

tel.: +421 37 641 5796, +421 37 641 5688, e-mail: zoltan.zalezak@uniag.sk

³ Mgr. Norbert Kecskés, PhD.

Fakulta ekonomiky a manažmentu, Ústav štatistiky, operačného výskumu a matematiky

mobil: +421 903 484 964, e-mail: norbert.kecskes@uniag.sk

⁴ doc. Ing. Martin Kotus, PhD.

Ústav konštruovania a strojárskych technológií

tel.: +421 37 641 5689, +421 37 641 5698, e-mail: martin.kotus@uniag.sk

⁵ doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD.

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky

tel.: +421 37 641 4618, e-mail: radoslav.majdan@uniag.sk

⁶ prof. Ing. Juraj Jablonický, PhD.

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky

tel.: +421 37 641 4611, e-mail: juraj.jablonicky@uniag.sk

⁷ Ing. Miroslav Čurgali, PhD.

DT Transport, s.r.o.

Štefánikova Trieda 74/50, 949 01 Nitra, Slovenská republika

tel.: +421 903 284 934, e-mail: miroslav.curgali@transdev.com

through capability indices C_p a C_{pk} . The results of the analysis of the rear axle arm pressing process are applied to the arm product in the final phase of the pressing process as an intermediate check of its drawing dimensions before the arm is finalized, with the aim of eliminating non-conforming final components and overall increasing the quality and efficiency of the production process.

1 Úvod

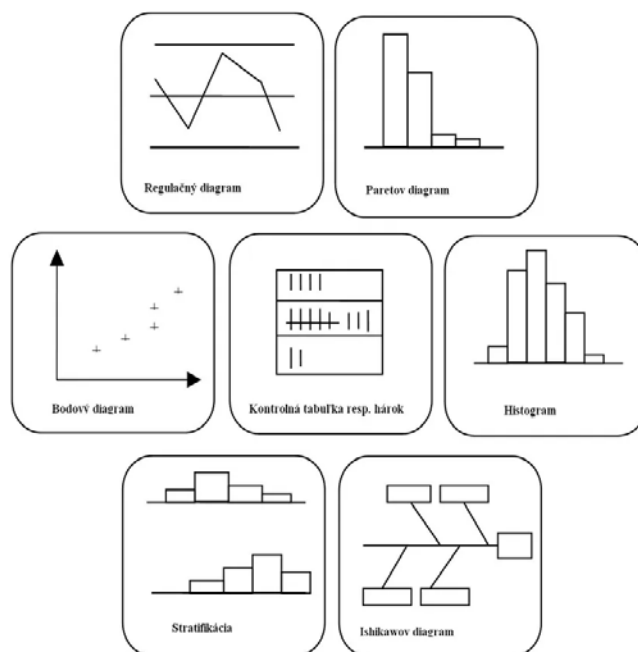
Kvalita vyrobených a ponúkaných automobilových produktov je jeden z najdôležitejších faktorov vo výrobných organizáciách vzhľadom na konkurenčnosť trhu.

Tieto náročné požiadavky pomôže plniť len systém manažérstva kvality vybudovaný na rovnako náročných základoch. Výrobca a dodávateľ do automobilového priemyslu, musí bezpodmienečne plniť požiadavky všeobecne uznávaných štandardov, prostredníctvom normy ISO/TS 16949:2016 a normy ISO 9000:2015. Dodržiavanie noriem nezabezpečujú kvalitu výrobkov, ale sú návodom pre jej dosiahnutie. Pri zavádzaní noriem je využitie štatistických metód neoddeliteľnou súčasťou zvýšenia kvality výrobných procesov. Reguláciou výrobných procesov je možné odhaľovať príčiny vzniku nezhôd, minimalizovať nezhodnú produkciu, zvyšovať kvalitu produktov, minimalizovať náklady ako aj čas potrebný na vykonanie kontroly stanovených znakov. Jeden z účinných nástrojov zabezpečenia a zvyšovania kvality je zavedenie hodnotenia a preverovania spôsobilosti výrobného procesu pomocou regulačných diagramov a indexov spôsobilosti procesov. Tomuto kroku predchádza preverovanie spôsobilosti meracieho a výrobného zariadenia.

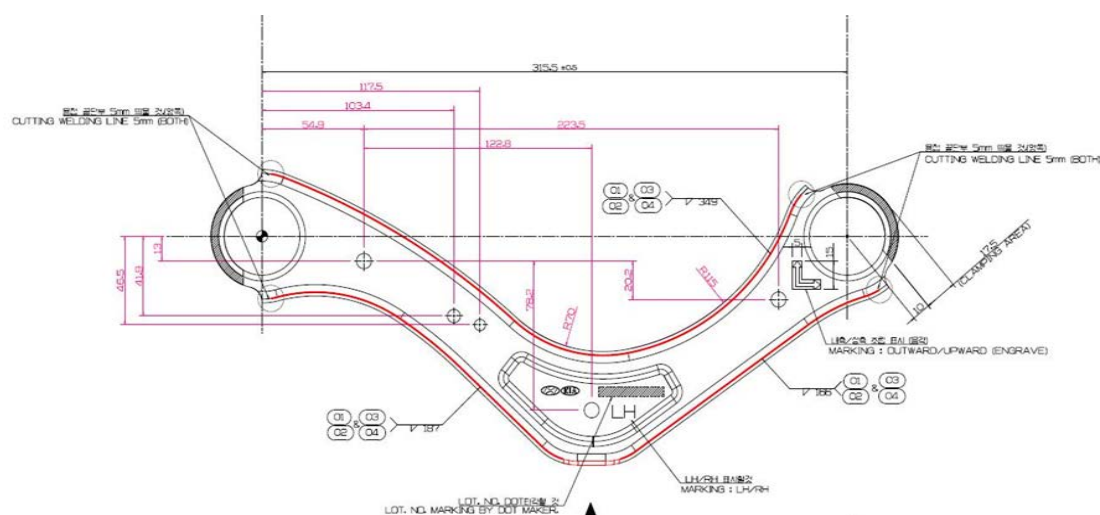
Práca zahŕňa analýzu spôsobilosti výrobného procesu a následnú implementáciu i využitie štatistických metód pri výrobnom procese lisovania, ktorému predchádza preskúmanie spôsobilosti meracieho a výrobného zariadenia. Po zhodnotení výsledkov výrobného procesu lisovania a zistení, že výrobný proces je spôsobilý, je možné túto metódu aplikovať aj na ostatné výrobné procesy realizované v automobilovej výrobe.

2 Materiál a metódy

Norma ISO/TS 16949:2009 „Systémy manažérstva kvality. Osobitné požiadavky na používanie normy ISO 9001:2008 v organizáciách na výrobu automobilov a ich náhradných dielov“ je jednou z najrozšírenejších noriem kvality. Táto norma bola nahradená normou IATF 16949:2016, kde sa jedná o medzinárodný štandard pre systémy manažérstva kvality v automobilovom priemysle. Stratégiou tejto normy je zabezpečovanie neustáleho zlepšovania, dôraz kladie na znižovanie chýb, zahŕňa špecifické požiadavky a nástroje využívané v automobilovom priemysle, podporuje znižovanie variability a nehospodárnosti v dodávateľskom reťazci.



Charakteristika výrobku



Charakteristika meracieho zariadenia

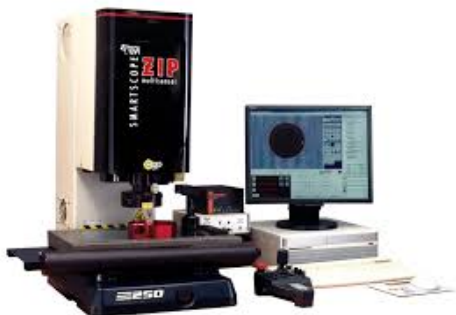
Zisťovanie spôsobilosti meracieho zariadenia realizujeme na multisenzorovom optickom meracom prístroji SmartScope ZIP (viď obrázok 3), ktorý je univerzálny a je určený na meranie rôznych typov súčiastok. Softvér zariadenia umožňuje prácu s 3D modelmi a umožňuje komplexné grafické vyhodnotenie.

Tab.1 Technické parametre meracieho zariadenia

Meracie zariadenie SmartScope ZIP			
Merací rozsah XY (mm)	635 x 635	Rozlíšenie mierky (μm)	0,05
Merací rozsah Z (mm)	200	Napätie 1 fáza (W)	700
Presnosť XY (μm)	2,0 + 5L / 1000	Teplota prostredia ($^{\circ}\text{C}$)	15 + 30
Hmotnosť (kg)	1 310	Vlhkosť (%)	30 + 80%
Nosnosť (kg)	50	Platnosť kalibrácie	11/2024

Charakteristika výrobného zariadenia

Hodnotenie výrobného zariadenia zrealizujem na CNC lisovacej linke značky CETTA HYUNDAE HPP - 10. Ide o hydraulický lis so snímačom zaťaženia, ktorý je určený najmä na lisovanie súčiastok používaných v automobilovom priemysle (viď obrázok 4). Tento stroj je všeobecne navrhnutý pre priemyselné aplikácie vyžadujúce presné lisovanie, razenie alebo formovanie. Jeho menovitá sila (kapacita): 10 ton (nastaviteľný rozsah cca 2,9 ~ 10 ton) a zdvih piesta (Ram Stroke): 200 mm.



Obr.3 Zariadenie SmartScope ZIP

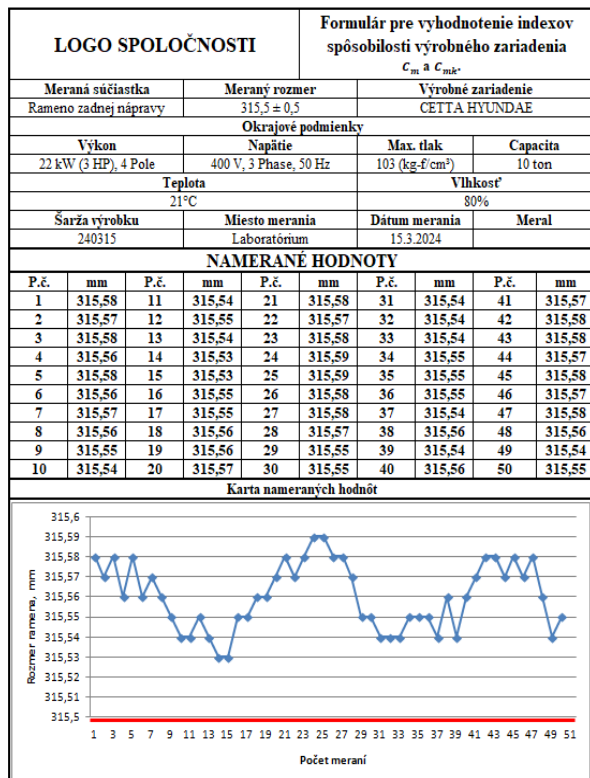


Obr.4 Výrobná linka CETTA HYUNDAE HPP - 10

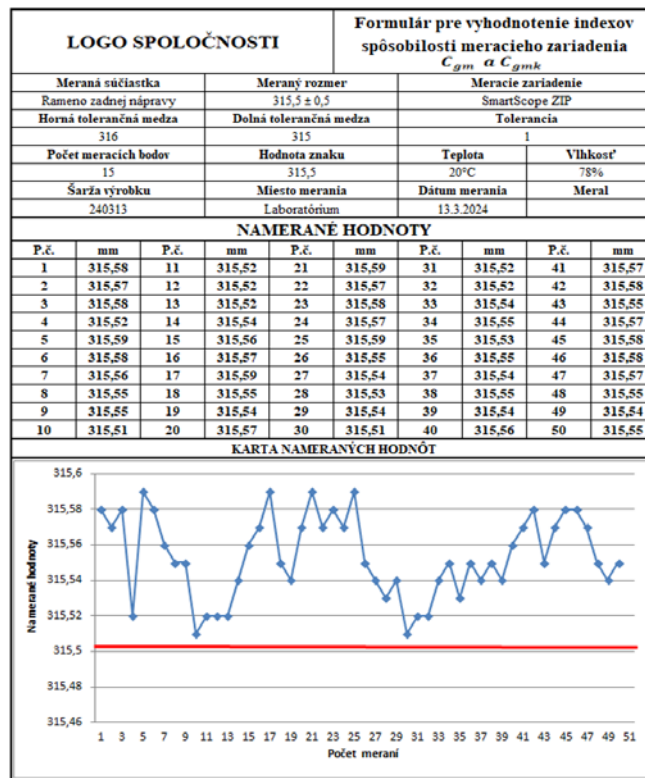
Spôsobilosť výrobného procesu

Zisťovanie spôsobilosti výrobného procesu je v našom prípade lisovanie ramena zadnej nápravy. Merania na zistenie spôsobilosti sa vykonáva v priestoroch výroby a meranie bude zaznamenávať vedúci výrobného oddelenia. Na meranie využijeme regulačné diagramy $\bar{X}$ a R , ktoré pokladáme za najúčinnnejšie nástroje merania výrobného procesu. Namerané hodnoty budú zaznamenávané do návrhu formulára spôsobilosti výrobného procesu (obrázok 5).

3 Výsledky práce



a)

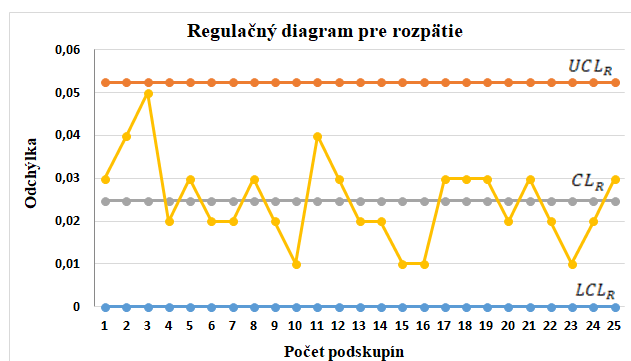
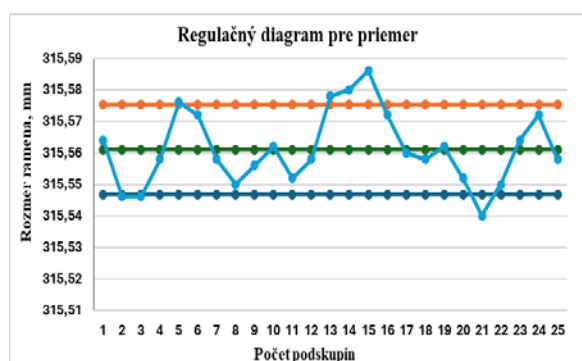


b)

Obr.5 Formuláre spôsobilosti meracieho zariadenia (a), výrobného zariadenia (b)

Vypočítané výberové hodnoty pre priemer procesu $\bar{x}$ a rozpätie R , ako aj regulačné medze sme zaznamenali do príslušných regulačných diagramov (viď obrázok 6).

Čiastkovým cieľom je zostrojenie regulačných diagramov a určenie, či je skúmaný výrobný proces lisovania ramena zadnej nápravy pod štatistickou kontrolou.



Obr.6 Regulačný diagram pre rozpätie R (a) a pre priemer $\bar{x}$ (b)

V regulačnom diagrame pre rozpätie R nie je žiadny bod mimo regulačných medzí pre rozpätie. Tento parameter výrobného procesu lisovanie ramena zadnej nápravy je štatisticky zvládnutom stave. V regulačnom diagrame pre priemer $\bar{x}$ sú mimo hornej

regulačnej medze 4 body a 3 body mimo dolnej regulačnej medze. Tento parameter výrobného procesu lisovanie ramena zadnej nápravy je v štatisticky nezvládnutom stave.

Aj napriek tomuto stavu je možné prejsť k výpočtom indexov spôsobilosti výrobného procesu lisovania ramena zadnej nápravy, s odporúčaním pre spoločnosť hľadať príčinu vzniku daných výkyvov a prijať nápravné opatrenia.

Vyhodnotenie spôsobilosti výrobného procesu

Pred určením indexu spôsobilosti výrobného procesu C_p a korigovaného indexu, sme pristúpili k výpočtu smerodajnej odchýlky $\hat{\sigma}$:

Výpočet smerodajnej odchýlky $\hat{\sigma}$:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,0248}{2,326} = 0,106621 \quad (1)$$

Výpočet indexu spôsobilosti C_p :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{316 - 315}{0,639726} = 1,563169 \quad (2)$$

Výpočet korigovaného indexu spôsobilosti C_{pk} :

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{316 - 315,561}{0,319863} = 1,372463 \quad (3)$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{315,561 - 315}{0,319863} = 1,753876 \quad (4)$$

V praxi sa za minimálne prípustnú hodnotu pokladá, keď hodnota C_p a $C_{pk} \geq 1,33$. V tomto prípade je hodnota $C_p = 1,563169$ mm a $C_{pk} = 1,372463$ mm, čím môžeme zhodnotiť, že výrobný proces lisovanie ramena zadnej nápravy je spôsobilý.

4 Závěr

Pri podrobnej analýze kontroly v spoločnosti sme zistili, že vstupná kontrola sa vykonáva len pri vstupe polotovaru do výroby a výstupná kontrola je zameraná len na hotový zmontovaný výrobok, ako celok - zadná náprava. Spoločnosť nevykonáva dôkladnú kontrolu jednotlivých vyrobených dielov, čo spôsobuje nezhodnosť konečného zmontovaného produktu.

Na základe analýzy a získaných poznatkov z oblasti kvality a kontroly vyrobených produktov v spoločnosti, ako aj na základe požiadavky vedenia spoločnosti, sme sa zamerali na analýzu a zistenie spôsobilosti výrobného procesu, konkrétne výrobného procesu lisovania ramena zadnej nápravy, kde dosiahnuté výsledky indexov spôsobilosti výrobného procesu $C_p = 1,563169$ a $C_{pk} = 1,372463$ a $1,753876$ hodnotia výrobný proces lisovania ramena zadnej nápravy ako spôsobilý, aj keď je hodnota C_{pk} hraničná.

Na základe zistených skutočností sme vedeniu spoločnosti navrhli zvýšenie kontroly jednotlivých vyrobených dielov pomocou zavedenia a aplikovania metódy na zistenie

spôsobilosti výrobného procesu, ktorá je dôležitým krokom k eliminovaniu a postupne úplnému odstráneniu výroby nezhodných produktov. Celkovo nami navrhované opatrenia spoločnosti zaručia zníženie nezhodnosti finálnych vyrobených produktov, zníženie reklamácií od zákazníkov, zvýši jej konkurencieschopnosť na automobilovom trhu a v konečnom dôsledku zvýši efektivitu výrobných procesov.

Podakovanie:

Tento príspevok vznikol za podpory z projektu VEGA 1/0691/2023, s názvom Hodnotenie a simulácia opotrebení prostredníctvom 3D technológií, kde garantom projektu je prof. Ing. Jan Valíček, Ph.D..

Literatura:

- [1] Bujna, M., Prístavka, M., Polák, P., Földešiová, D. Využitie metódy FMEA pri posúdení rizík v automobilovom priemysle. In *Bezpečnosť - Kvalita - Spôľahlivosť*. 1. vyd. 1 CD-ROM (285 s.). ISBN 978-80-553-2044-1. Bezpečnosť-kvalita-spoľahlivosť. Košice : Technická univerzita, 2015, s. 20-25, CD-ROM
- [2] Drlička, R., Žarnovský, J., Mikuš, R., Kováč, I., Korenko, M. Hard machining of agricultural machines parts. In *Research in agricultural engineering*. ISSN 1212-9151, 2013, vol. 59, special iss., s. 42-48
- [3] Hrubec, J. *Zlepšovanie kvality a spoľahlivosti výrobkov vo výrobnom procese (podľa noriem STN ISO 9000)*. 1. vyd., Nitra: SPU, 2001. 130 s. ISBN 80-7137-896-8
- [4] Korenko, M. et. al. 2015. *Manažérstvo kvality procesov*. Nitra: SPU, 2015. 144 s. ISBN 978-80-552-1316-3
- [5] Kučerová, M., Lestyánszka, K. *Štatistické metódy kontroly kvality*. 1. vyd., Trnava: AlumniPress MTF STU, 2011, 150 s. ISBN 978-80-8096-146-6
- [6] Tokovska, M., Zaťková, T. Š., Jamborová, L. (2022). *Digital competencies development in higher education institutions: A mixed methods research study*
- [7] Tkáč, Z., Kangalov, P. G., Kosiba, J. Getting ecological of hydraulic circuits of agricultural tractors. 1st. ed. Ruse : University of Rousse "Angel Kanchev", 2014. 120 s. ISBN 978-619-7071-63-4. In *Emerging Science Journal*, 6 (Special Issue), s. 150-165.10.28991/ESJ-2022-SIED-011

DIAGNOSTIKA ASYNCHRONNÍHO MOTORU POMOCÍ ROZPTYLOVÉHO MAGNETICKÉHO POLE

DIAGNOSTICS OF AN INDUCTION MOTOR USING STRAY MAGNETIC FIELD

Jan FULNEČEK, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ¹

René ZÁRUBA, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ²

Ondřej PODIVÍNSKÝ, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ³

Lukáš PROKOP, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ⁴

Ondřej KABOT, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ⁵

Anotace:

Analýza rozptylového magnetického pole motoru je jeden z nástrojů provozní bezdemonážní diagnostiky elektrických točivých strojů. Své uplatnění najde zejména u strojů, ke kterým není možné za provozu připojit žádnou diagnostickou aparaturu (typicky se jedná o motory, umístěné v prostředí s nebezpečím výbuchu). Příspěvek představuje porovnání dvou diagnostických metod, které jsou široce využívány pro detekci asymetrie statorového vinutí. Na asynchronním motoru bylo provedeno několik laboratorních měření a byly použity obě diagnostické metody. Axiální rozptylový magnetický tok byl měřen pomocí speciální cívky umístěné na horní části krytu ventilátoru, zatímco statorové proudy byly zaznamenávány osciloskopem. Všechny signály byly analyzovány a vzájemně porovnány. Cílem celého experimentu bylo porovnat citlivost a vhodnost popsáných metod pro diagnostiku poruch nízkonapěťového asynchronního motoru.

Annotation:

The analysis of the motor's stray magnetic field is one of the tools used in on-line, non-invasive diagnostics of electrical rotating machines. It is particularly applicable to machines for which it is not possible to connect any diagnostic equipment during operation, typically motors installed in environments with a risk of explosion. This article presents the comparison of two diagnostics methods, widely used for stator winding asymmetry detection. Several laboratory measurements were performed on induction motor and both diagnostics methods were used. The axial magnetic stray flux was measured by a special coil, mounted on the top of the fan cover, while the stator currents

¹ doc. Ing. Jan Fulneček, Ph.D., CTD

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Centrum energetických a environmentálních technologií
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba

tel.: +420 596 993 449, e-mail: jan.fulnecek@vsb.cz, <https://ceet.vsb.cz/cs>

² Ing. René Záruba

tel.: +420 596 993 449, e-mail: rene.zaruba@vsb.cz

³ Ing. Ondřej Podivínský

tel.: +420 596 993 449, e-mail: ondrej.podivinsky@vsb.cz

⁴ doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D., CTD

tel.: +420 596 999 306, e-mail: lukas.prokop@vsb.cz

⁵ Ing. Ondřej Kabot, Ph.D., CTD

tel.: +420 596 997 425, e-mail: ondrej.kabot@vsb.cz

were recorded by an oscilloscope. All signals were analyzed and compared. Goal of the whole experiment was to compare sensitivity and suitability of described methods for low-voltage induction motor fault diagnostics.

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference,
téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

VLIV FREKVENČNÍHO PÁSMU NA CITLIVOST DETEKCE ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ V IZOLAČNÍM SYSTÉMU VN KABELU

INFLUENCE OF FREQUENCY BAND ON THE SENSITIVITY OF PARTIAL DISCHARGE DETECTION IN THE INSULATION SYSTEM OF AN HV CABLE

Jan FULNEČEK, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ¹

René ZÁRUBA, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ²

Ondřej PODIVÍNSKÝ, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ³

Lukáš PROKOP, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ⁴

Ondřej KABOT, VŠB - Technická univerzita Ostrava, CEET ⁵

Anotace:

Částečné výboje v izolačním systému VN kabelu lze podle ČSN EN 60270 detekovat v širokém rozsahu frekvencí. Volba frekvenčního pásma má zásadní vliv na úspěšnost detekce částečných výbojů v izolačním systému VN kabelu. Částečné výboje generují velmi rychlé impulzy s širokým frekvenčním spektrem, a proto různé části tohoto spektra poskytují odlišné informace. Při měření v nižších frekvencích je možné dosáhnout vysoké citlivosti a získat hodnoty odpovídající normovému hodnocení, avšak za cenu větší náchylnosti k rušení a omezených možností lokalizace výbojů. Naopak měření ve vyšších frekvenčních pásmech je výrazně odolnější vůči rušení a umožňuje přesnější lokalizaci výboje, i když je obvykle méně citlivé na velmi malé výboje a neumožňuje přímé vyjádření jejich velikosti v normových jednotkách. Z těchto důvodů se v praxi často kombinuje více frekvenčních pásem, aby bylo možné současně spolehlivě detekovat částečné výboje, potlačit rušení a získat informace potřebné pro posouzení technického stavu a lokalizaci poruchy.

Annotation:

Partial discharges in the insulation system of a medium-voltage (MV) cable can be detected over a wide frequency range in accordance with ČSN EN 60270. The selection of the frequency band has a significant influence on the effectiveness of partial discharge detection in MV cable insulation systems. Partial discharges generate very fast pulses with a broad frequency spectrum; therefore, different parts of this spectrum provide different

¹ doc. Ing. Jan Fulneček, Ph.D., CTD

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Centrum energetických a environmentálních technologií
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba

tel.: +420 596 993 449, e-mail: jan.fulnecek@vsb.cz, <https://ceet.vsb.cz/cs>

² Ing. René Záruba

tel.: +420 596 993 449, e-mail: rene.zaruba@vsb.cz

³ Ing. Ondřej Podivínský

tel.: +420 596 993 449, e-mail: ondrej.podivinsky@vsb.cz

⁴ doc. Ing. Lukáš Prokop, Ph.D., CTD

tel.: +420 596 999 306, e-mail: lukas.prokop@vsb.cz

⁵ Ing. Ondřej Kabot, Ph.D., CTD

tel.: +420 596 997 425, e-mail: ondrej.kabot@vsb.cz

information. Measurements at lower frequencies allow high sensitivity and yield values corresponding to standardized evaluation; however, this is achieved at the expense of increased susceptibility to interference and limited capability for discharge localization. In contrast, measurements in higher frequency bands are significantly more resistant to interference and enable more accurate localization of the discharge, although they are usually less sensitive to very small discharges and do not allow direct expression of their magnitude in standardized units. For these reasons, multiple frequency bands are often combined in practice to simultaneously ensure reliable partial discharge detection, suppression of interference, and acquisition of information necessary for assessing the technical condition and localizing faults in MV cable systems.

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference,
téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

DIAGNOSTIKA PRUŽNÝCH SPOJOK

DIAGNOSTIC OF FLEXIBLE COUPLINGS

Robert GREGA, Technická univerzita v Košiciach, SF ¹

Lucia ŽULOVÁ, Technická univerzita v Košiciach, SF ²

Anotácia:

Pružné spojky sú dôležitou súčasťou všetkých mechanických pohonov. Pružné spojky sú schopné vyladiť mechanický pohon, teda sú schopné zmeniť vlastnú frekvenciu pohonu, tak aby výrazným spôsobom poklesla intenzita vibrácií. Nevyhnutnou požiadavkou je pravidelná diagnostika pružných spojok v prevádzkových podmienkach. Diagnostiku pružných spojok je možné realizovať vizuálnou kontrolou, ale aj bezkontaktnou identifikáciou vlastností pružných spojok.

Annotation:

Flexible couplings are an important part of all mechanical drives. Flexible couplings are capable of tuning the mechanical drive, i.e. they are capable of changing the drive's natural frequency so that the intensity of vibrations is significantly reduced. Regular diagnostics of flexible couplings under operating conditions is an essential requirement. Diagnostics of flexible couplings can be performed by visual inspection or by non-contact identification of the properties of flexible couplings.

1 Úvod

V súčasnosti jestvuje veľké množstvo rôznych typov pružných spojok. Každá pružná spojka pozostáva z troch základných častí. Vstupná časť, nazývaná v niektorých prípadoch aj primárna časť, je s výstupnou (sekundárnou) časťou spojená pomocou pružných prvkov. Pružné prvky umožňujú vzájomné torzné natočenie vstupnej a výstupnej časti spojky. Pružné spojky sa od seba líšia konštrukciou, tvarom pružného prvku, materiálom pružného prvku a radom špeciálnych funkcií. Pružné spojky musia byť schopné preniesť krútiaci moment z primárnej časti na sekundárnu časť, t.j. z hnacieho stroja ku ktorému je primárna časť pripojená, na hnaný stroj ku ktorému je zasa pripojená sekundárna časť spojky. Prenos krútiaceho momentu sa deje pri otáčaní hriadeľov a teda aj pri otáčaní pružnej spojky [1, 2, 3]. Pružný prvok spojky umožňuje okrem torznej flexibility aj flexibilitu axiálnu, radiálnu a uhlovú. Vďaka alebo aj kvôli tejto flexibilitě sú pružné spojky mnohokrát mylne používané ako dilatačné spojky. S mylnou aplikáciou pružných spojok sa v prevažnej miere stretávame pri pružných spojkách s gumenými pružnými prvkami. Guma, ako vysoko flexibilný materiál, totižto umožňuje značnú flexibilitu vo všetkých smeroch. Flexibilitu pružných prvkov charakterizuje tuhosť. Pri použití pružnej spojky na elimináciu dilatačných odchýlok sa tuhosť pružného prvku prejaví v závislosti na

¹ prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta

Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever, Slovenská republika

tel.: +421 55 602 2524, e-mail: robert.grega@tuke.sk, <https://www.tuke.sk/>

² Ing. Lucia Žulová, PhD.

tel.: +421 55 602 2354, e-mail: lucia.zulova@tuke.sk, <https://www.tuke.sk/>

veľkosti dilatácie ako prídavné silové alebo momentové zaťaženie. Prídavné zaťaženie nie je žiaducim zaťažením vzhľadom k tomu, že je to prídavné zaťaženie, ktoré je nutné potom zachytiť v ložisku. Vytvára sa tak prídavné zaťaženie ložiska. Môžu nastať prípady, kedy pružná spojka vnáša do pohonu axiálne zaťaženie ložísk, ktoré by sa v pohone vzhľadom na jeho konštrukciu ináč nenachádzalo.

Pružné spojky je potrebné využívať ako ladiče torzných vibrácií. Pružné spojky veľmi účinne znižujú torzné vibrácie [4, 5]. Základnými vlastnosťami pružných spojok, ktoré sa využívajú na ochranu pohonov pred torznými vibráciami, sú torzná tuhosť a tlmenie spojky. Predovšetkým torzná tuhosť spojky je vlastnosťou vďaka ktorej je možné vyladiť pohon. Vyladiť pohon znamená zmeniť dynamické parametre pohonu, predovšetkým vlastnú frekvenciu pohonu tak, aby sa v oblasti pracovného režimu pohonu nenachádzali rezonancie. Tlmenie pružných spojok sa využíva predovšetkým v rezonančnej oblasti alebo v blízkosti rezonančnej oblasti, kedy je časť energie z vibrácií pohltená pružnou spojkou a premenená na teplo. Z uvedeného vyplýva, že je oveľa vhodnejšie uprednostniť torznú tuhosť spojok pred tlmením. A teda je vhodnejšie aplikovať pružnú spojku do pohonu tak, aby bola rezonančná oblasť pohonu veľmi významne posunutá mimo pracovný režim pohonu.

Snaha o zníženie vibrácií a účinnú ochranu pohonov je motivovaná nielen hygienickými a prevádzkovými normami, ale zvyčajne aj snahou posúvať hranice badania v danej oblasti [9, 10, 11]. Predovšetkým v mechanických pohonoch s piestovými zariadeniami je zreteľný vplyv nežiaducich vibrácií. Znížením torzných vibrácií sa zaoberá niekoľko autorov. Haris a kol. [12, 13, 14] navrhujú použitie nelineárnych absorbérov a cieľený prenos energie a modálnu redistribúciu energie. Zink [15], ktorý sa podieľa na vývoji tlmiča vibrácií pre odstredivé kyvadlo, sa tiež prikláňa k modálnej redistribúcii energie. Manchi [16] navrhuje použitie odstredivého dvojitého tlmiča vibrácií kyvadla. Liu a kol. [17, 18] skúmajú znižovanie vibrácií zmenou tlmenia, tuhosti a zotrvačnosti. Berbyuk [19] skúma trojhmotový zotrvačník na zníženie torzných vibrácií. Jednou z vhodných možností na zníženie vibrácií je ladiateľný tlmič vibrácií. Jang a kol. [20] ho navrhujú ako ladiateľný elektromagnetický tlmič vibrácií. Lee [21] overuje možnosť ladenia pomocou spojky s použitím magnetoreologického elastoméru vo frekvenciách od 16,8 Hz do 23,5 Hz. Xiang [22] navrhuje použitie elektromagnetického tlmiča vibrácií vo vysokorýchlostnom rotačnom stroji. Redukcia torzných vibrácií je viackriteriálna optimalizácia, ktorej riešenie je často obmedzené vzájomne sa vylučujúcimi udalosťami.

V moderných pohonoch so spaľovacími motormi sa na zníženie torzných vibrácií často používajú dvojhmotné zotrvačníky. Ich usporiadanie zabezpečuje spojenie primárnej a sekundárnej hmoty pomocou kovového flexibilného prvku. Kovové flexibilné prvky sú navrhnuté tak, aby umožňovali veľký uhol skrútenia medzi primárnou a sekundárnou časťou [6, 7, 8].

Výzvou pri aplikácii pružných spojok za účelom znižovania vibrácií je skutočnosť, že všetky komponenty sa musia otáčať. Hmotnosť jednotlivých komponentov, ako aj ich rozloženie, majú dôležitý vplyv na amplitúdu vibrácií a celkovú dynamiku systému.

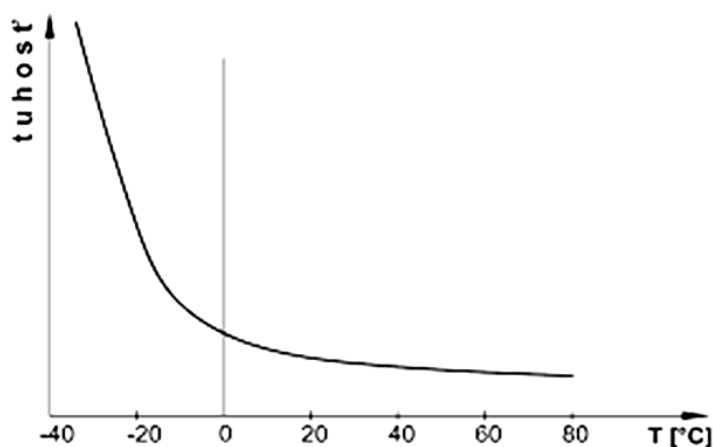
Cieľom článku je preukázať, že diagnostika pružnej spojky v pohone je rovnako dôležitá ako diagnostika ložísk.

2 Definovanie problému

Materiálom pružných prvkov môže byť guma, plast, kov, koža a pod. Každý z použitých materiálov v pružnej spojkou musí zabezpečiť flexibilitu spojky počas zaťaženia krútiacim momentom. Veľmi významnú mieru použitia predstavuje predovšetkým guma.

Guma sa vplyvom vonkajšieho zaťaženia deformuje, a to deformáciou elastickou a deformáciou plastickou. Elastická deformácia po uvoľnení zaťaženia zanikne. Podľa časového priebehu rozoznávame deformácie ideálne elastické a viskoelastické. Ideálne elastická deformácia je deformácia dokonale vratná, časovo nezávislá (okamžitá). Viskoelastická deformácia je deformácia vratná, avšak časovo závislá (oneskorene elastická). Plastická deformácia je časovo závislá, ale dokonale nevratná. Tá časť mechanickej energie, ktorá spôsobuje plastickú deformáciu, sa v celom objeme premieňa na teplo.

Torzné vibrácie, ktorým je vystavená pružná spojka, charakterizujeme ako dynamické zaťaženie. Následkom dynamického zaťaženia a vplyvom plastických deformácií v gumenom pružnom prvku sa časť privedenej vibračnej energie premieňa na teplo. Akumulované teplo v pružnom prvku spojky sa prejaví zvýšením teploty pružného prvku. Teplota gumených pružných prvkov sa stáva rozhodujúcim faktorom, ktorý výrazne vplýva na tuhosť spojky obr.1.



Obr.1 Všeobecný priebeh tuhosti gumeného prvku pružnej spojky v závislosti na teplote

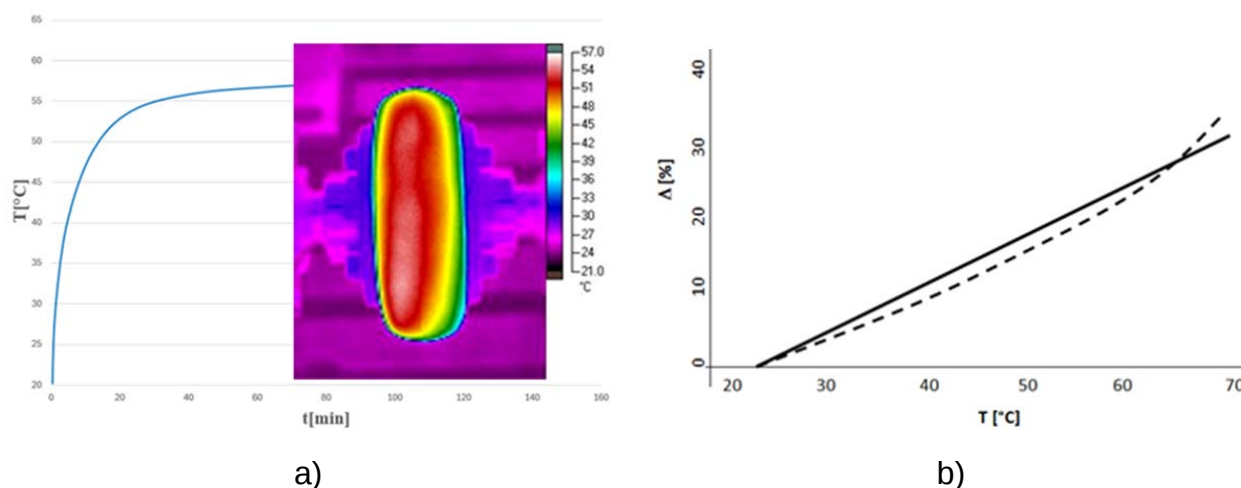
Dynamické zaťaženie zvyšuje teplotu pružného prvku do momentu tepelnej rovnováhy. Tepelná rovnováha nastane, ak množstvo privedeného tepla do pružného prvku sa bude rovnať množstvu odvedeného tepla. Odvod tepla z pružného prvku sa uskutočňuje vedením alebo sálaním z povrchu gumového elementu. V dôsledku nízkej tepelnej vodivosti gumy, je v gumovom elemente veľký teplotný spád. Rast teploty pri veľkých amplitúdach dynamického zaťaženia v spojení s vysokými frekvenciami môže spôsobiť, že teplota gumového elementu prekročí limitnú hodnotu gumy 70 °C.

3 Diagnostika pružnej spojky

Diagnostiku pružnej spojky s gumeným pružným prvkom v pohone je možné vykonávať vizuálne. Pri vizuálnej kontrole pružnej spojky sa kontroluje predovšetkým veľkosť trhlín v gumených častiach, poškodené plochy na gumených častiach, spoje gumených prvkov s primárnou a sekundárnou časťou. Túto vizuálnu kontrolu je možné vykonať len počas odstávky pohonu. V torzne významných pohonoch by sa požadovalo vykonať aj verifikáciu vlastností pružnej spojky. Počas verifikácie by bolo potrebné identifikovať a overiť torznú tuhosť a tlmenie pružnej spojky. Prevádzkovaním pružnej spojky, kedy dochádza ku ohrevu pružnej spojky, je totižto veľkým nebezpečenstvom, že

pôsobením zvýšenej teploty v gumenom prvku došlo ku výraznej degradácii vlastností pružnej spojky. Degradácia vlastností pružnej spojky má výrazný vplyv na rezonančnú oblasť pohonu. V prípade lineárneho dynamického modelu pohonu má zmena torznej tuhosti o 50%, cca 20%-ný vplyv na polohu rezonančnej oblasti.

V laboratórnych podmienkach bola testovaná pružná spojka. Overovala sa predovšetkým priama kolaborácia medzi nárastom vibrácií a nárastom teploty spojky obr.2a. Následne sa overovala aj priama kolaborácia medzi zmenou teploty pružného prvku spojky, ktorá môže nastať zmenou teploty okolia, v ktorom pohon pracuje a zmenou vlastností pružnej spojky, ktoré priamo ovplyvňujú rezonančnú oblasť pohonu obr.2b. Pre testovaciu diagnostiku bola použitá spojka Periflex.



Obr.2 Teplotná odozva pružnej spojky

Dynamický zaťažovací cyklus predstavoval zaťažovanie pružnej spojky pri nominálnom predpätí frekvenciou 12 Hz a amplitúdou na úrovni 10% z maximálneho uhlu skrútenia pružnej spojky, t.j. amplitúda torzného skrútenia bola 2° . Počiatočná teplota pružnej spojky bola 20°C . Zo získaného priebehu teploty pružnej spojky je možné pozorovať v prvom časovom intervale do 10 minút z počiatočnej teploty 20°C prudký nárast teploty o 33°C . Tento fakt poukazuje na zvýšenie torzného kmitania v mechanickom pohone. Takýto prudký nárast teploty je v reálnom pohone identifikátorom zmeny dynamických pomerov sústavy, teda nárastom torzných vibrácií.

Citlivosť torznej tuhosti (plná čiara) a súčiniteľa tlmenia (čiarkovaná čiara) obr.2b, na teplotu v spojke bola testovaná pri teplotách okolia od 25°C do 70°C . Vrchná hodnota testovanej teploty, je limitnou teplotou a vo všeobecnosti je udávaná ako hraničná pre poškodenie gumového materiálu.

4 Diskusia a záver

Na základe testovania je možné konštatovať, že vplyvové zmeny teploty pružnej spojky sú výrazne. Je možné využiť tepelnú diagnostiku pružnej spojky na monitoring dynamických zmien v pohone. Zároveň je možné postupovať aj opačne. V prípade meniacej sa teploty v pracovnom prostredí, kde je umiestnený pohon s pružnou spojkou, je teplotným monitoringom spojky možné vytvoriť predikciu dynamických zmien v pohone.

Pre praktickú aplikáciu sa navrhuje, aby diagnostika stavu ložísk v pohone bola podporená diagnostikou pružnej spojky. Diagnostický reťazec je navrhovaný ako reťazec

kombinovanej vibrodiagnostiky a termodiagnostiky. Vibrodiagnostika sa aplikuje na identifikáciu stavu ložísk a mohutnosti vibrácií. V rámci vibrodiagnostiky budú meracími bodmi ložiska v blízkosti pružnej spojky. Súbežne s vibrodiagnostikou ložísk bude prebiehať diagnostika teplotného stavu pružného prvku spojky. Na diagnostiku sa využijú bezkontaktné diagnostické zariadenia na meranie teploty alebo priamo termovízna kamera.

PodĎakovanie:

Článok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0573/25, Výskum, vývoj a testovanie ladičov torzných vibrácií.

Literatúra:

- [1] Turoň, K., Czech, P., Tóth, J. Safety and security aspects in shared mobility systems. Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp. 2019, 104, p. 169-175. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2019.104.15>
- [2] Grega R., Czech P. Non-invasive vibroacoustic diagnostics of car internal combustion engines. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2024, vol. 125, p. 69-87. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.125.5>
- [3] Kaššay P., Urbanský M., Grega R., Krajňák J., Kačír M., Žuľová L., Kuľka J. Functional prototype of pneumatic flexible shaft coupling with mechanical constant twist angle regulator. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2024, vol. 125, p. 115-122. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.125.8.24>
- [4] Lewitzke, C., Lee, P. Application of Elastomeric Components for Noise and Vibration Isolation in the Automotive Industry, SAE Technical Paper 2001-01-1447, 2001, <https://doi.org/10.4271/2001-01-1447>
- [5] Li, M., Khonsari, M., Yang, R. Dynamics analysis of torsional vibration induced by clutch and gear set in automatic transmission, International Journal of Automotive Technology, Vol. 19, No. 3, pp. 473–488 (2018), DOI 10.1007/s12239-018-0046-8
- [6] Idehara, S. J., Flach, F. L., Lemes, D. Modeling of nonlinear torsional vibration of the automotive powertrain, Journal of Vibration and Control, (2018), Vol. 24(9) 1774-1786, DOI:10.1177/1077546316668687
- [7] Chen, L., Zeng, R. and Z. Jiang, Nonlinear dynamical model of an automotive dual mass flywheel, Advances in Mechanical Engineering, (2015), Vol. 7(6) 1-11, DOI: 10.1177/1687814015589533
- [8] Albers, A. Advanced Development of Dual Mass Flywheel (DMFW) Design-Noise Control for Today ' s Automobiles, Dring, (2006)
- [9] Lamas Galdo, M. I., Rodriguez García, J. D., Rebollido Lorenzo, J. M. Numerical Model to Analyze the Physicochemical Mechanisms Involved in CO₂ Absorption by an Aqueous Ammonia Droplet. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 4119. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084119>
- [10] Wojnar, G., Irlík, M. Multicriteria train running model and simulator for railway capacity assessment. Transp. Probl.-Probl. Transp. 2022, 17, 199-212. <https://doi.org/10.20858/tp.2022.17.2.17>
- [11] Czech, P., Turoň, K., Barcik, J. Autonomous vehicles: Basic issues. Sci. J. Sil. Univ. Technol. Ser. Transp. 2018, 100, 15-22. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.100.2>
- [12] Haris, A., Motato, E., Theodossiades, S., Rahnejat, H., Kelly, P. A study on torsional vibration attenuation in automotive drivetrains using absorbers with smooth and non-smooth nonlinearities. Appl. Math. Model. 2016, 46, 674-690

- [13] Haris, A., Motato, E., Mohammadpour, M., Theodossiades, S., Rahnejat, H. On the effect of multiple parallel nonlinear ab-sorbers in palliation of torsional response of automotive drivetrain. *Int. J. Non Linear Mech.* 2017, 96, 22-35.
- [14] Motato, E., Haris, A., Theodossiades, S., Mohammadpour, M., Rahnejat, H. Targeted energy transfer and modal energy redistribution in automotive drivetrains. *Nonlinear Dyn.* 2017, 87, p. 169-190.
- [15] Zink, M., Hausner, M. The Centrifugal Pendulum-type Absorber Application, Performance and Limits of Speed-adaptive Absorbers, 2009 , ATZ 07-08, Volume 111. Zink, M., Hausner, M. The centrifugal pendulum-type absorber, (2009), ATZ Worldw 111, p. 42-47., <https://doi.org/10.1007/BF03225088>
- [16] Manchi, V., Sujatha, C. Torsional vibration reduction of rotating shafts for multiple orders using centrifugal double pendulum vibration absorber. *Appl. Acoust.* 2021, 174, 107768. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107768>
- [17] Liu, C. C., Jing, X. J., Chen, Z. Band stop vibration suppression using a passive X-shape structured lever-type isolation system. *Mech. Syst. Sig. Process.* 2016, 68-69, 342-353
- [18] Liu, C. C., Jing, X. J. Nonlinear vibration energy harvesting with adjustable stiffness, damping and inertia. *Nonlinear Dyn.* 2016, 88, p. 79-95
- [19] Berbyuk, V. Weight-Vibration Pareto Optimization of a Triple Mass Flywheel for Heavy-Duty Truck Powertrains. *Machines* 2020, 8, 50. <https://doi.org/10.3390/machines8030050>
- [20] Jang, D. I., Yun, G. E., Park, J. E., Kim, Y. K. Designing an attachable and power-efficient all-in-one module of tunable vibration absorber based on magnetorheological elastomer. *Smart Mater. Struct.* 2018, 27, 085009
- [21] Lee, K. H., Park, J. E., Kim, Y. K. Design of a stiffness variable flexible coupling using magnetorheological elastomer for torsional vibration reduction. *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 2019, 30, 2212-2221. <https://doi.org/10.1177/1045389X19862378>
- [22] Xiang, B., Wong, W. Electromagnetic vibration absorber for torsional vibration in high speed rotational machine. *Mech. Syst. Signal Process.* 2020, 140, 106639. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.106639>

FORMULACE MAZACÍHO OLEJE V ČASE - ZÁKLADOVÉ OLEJE, ADITIVACE, TRIBODIAGNOSTIKA

LUBRICATING OIL FORMULATION OVER TIME - BASE OILS, ADDITIVES, TRIBODIAGNOSTICS

Jakub GRUNT, TotalEnergies Marketing ČR s.r.o., Praha ¹

Jiří KLAPKA, KLAPKA TECHNIK, Jablonec nad Nisou ²

Anotace

Poslední desetiletí výrazně posunula konstrukční a technologické možnosti strojů a změnila tím podmínky, v jakých mazací oleje musí pracovat. Technologické možnosti výrazně změnily možnosti formulace mazacích olejů. Základové oleje změnily své vlastnosti i chemickou skladbu. Ve formulacích olejů se výrazně prosazují dříve ne zcela běžně používané základové oleje. Hydrokrakové základové oleje skupiny II a III (dle API), syntetické estery a další druhy základových olejů se prosazují také u části průmyslových mazacích olejů. V oblasti aditivace se prosadily nové typy přísad plnící nové požadavky výrobců techniky. Změnilo se tak i chemické složení, které může mít vliv také na vyhodnocování tribodiagnostiky maziv v provozu. Změny chemického složení se promítají např. do prvkové analýzy, FT-IR spekter a dalších testů. Kompletní analýzy zejména v oblasti chemického složení také pomáhají a zjednodušují identifikace mazacího oleje.

Annotation:

The last decade has significantly advanced the design and technological capabilities of machines and has thus changed the conditions in which lubricating oils must work. Technological capabilities have significantly changed the possibilities of formulating lubricating oils. Base oils have changed their properties and chemical composition. Previously not quite commonly used base oils are becoming more and more popular in oil formulations. Hydrocracked base oils of groups II and III (according to API), synthetic esters and other types of base oils are also becoming popular in some industrial lubricating oils. In the area of additivity, new types of additives have become popular, meeting the new requirements of equipment manufacturers. The chemical composition has also changed, which can also have an impact on the evaluation of tribodiagnosics of lubricants in operation. Changes in chemical composition are reflected, for example, in elemental analysis, FT-IR spectra and other tests. Complete analyses, especially in the area of chemical composition, also help and simplify the identification of lubricating oil.

(autoři si nepřejí zveřejnění příspěvku, téma je zařazeno do programu konference)

¹ Ing. Jakub Grunt, CTD

TotalEnergies Marketing ČR s.r.o.

Rohanské nábřeží 678/29, 186 00 Praha 8 - Karlín

mobil: +420 724 506 571, e-mail: jakub.grunt@totalenergies.com, <https://totalenergies.com/>

² Jiří Klapka, CTD

KLAPKA TECHNIK

Na Úbočí 4333/23, 466 05 Jablonec nad Nisou - Rýnovice

mobil: +420 739 550 935, e-mail: klapka.technik@gmail.com

DIGITALIZACE RUTINNÍCH ČINNOSTÍ V ÚDRŽBĚ: CESTA OD PAPÍRU K EFEKTIVNÍMU ŘÍZENÍ

DIGITALIZATION OF ROUTINE MAINTENANCE ACTIVITIES: FROM PAPER-BASED SYSTEMS TO EFFECTIVE MANAGEMENT

Lukáš HEISIG, Heistech, s.r.o., Dobrkovice ¹

Anotace:

Přednáška se zabývá problematikou digitalizace rutinních údržbářských činností se zaměřením na evidenci mazacích a inspekčních procesů. Popisuje současný stav vedení údržby v průmyslových provozech, kde převládá papírová dokumentace s řadou limitů a rizik. Představuje možnosti modernizace těchto procesů prostřednictvím dostupných digitálních nástrojů. Součástí článku je detailní představení aplikace DEMIP (Digitální Evidence Mazacích a Inspekčních Procesů) jako cenově dostupného řešení pro malé i střední podniky, které umožňuje efektivní správu mazacích plánů a inspekčních kontrol pomocí NFC technologie a cloudového úložiště.

Annotation:

The article addresses the digitalization of routine maintenance activities, focusing on the recording of lubrication and inspection processes. It describes the current state of maintenance management in industrial operations, where paper-based documentation prevails, entailing various limitations and risks. It outlines possibilities for modernizing these processes using available digital tools. Furthermore, the article provides a detailed introduction to the DEMIP application (Digital Recording of Lubrication and Inspection Processes) as a cost-effective solution for small and medium-sized enterprises (SMEs), enabling efficient management of lubrication schedules and inspections via NFC technology and cloud storage.

1 Úvod

V mnoha průmyslových podnicích, zejména v segmentu malých a středních firem, se stále setkáváme s tradičním přístupem k vedení údržbářské dokumentace. Mazací plány, inspekční protokoly a záznamy o provedených úkonech jsou vedeny v papírové podobě nebo v nejlepším případě v tabulkových editorech typu MS Excel. Takový přístup je nejen neefektivní, ale i rizikový: informace o mazání či závadách se ztrácí, není možné jednoduše sledovat historii zásahů, chybí kontrola nad termíny mazání a vzniká závislost na jednotlivých pracovnících.

¹ Ing. Lukáš Heisig, Ph.D., CTD
Heistech, s.r.o.
Dobrkovice 111, 763 07 Dobrkovice
tel.: +420 724 555 179, e-mail: info@heistech.cz, <https://www.heistech.cz>

Tento zaběhnutý systém s sebou nese řadu problémů:

- časová náročnost - ruční zapisování dat do formulářů nebo tabulek zabírá cenný čas údržbářů,
- riziko lidské chyby - záměna mazacích bodů, přepsání termínů, nečitelné záznamy,
- ztráta dokumentace - poškození nebo ztráta papírových záznamů v náročném průmyslovém prostředí,
- obtížná archivace - papírové dokumenty zabírají prostor a jejich dlouhodobé uchování je problematické,
- nízká dostupnost informací - data nejsou okamžitě dostupná pro management a technické vedení,
- absence analytických možností - retrospektivní analýza trendů a problémů je prakticky nemožná.

Nedostatečná evidence údržbářských činností může vést k vážným provozním problémům. Vynechané mazání kritických uzlů způsobuje předčasné opotřebení komponentů, zvýšené vibrace a v krajním případě i havarijní stavy strojů. Absence systematické evidence inspekčních kontrol může znamenat přehlédnutí vznikajících poruch a následné neplánované prostoje výroby.

2 Digitalizace jako řešení

Digitalizace rutinních údržbářských činností není pouze módním trendem, ale reálnou odpovědí na potřebu zvýšení efektivity a spolehlivosti provozu. Moderní digitální nástroje umožňují okamžitou evidenci provedených úkonů bez nutnosti ručního přepisování a poskytují centralizované úložiště dat dostupné z více zařízení současně. Systémy mohou automaticky upozorňovat na blížící se termíny mazání a kontrol, vytvářet, ukládat a sdílet fotodokumentaci stavu zařízení přímo v místě kontroly. Významnou výhodou je také možnost analýzy trendů a identifikace problematických míst, spolu se snížením rizika lidské chyby prostřednictvím automatizace.

Mnohé podniky se obávají vysokých nákladů na zavedení digitálních systémů údržby. Komplexní CMMS (Computerized Maintenance Management System) platformy mohou být skutečně finančně náročné a vyžadují rozsáhlé školení personálu. Další překážkou bývá obava z komplikovanosti a nízké uživatelské přívětivosti těchto systémů, zejména pro starší zaměstnance.

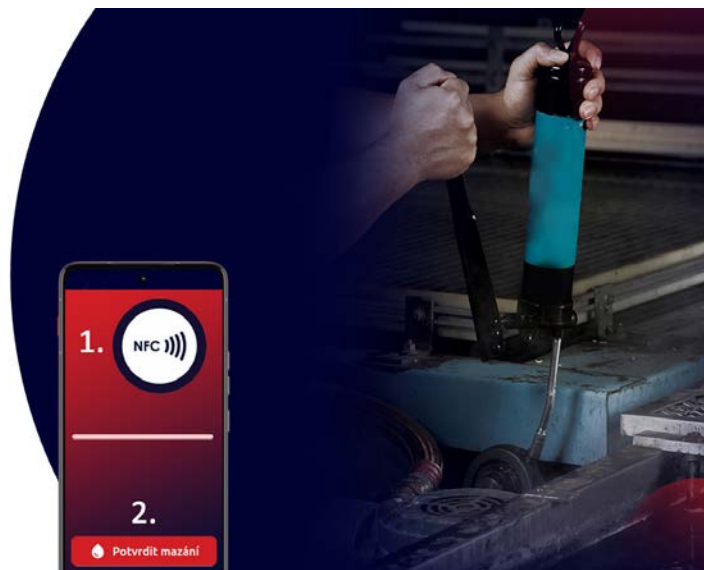
Právě zde vzniká prostor pro jednoduchá, účelová řešení zaměřená na konkrétní údržbářské procesy, která jsou cenově dostupná a snadno implementovatelná.

3 Představení aplikace DEMIP

DEMIP (Digitální Evidence Mazacích a Inspekčních Procesů) je mobilní a webová aplikace vyvinutá společností Heistech, s.r.o., specificky pro potřeby průmyslové údržby. Jedná se o nástroj, který přináší efektivní kontrolu nad mazacími a inspekčními plány bez nutnosti investic do rozsáhlých IT systémů.

Aplikace je navržena s důrazem na jednoduchost ovládání, kdy intuitivní rozhraní zvládne každý údržbář. Rychlost evidence je zajištěna možností zaznamenat provedený úkon jediným klikem. Spolehlivost identifikace je řešena využitím NFC technologie, kdy

každý NFC čip má vlastní unikátní kód, což eliminuje záměny mazacích bodů. Voděodolné NFC čipy jsou vhodné i do náročných průmyslových prostředí, čímž je zajištěna jejich odolnost.



Obr.1 Náhled aplikačního listu DEMIP

4 Klíčové funkce a výhody

Aplikace DEMIP nabízí přehlednou navigaci prostřednictvím seznamu linek a strojů s barevným označením stavu, kde zelená barva signalizuje dodržení termínu a žlutá barva upozorňuje na překročení termínu. Systém umožňuje rychlé vyhledávání konkrétních kontrolních bodů a filtraci podle priority a termínů. Karty kontrolních bodů je rozděleny zvlášť na kartu mazání, automatických maznic a inspekcí. Detailní informace v kartě kontrolních bodů obsahují název a popis mazacího místa, typ a množství maziva, interval mazání, popis inspektovaného místa a činností inspekce a fotodokumentaci. K dispozici je také historie provedených záznamů spolu s poznámkami a nahlášenými závadami.

Evidence a reporting je zajištěn automatickým záznamem data a času provedení s možností přidání fotografie aktuálního stavu. Údržbář může zapsat poznámky a poruchy, přičemž systém obsahuje blokaci duplicitního evidování - tlačítko se po potvrzení zablokuje na stanovený interval. Data lze exportovat pro další analýzu. Multiplatformní přístup je realizován prostřednictvím webové progresivní aplikace pro Android i iOS a webového rozhraní pro management a nastavení. Synchronizace dat probíhá v reálném čase a přístup je možný z více zařízení současně.

Pro údržbáře představuje systém DEMIP úsporu času díky evidenci jedním klikem místo ručního zapisování. Eliminace chyb je zajištěna tím, že NFC čip zaručuje správnou identifikaci bodu. Všechny potřebné informace včetně typu maziva, intervalu, fotografie a historie jsou vždy po ruce. Odolné čipy fungují spolehlivě i při znečištění nebo vlhkosti. Pro vedení údržby systém poskytuje přehled o stavu plnění mazacích plánů v reálném čase. Analytické možnosti umožňují identifikaci problematických míst, zatímco fotodokumentace a hlášení závad zachycuje vývoj stavu zařízení v čase. Systém včas upozorňuje na blížící se termíny údržby či inspekce. Pro management jsou zásadní nízké pořizovací náklady oproti komplexním CMMS systémům. Rychlá implementace je

zajištěna tím, že dodání, montáž čipů a tvorbu databáze zajistí dodavatel. Systematická údržba snižuje riziko havarijních stavů a zároveň poskytuje průkaznou evidenci pro audity a certifikace.

5 Praktická implementace a zkušenosti z praxe

Implementace systému DEMIP probíhá v několika krocích. Proces začíná analýzou stávajícího stavu, která zahrnuje zmapování mazacích a inspekčních míst formou auditu mazání a inspekce. Následuje návrh struktury, při němž se vytváří hierarchie linek, strojů a mazacích bodů.

Další fází je instalace NFC čipů, kdy se montují voděodolné čipy na jednotlivá místa s přesným označením a popisem. Poté probíhá vytvoření databáze, do které se vkládají všechny údaje o mazacích bodech, intervalech a mazivech. Důležitou součástí implementace je školení personálu, při kterém dochází k zaškolení údržbářů v práci s aplikací. Závěrečnou fází je rozšíření systému do plného provozu v celém závodu.

Náklady na zavedení systému DEMIP jsou výrazně nižší než u komplexních CMMS platforem. Návratnost investice se projevuje v několika oblastech. Úspora času údržbářů je odhadována na 15 až 30 minut denně strávených evidencí. Dochází ke snížení neplánovaných prostojů díky systematickému mazání a včasné detekci problémů. Správné a pravidelné mazání vede k prodloužení životnosti zařízení snížením opotřebení. Přesná evidence zabraňuje nadbytečnému mazání, čímž dochází k optimalizaci spotřeby maziv. Taktéž dochází k eliminaci rutinních kontrol, mazání či inspekci tzv. „od stolu“, což má pozitivní vliv na zachování provozuschopnosti zařízení.

Podniky, které zavedly systém digitální evidence, reportují zejména zlepšení disciplíny při dodržování mazacích plánů. Výrazně se zkrátil čas potřebný na přípravu auditů a certifikací. Systém umožňuje rychlou analýzu při vzniku poruchy díky dostupnosti historie mazání daného uzlu a možnosti hlášení závady v reálném čase. Významným přínosem je také zvýšení zodpovědnosti údržbářů, neboť každý úkon je zaznamenán včetně identifikace osoby, která jej provedla.

6 Závěr a výhled do budoucnosti

Digitalizace rutinních údržbářských činností není luxusem velkých korporací, ale dostupným nástrojem pro podniky všech velikostí. Aplikace DEMIP představuje praktické a cenově efektivní řešení, které umožňuje modernizovat evidenci mazacích a inspekčních procesů bez nutnosti investic do rozsáhlých IT systémů.

Přechod od papírové dokumentace k digitálnímu systému přináší měřitelné výhody v podobě úspory času, snížení chybovosti a zvýšení spolehlivosti provozu. Systematická údržba podpořená moderními nástroji je klíčem k prodloužení životnosti zařízení a minimalizaci neplánovaných prostojů. Taktéž vede k rychlejšímu převodu kompetencí v rámci fluktuaci zaměstnanců.

Do budoucna lze očekávat další rozšíření funkcionality aplikace DEMIP, včetně prediktivních algoritmů upozorňujících na potenciální problémy na základě analýzy historických dat, integrace s vibračními diagnostickými systémy.

Digitalizace údržby není otázkou „zda“, ale „kdy“. Čím dříve začnete, tím větší konkurenční výhodu získáte.

AKTIVITA „LABIR EDU - TERMovIZE DO ŠKOL“ - VÝCHOVA DALŠÍ GENERACE TERMO-DIAGNOSTIKŮ

ACTIVITY "LABIR EDU - THERMAL IMAGING CAMERAS TO SCHOOLS" - EDUCATING THE NEXT GENERATION OF THERMO-DIAGNOSTICIANS

Milan HONNER, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ¹

Vladislav LANG, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ²

Jan ŠROUB, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ³

Anotace:

Příspěvek představuje aktivitu organizovanou Západočeskou univerzitou v Plzni a nazvanou „LabIR EDU - Termovize do škol“. Jedná se o vzdělávací platformu založenou výzkumným centrem NTC Západočeské univerzity v Plzni, která inspiruje mladou generaci k objevování vědy a techniky prostřednictvím interaktivních experimentů zaměřených na teplo a infračervené záření. Příspěvek představuje dílčí aktivity zaměřené na vývoj a výrobu termokamer pro výuku, školení učitelů a lektorů, tvorbu experimentů a výukových pomůcek, budování sítě distribučních center i různé interakce se studenty základních a středních škol.

Annotation:

The contribution introduces an activity organized by the University of West Bohemia in Pilsen and called "LabIR EDU - Thermal Imaging Cameras to Schools". This is an educational platform established by the NTC research center of the University of West Bohemia in Pilsen, which inspires the young generation to discover science and technology through interactive experiments focused on heat and infrared radiation. The contribution presents partial activities focused on the development and production of infrared cameras for teaching, training of teachers and lecturers, creation of experiments and teaching aids, building a network of distribution centers, and various interactions with students of primary and secondary schools.

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference, téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

¹ prof. Ing. Milan Honner, Ph.D., CTD

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - výzkumné centrum

Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

tel.: +420 377 634 720, mobil: +420 606 522 406, e-mail: honner@ntc.zcu.cz, <https://irt.zcu.cz/cs/>

² Ing. Vladislav Lang, Ph.D., CTD

tel.: +420 377 634 717, mobil: +420 725 519 955, e-mail: vlang@ntc.zcu.cz

³ Ing. Jan Šroub, Ph.D.

tel.: +420 377 634 722, mobil: +420 777 820 493, e-mail: jsroub@ntc.zcu.cz

PREDICTION OF THE VIBRATION SIGNAL PARAMETERS CONTROLLING THE OPERATION OF THE DOF PLATFORM IN THE ROADHEADER RESEARCH SIMULATOR {RH-SIM} BASED ON THE RESULTS OF COMPUTER TESTS

Piotr CHELUSZKA, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska ¹

Annotation:

The roadheader research simulator {RH-Sim}, developed over several years, is equipped with the DOF Reality HERO H3 platform, a 3-degree-of-freedom motion simulator. To ensure the simulator's realism, especially during manual control of the virtual roadheader, this platform simulates the vibrations of the operator's seat, reflecting the actual behavior of the roadheader during mining. Prediction of the amplitude and frequency components of this motion is performed using artificial neural networks (ANNs). To achieve this, the neural networks were trained based on data obtained from computer simulations conducted using a modified dynamic model of the roadheader body. This model accounts for the actual interaction of the roadheader with the floor, including frictional contact between the roadheader and the ground. This article will present selected results of the research conducted in this area.

1 Introduction

One of the fundamental stages of robotization of boom-type roadheaders, understood as autonomous, self-propelled mining machines that automatically carry out the process of cutting the face of the drilled roadways, or tunnel, is the development of effective and efficient algorithms for planning the trajectory of the mining heads. The development of roadheader construction in the direction of robotization results, on the one hand, from the need to ensure the safety of work of crews working in underground mines and in the construction of underground architectural structures using trenchless techniques in particularly dangerous zones, such as the faces of hollowed roadways. On the other hand, there is a need to optimize the cutting process in terms of reducing costs, increasing efficiency, and increasing the accuracy of making roadways in mines and general-purpose tunnels.

In the literature, you can find many publications on the subject of planning the trajectory of the cutting heads of roadheaders in terms of automating the cutting process [4], [5], [6], [7], [8], [9]. The authors of these works focus, for example, on optimizing the cutting cycle time through optimal, automatic selection of the path of the cutting heads. However, these studies commonly concern the case of drilling roadways carried out in the coal seam. In the entire cross-section of the excavation, there is a fairly homogeneous rock (e.g., hard coal) with approximately constant strength parameters. The situation is complicated in the case of drilling roadways/tunnels in rocks with highly varied workability. Such a situation is commonly encountered in Polish hard coal mines,

¹ dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. PŚ

Silesian University of Technology, Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation

Department of Mining Mechanization and Robotisation

ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska

tel.: +48 32 237 22 56, fax: +48 32 237 15 95, e-mail: piotr.cheluszka@polsl.pl

where, for example, longwall gate roadways are drilled into the coal seam with a large roof and/or floor trimming. The rock layers surrounding coal seams are often much more difficult to work than hard coal. The process of automatic trajectory planning must therefore be carried out taking into account additional criteria, such as minimizing dynamic loads and vibrations in the drives and key structural nodes of the roadheader, or minimizing the energy consumption of mining.

Due to the high cost and burdensomeness of conducting experimental research on real roadheaders, simulators come into play when developing automatic control algorithms. Their operation is based on mathematical models that allow mapping the behavior of a virtual roadheader during its work process under defined conditions. The realism of such a machine is ensured by the hardware part, which reproduces, among other things, the operator's position in a natural scale.

The Department of Mining Mechanization and Robotisation at the Silesian University of Technology has been developing a research simulator of the roadheader {RH-Sim} for several years [2], [3]. An important functional feature of this simulator is the ability to predict the values of the roadheader's operating parameters, including, among others, the load on its drives, the swinging speed of the boom, and the energy consumption of mining. Artificial neural networks (ANNs) are used for this purpose, which have been subjected to the process of machine learning [1]. This process was carried out using the results of computer simulations of the dynamics of the roadheader during the simulated mining of rocks with different mechanical properties at different values of the parameters of this process. In this way, it is possible to map the dynamic response of the roadheader to the forcing of vibrations accompanying the cutting of the face of the drilled roadway or tunnel during the movement of the cutting heads along a given trajectory.

2 Using the DOF Reality HERO H3 platform to reproduce vibrations at the operator's station

To ensure situational realism at the operator's station during the process of mining with a virtual roadheader in the {RH-Sim} simulator, the operator's seat was placed on the DOF Reality HERO H3 platform. This platform is actually a motion simulator with 3 degrees of freedom, allowing the implementation of three rotational movements (yaw, pitch, roll) - Fig.1. The task of this platform is to reproduce real movement, including vibrations, to which the operator of the roadheader is subjected during manual, semi-automatic, or automatic control of the roadheader on a virtual stage. The DOF Reality HERO H3 platform is built into the base of the {RH-Sim} simulator, recreating the operator's cabin equipped with an operator panel and joysticks that allow you to control the movement of the roadheader. The control device of this platform is controlled from the level of the simulator main program via the Sim Racing Studio software (Fig.2). As a result, it is possible to induce movement of the operator's seat resulting from vibrations and displacements of the body of the real roadheader during the cutting of the head of the drilled roadway in mine or tunnel at the set values of the parameters of this process.

The most important features of the DOF Reality HERO H3 platform include [10]:

- number of degrees of freedom (axis): 3 (pitch, roll & yaw/rear),
- the possibility of attaching the seat with control devices,
- range of motion of individual axes: $\pm 20^\circ$,
- maximum movement speed: $86^\circ/\text{s}$,

- maximum torque of motors in axle drives: 25 Nm,
- maximum seat acceleration: 0.7g,
- peak power consumption: 1300 W,
- maximum lifting capacity of the platform: 150 kg,
- dimensions: 1500×600×600 mm.

The kit includes a completely assembled platform, driver, wiring, license for the Sim Racing Studio software, allowing cooperation with simulation software.

a)



b)



c)



d)



Fig.1 DOF Reality HERO H3 platform built into the base of the {RH-Sim} roadheader simulator (a-c) and control device (d)

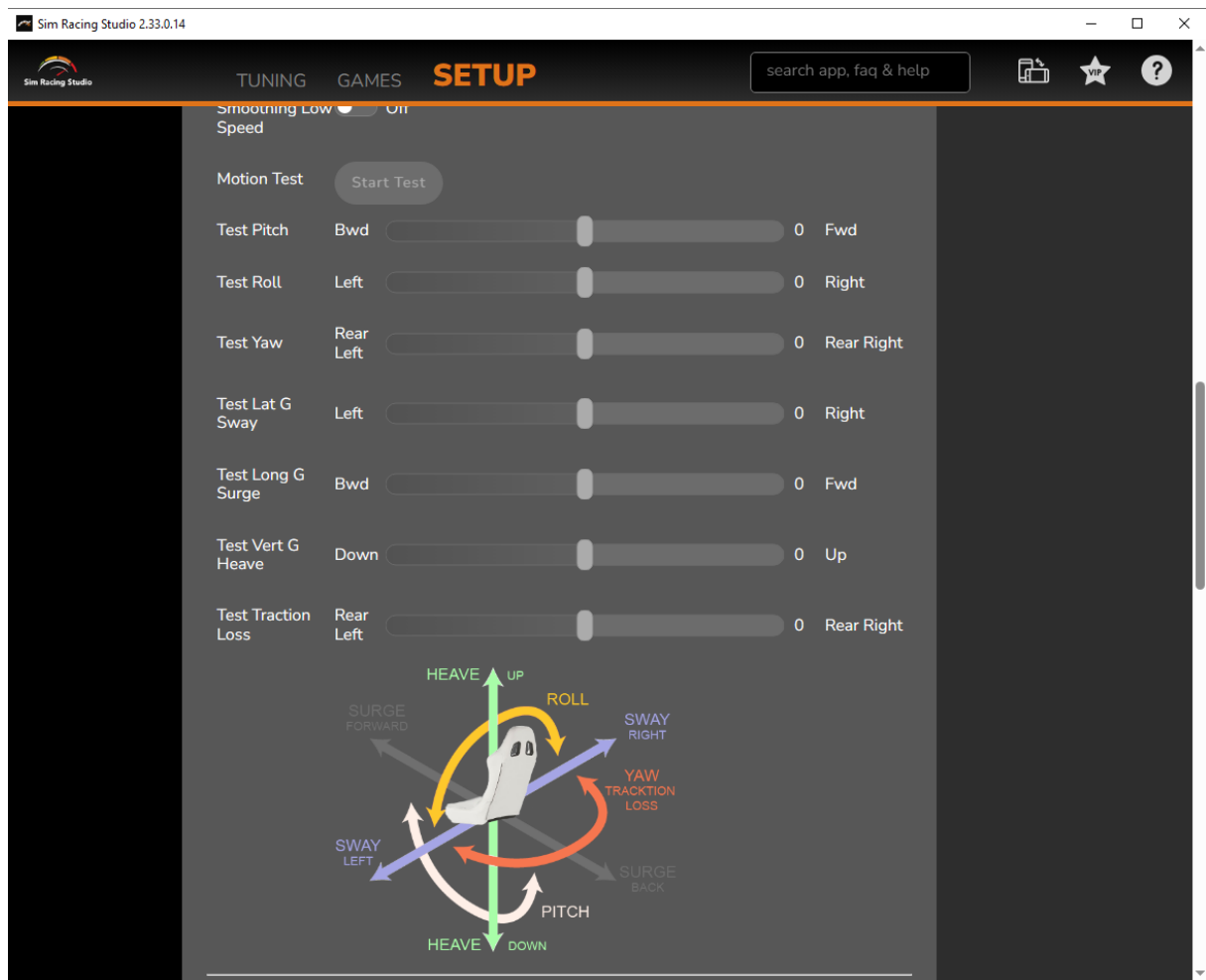


Fig.2 Sim Racing Studio service panel

3 The method of prediction of vibration signal mapping the behavior of the operator's station of a real roadheader for the purpose of controlling the mechanical system of simulation of the operator's seat movement in the {RH-Sim} simulator

The DOF Reality HERO H3 platform allows you to realize rotational motion around three mutually perpendicular axes of the XYZ coordinate system (Fig.3):

- pitch - this is the angle around the X axis,
- roll - is the angle around the Y axis, and
- yaw - angle around the Z axis.

The X axis is the transverse axis of the roadheader, the Y axis is the longitudinal axis of the roadheader, and the Z axis is the axis perpendicular to the floor.

We can set the values of the current rotation angles in our own application using the application programming interface (API) of Sim Racing Studio. For this purpose, an object of the TelemetryPacket class (Fig.4) is created, to which the current values of the rotation angles around three mutually perpendicular axes are transmitted using the parameters: roll, pitch, and yaw.

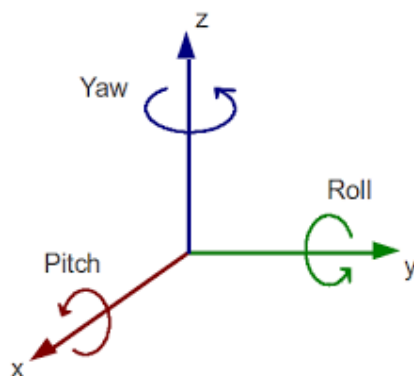


Fig.3 Operator seat swivel angles on DOF Reality HERO H3

```
# definition of the Telemetry Class
class TelemetryPacket(Structure):
    _fields_ = [('api_mode', c_char * 3), # 'api' constant to identify packet
                ('version', c_uint), # version value = 102
                ('game', c_char * 50), # Game name for example Project Cars 2
                ('vehicle_name', c_char * 50), # car, boar or aircraft name
                ('location', c_char * 50), # track name, location, airport, etc
                ('speed', c_float), # float
                ('rpm', c_float), # float
                ('max_rpm', c_float), # float
                ('gear', c_int), # -1 = reverse 0=Neutral 1 to 9=gears
                ('pitch', c_float), # in degrees -180 to +180
                ('roll', c_float), # in degrees -180 to +180
                ('yaw', c_float), # in degrees -180 to +180
                ('lateral_velocity', c_float), # in float between -2 to 2 used for traction loss
                ('lateral_acceleration', c_float), # gforce in float values between 0 to 10
                ('vertical_acceleration', c_float), # gforce in float values between 0 to 10
                ('longitudinal_acceleration', c_float), # gforce in float values between 0 to 10
                ('suspension_travel_front_left', c_float), # in float values -10 to 10
                ('suspension_travel_front_right', c_float), # in float values -10 to 10
                ('suspension_travel_rear_left', c_float), # in float values -10 to 10
                ('suspension_travel_rear_right', c_float), # in float values -10 to 10
                ('wheel_terrain_front_left', c_uint), # 0=all others, 1=rumble strip, 2=asphalt
                ('wheel_terrain_front_right', c_uint), # 0=all others, 1=rumble strip, 2=asphalt
                ('wheel_terrain_rear_left', c_uint), # 0=all others, 1=rumble strip, 2=asphalt
                ('wheel_terrain_rear_right', c_uint), # 0=all others, 1=rumble strip, 2=asphalt
                ]
```

Fig.4 TelemetryPacket class object in Python

The idea behind the control of the DOF Reality HERO H3 platform is to transmit the angular displacement values of the roadheader body to the rhythm of the clock. The waveforms of φ_{KX} (pitch), φ_{KY} (roll), and φ_{KZ} (yaw) angles were obtained from a computer simulation of the body dynamics of the roadheader. In the time courses of the rotation angles of the roadheader body (Fig.5), the components of vibrations with a frequency resulting from the number of helical lines with a small twisting angle, along which the picks are arranged on the cutter heads of the roadheader in question, are more or less revealed. In this case, the number of these helical lines is 6. Hence, the components of vibrations with a frequency six times higher than the circular frequency of the cutter heads are revealed: $\omega_{KS} = 6 \cdot \omega_G = 55.4 \text{ rad.s}^{-1}$ (the angular velocity of the cutter heads is equal to $\omega_G \dot{\varphi}_G = 9.24 \text{ rad.s}^{-1}$).

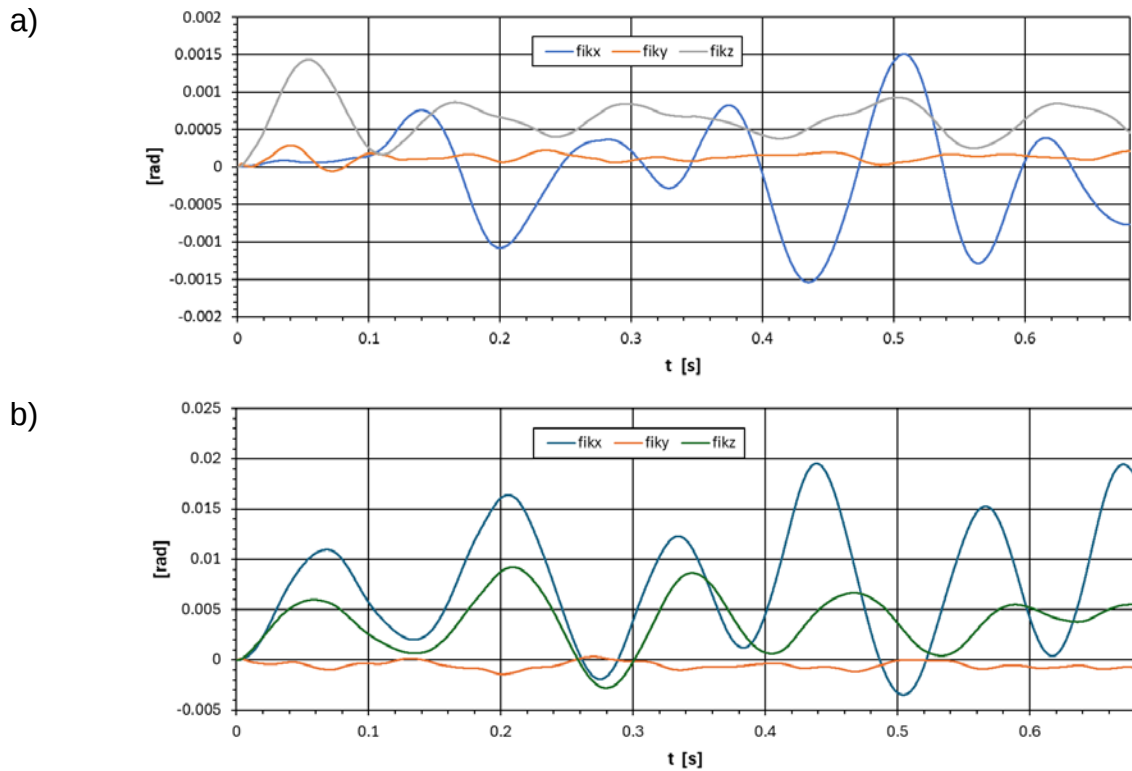


Fig.5 Example time waveforms of angular coordinates for: a) z=50 mm, h=408 mm, v_{ow}=50 mm.s⁻¹, b) z=240 mm, h=75 mm, v_{ow}=250 mm.s⁻¹

The torsional vibrations of the body of the roadheader reproduced in the simulator will be reduced to harmonic vibrations with a frequency ω_{KS} and an amplitude resulting from the effective values of these vibrations predicted by means of the ANN. The mathematical description of the vibration signal reproducing the behaviour of the operator's station of a real roadheader for the purposes of controlling the mechanical system of simulation of the movement of the operator's cabin/seat (robotic platform) in the simulator {RH-Sim} is therefore as follows:

$$\varphi_{KX} = A_X \cdot \sin(\omega_{KS} \cdot t) \quad [\text{rad}] \quad (1)$$

$$\varphi_{KY} = A_Y \cdot \sin(\omega_{KS} \cdot t) \quad [\text{rad}] \quad (2)$$

$$\varphi_{KZ} = A_Z \cdot \sin(\omega_{KS} \cdot t) \quad [\text{rad}] \quad (3)$$

whereby:

$$A_X = \sqrt{2}A_{X\text{RMS}}; A_Y = \sqrt{2}A_{Y\text{RMS}}; A_Z = \sqrt{2}A_{Z\text{RMS}} \quad (4)$$

where:

$A_{X\text{RMS}}$, $A_{Y\text{RMS}}$, $A_{Z\text{RMS}}$ - effective values of torsional vibrations of the roadheader body,

t - time [s],

ω_{KS} - helical frequency (resulting from the arrangement of the picks on the cutter heads along the helical lines with a small twisting angle [rad.s⁻¹].

4 Summary

In the era of striving for full automation and robotization of mining works in mines, there is a need to develop effective and efficient algorithms for automatic control of mining machines. One of the directions of this research and implementation works is the robotization of roadheaders widely used for drilling roadways in underground mines and tunnels. In the case of quarrying machines, one of the key tasks of the automatic control system is to optimize the course of the rock cutting process. This is difficult due to the stochastic changes in the properties of the quarried rocks, which force the values of the mining process parameters to be corrected continuously over time. On the one hand, these adjustments must be made quite quickly, because the time of making one cut with a roadheader usually does not exceed $40 \div 60$ seconds.

The use of simulation applications is a basic tool in research today. In addition to classic programming environments used to build simulation models (e.g., Matlab/Simulink, C++, Delphi), it is possible to use physical simulators for various types of experiments. An example is the test simulator of the roadheader {RH-Sim} described in this paper. It is equipped with a platform that replicates the actual operator station of the roadheader with manuals and indicators, just like in a real machine. The face of the drilled roadway on a virtual stage, and the prediction of the operating parameters and dynamic load of the roadheader, is carried out using predictive models implemented in the simulator software.

Equipping the simulator with an automatic control system for the movement of the cutter heads provides a wide range of diagnostic possibilities. It is possible to study different strategies for automatic control of the roadheader to fulfill the assumed functions of the target. It is also possible to select the parameters of the control system. Experiments conducted on the virtual simulator stage are safe and inexpensive. They do not require adaptation of the actual machine for the needs of automatic control, the construction of experimental stations on a natural scale, or conducting burdensome tests in operating conditions (for example, in the underground of mines or in the construction area of a tunnel). Field tests can therefore be limited to the final verification of the effectiveness of the automatic control system developed in this way.

Equipping the {RH-Sim} roadheader research simulator with a movable platform and a haptic transducer contributes to increasing the realism of the operator's sensation during simulated drilling of the roadway or tunnel on a virtual stage, whether with manual or automatic control.

References:

- [1] Cheluszka P. Prediction of operating parameters and dynamic load of a roadheader in a research simulator using an artificial neural network. *XIII International Conference on MINING TECHNIQUES "TUR 2024". Krynica Zdrój, 17-20 September 2024*
- [2] Cheluszka P., Remiorz E. and J. Rostami. The Use of a Roadheader Simulator in Research of Dynamics and Energy-Consumption of Excavating Underground Roadways and Tunnels. In *Energies* 2022, 15(18), 6673. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15186673>
- [3] Cheluszka P., Gluszek G. and J. Melecký. Augmented reality-based simulator in technical diagnostics of roadheaders and operator training. In *40. Technical Diagnostics of Machines and Manufacturing Equipment DIAGO 2023". Sněžné - Milový, 31.01-1.02.2023*
- [4] Daobin Wang, Yi Chai, Rui Ling and Li Liang. Research on Automatic Boom-type Roadheader Profiling. *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing (China), 2008, 25–27 June*

- [5] Dolipski M., Cheluszka P. and P. Sobota. The relevance of the rotational speed of roadheader cutting heads according to the energy consumption of the cutting process. In *Archives of Mining Sciences* 2013;58;1:3-19
- [6] Jasiulek D. and J. Świder. Mechatronic systems in mining roadheaders - examples of solutions. *PAR* 2013;1:121-127
- [7] Jasiulek D., Stankiewicz K. and K. Świder. An adaptive control system of roadheader with intelligent modelling of mechanical features of mined rock. In *Journal of KONES Powertrain and Transport* 2011; 18(2): 197-203
- [8] Tong Minming, Kang Dongliang and Liu Peng. Research on Automatic Section Cutting Control of Roadheader. *Proceedings of the International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Changsha City (China), 2010, 13-14 March: 22-25*
- [9] Rogala J. Use of artificial intelligence to control roadheader cutter jib movements. In *Mining Machines* 2008;26;3:21-25
- [10] <https://exerion.pl/pl/p/DOF-REALITY-HERO-H3-3-Axis/5715> (Access: 22.12.2025)

BUDOUCNOST EVROPSKÉ LEGISLATIVY A STANDARDIZACE POHONNÝCH HMOT

THE FUTURE OF EUROPEAN LEGISLATION AND STANDARDIZATION OF FUELS

Petr KRÍŽ, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Praha ¹

Marta FILIPOVÁ, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Praha ²

Anotace:

Evropská legislativa přináší hluboké změny v oblasti motorových paliv a pohonů v dopravě. Ačkoliv nelze mít nic proti rozumnému zavádění elektromobility, rozhodně nelze v rámci principů technologické neutrality počítat s tím, že by v příštím desetiletí nebyla důležitá kapalná a plynná motorová paliva, ať už klasická nebo alternativní. Převažující většinu vozového parku tvoří stále konvenční spalovací motory a spíše hybridní vozy využívající elektrickou pohonnou jednotku jako doplněk. Tyto motory budou používat rovněž neustále zdokonalovaná kapalná paliva, jejichž význam bude klesat pouze postupně. Jak rychle to bude, naznačí revize evropské legislativy záměru zakázat vyrábět spalovací motory po roce 2035, ke které by mělo dojít ještě v letošním roce. Podle představitelů automobilek cíle EU pro snižování automobilových emisí oxidu uhličitého, včetně plánu na dosažení nulových emisí u osobních a dodávkových vozů do roku 2035, už nejsou splnitelné a je zapotřebí je přehodnotit. Obrovskou výzvou pro budoucnost dopravy jsou syntetická kapalná paliva. Ta jsou aktuálně jediným řešením pro dekarbonizaci letecké dopravy a mají velmi významný potenciál, který je srovnatelný s použitím elektromobilů nebo vodíkových palivových článků. Zásadním otázkou je budoucnost biopaliv. Nová evropská legislativa a technické normy v oblasti standardizace paliv nastavují rozhodující rámec dalšího vývoje, avšak přináší k dnešnímu dni řadu rozporů a nezodpovězených otázek.

Annotation:

European legislation leads to significant changes in the field of motor fuels and powertrains in transport. Although there is nothing wrong with the rational introduction of electromobility, it is certainly not possible, within the principles of technological neutrality, to assume that liquid and gaseous motor fuels, whether conventional or alternative, will not be important in the next decade. The vast majority of the vehicle fleet still consists of conventional combustion engines and hybrid vehicles that use an electric drive unit as a supplement. These engines will also use continuously improved liquid fuels, whose importance will only decline gradually. How quickly this will happen will be indicated by the revision of European legislation on the intention to ban the production of combustion engines after 2035, which should take place later this year. According to car manufacturers, the EU's targets for reducing carbon dioxide emissions from cars, including the plan to

¹ Ing. Petr Kríž

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Odbor plynárenství a kapalných paliv
Na Františku 32, 110 15 Praha 1

tel.: +420 224 853 339, mobil: +420 601 693 076, e-mail: kriz@mpo.gov.cz

² Ing. Marta Filipová

tel.: +420 224 852 588, e-mail: filipova@mpo.gov.cz, <https://mpo.gov.cz/>

achieve zero emissions from passenger cars and vans by 2035, are no longer achievable and need to be revised. Synthetic liquid fuels are a huge challenge for the future of transport. They are currently the only solution for decarbonizing air transport and have significant potential comparable to that of electric cars or hydrogen fuel cells. The future of bio-fuels is a major question mark. New European legislation and technical standards in the field of fuel standardization set the decisive framework for further development, but they have given rise to a number of contradictions and unanswered questions currently.

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference,
téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

OČEKÁVÁNÉ VS. REÁLNÉ PŘÍNOSY IMPLEMENTACE ONLINE DIAGNOSTIKY STROJŮ: PŘÍPADOVÁ STUDIE

EXPECTED VS. ACTUAL BENEFITS OF IMPLEMENTING ONLINE MACHINE DIAGNOSTICS: A CASE STUDY

Martin KUBÁČ, SKF CZ a.s., Praha ¹

Anotace:

Moderní průmyslové podniky vnímají digitalizaci jako nedílnou součást výrobních procesů. Jak úspěšně se však digitalizace uplatňuje v oblasti údržby strojů, plánování a rozhodování na základě dat? Naplňují se skutečně očekávání spojená se zvyšováním efektivity, produktivity a snižováním nákladů, která digitalizace slibuje? Příspěvek představuje případovou studii implementace online monitorovacího systému, vibrační diagnostiky, na výrobním stroji. Porovnává očekávané přínosy s reálnými výsledky dosaženými v praxi. Diskutuje, do jaké míry je podnik schopen využít potenciál digitalizace v údržbě a jaké bariéry mohou tento proces brzdit. Klíčovým faktorem je připravenost organizace na změnu rozhodovacích procesů, kterou digitalizace nevyhnutelně přináší.

Annotation:

Modern industrial companies perceive digitalization as an integral part of their production processes. But how successfully is digitalization applied in machine maintenance, planning, and data-driven decision-making? Are the expectations of increased efficiency, productivity and cost savings truly being met? This paper presents a case study of implementing an online monitoring system, vibration diagnostics on a production machine. It compares the anticipated benefits with the actual results achieved in practice. Furthermore, it discusses the extent to which a company can leverage the potential of digitalization in maintenance and the barriers that may hinder this process. A key factor is the organization's readiness for changes in decision-making that digitalization inevitably brings.

1 Úvod

Digitální transformace údržby v průmyslových podnicích bývá často prezentována jako cesta k vyšší efektivitě, nižším nákladům a lepšímu rozhodování. Mnoho podniků očekává, že samotná instalace online monitoringu jim přinese okamžitý přehled o stavu strojů, snížení poruchovosti a přesnější plánování údržby. Praxe však ukazuje, že technologie je pouze nástrojem, zatímco skutečná hodnota vzniká až tehdy, když je podnik ochoten s nově získanými informacemi pracovat - měnit procesy, přijímat doporučení a optimalizovat vlastní provoz.

¹ Ing. Martin Kubáč, CTD

SKF CZ a.s.

Dělnická 1628/9, 170 00 Praha 7 - Holešovice

mobil:+420 739 386 395, e-mail: martin.kubac@skf.com, <https://www.skf.com/cz>

Tento článek popisuje případovou studii z linky na výrobu hliníkové fólie, kde byl implementován online monitorovací systém pracovních válců linky a služba vzdálené diagnostiky. Studie ukazuje nejen technické řešení, ale hlavně rozdíl mezi očekáváním, realitou a tím, jak zásadní roli hraje reakce zákazníka na doporučení, která z digitalizace vycházejí.

2 Teoretické východisko: proč bychom dnes měli k diagnostice výrobních strojů přistupovat jinak než před pěti, deseti lety?

Průmyslové prostředí se během posledních let změnilo rychleji, než si mnohé podniky stačily uvědomit. Výrobní stroje dnes pracují ve výrazně širším rozsahu provozních režimů, častěji mění zatížení a jsou vystaveny dynamickým vlivům, které před několika lety nebyly v takové míře běžné. K tomu přistupuje rostoucí komplexnost konstrukce i tlak na optimalizaci procesů v reálném čase, který je v moderním průmyslu téměř všudypřítomný.

Tradiční pochůzková diagnostika má v takovém prostředí stále svoje místo - zejména při řešení specifických problémů nebo validaci závěrů. Její limit je však zřejmý: dokáže zachytit stav stroje pouze v okamžiku měření. Přechodové děje, nepravidelné zátěžové špičky nebo krátkodobé jevy, které se objevují mezi měřeními, zůstávají mimo její dosah. Norma ISO 17359 „Monitorování stavu a diagnostika strojů - Obecné směrnice“ [1] sice uvádí vibrační diagnostiku jako nejcitlivější metodu sledování rotačních strojů, ovšem jen za předpokladu, že je měření prováděno dostatečně často a v relevantních provozních podmínkách. Právě to je v dnešních proměnlivých výrobních režimech stále obtížnější splnit.

Proto se online monitorovací systémy staly klíčovým nástrojem moderní údržby, zejména u strojů s dynamickým chováním. Umožňují nepřetržitě sledovat chování stroje, zachycovat provozní změny v okamžiku jejich vzniku a poskytují kvalitní data i v situacích, kdy se podmínky mění téměř neustále. To, co dříve bylo možné odhalit jen náhodou nebo se zpožděním, se dnes ukazuje prakticky ihned - často ještě před tím, než se porucha začne viditelně projevovat.

Samotný online sběr dat však není cílem. V moderní strategii řízení údržby se stává pouhým základem, na který navazuje interpretace, analýza a rozhodování. Právě zde se uplatňuje vzdálená diagnostika a hybridní přístup, v němž se propojuje síla automatizovaných algoritmů s odbornou zkušeností diagnostiků. Systémy strojového učení dokážou filtrovat obrovské množství dat, identifikovat nestandardní chování stroje, případně v obrovském množství dat najít příznaky prvotního poškození jeho konkrétních částí. Člověk však zůstává klíčovou součástí procesu - zejména v komplexních případech, kde je nutné propojit data s reálným chováním stroje, informacemi od operátorů stroje, případně údržby - celým technologickým kontextem. Právě tato kombinace algoritmů a expertních znalostí se nám v praxi ukazuje jako nejspolehlivější cesta

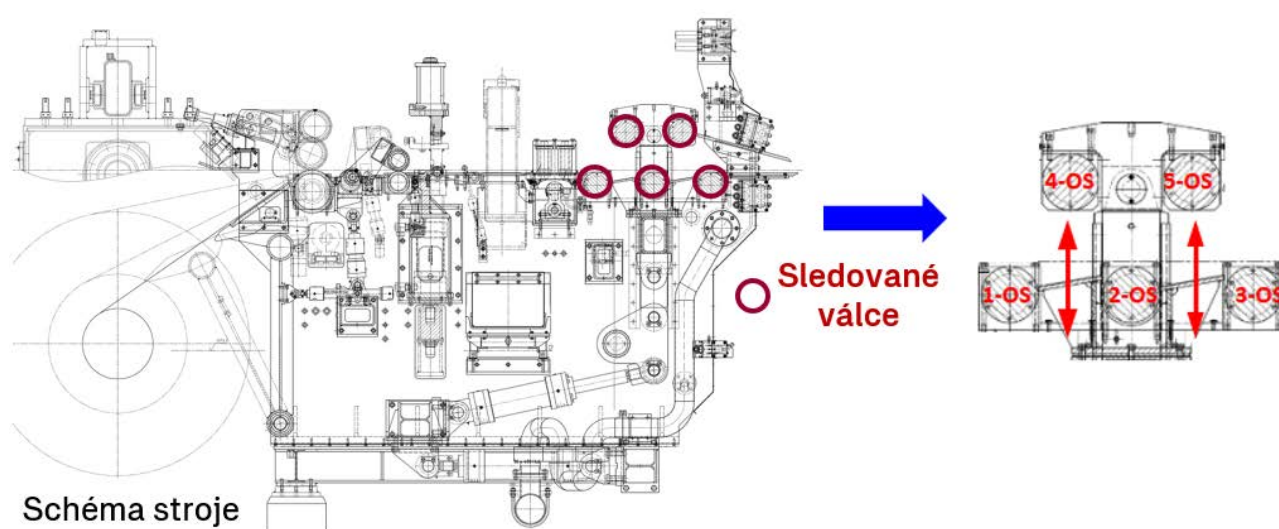
A zde se dostáváme k samé podstatě digitalizace: technologie poskytuje informace, ale jejich hodnota vzniká až ve chvíli, kdy podnik s těmito informacemi skutečně pracuje. Online diagnostika tak není řešení samo o sobě - je to nástroj, který umožňuje podporu rozhodování. To, zda bude podnik podle toho jednat, je už ale věc procesů, kultury a připravenosti lidí využít nové poznatky k optimalizaci údržby i samotné výroby.

3 Zadání zákazníka: očekávání, které má digitalizace naplnit

Provoz linky na výrobu hliníkové fólie byl dlouhodobě zatížen častými výměnami ložisek pracovních válců (obr.1). Preventivní interval byl nastaven na pouhé čtyři měsíce - ne proto, že by ložiska selhávala tak často, ale z obavy před havárií, která by mohla mít vážné následky. Ložiska jsou totiž mazána stejným vysoce hořlavým olejem, jaký se používá při válcování, a jejich poškození může způsobit nejen odstávku, ale i požár.

Zákazník nás oslovil s jasným cílem: Snížit poruchovost, eliminovat havarijní scénáře a prodloužit životnost ložisek, aniž by se zvýšilo riziko provozu. Současně ale požadoval řešení, které nevyžaduje zásadní zásahy do výroby ani sdílení procesních dat, které vnímal jako citlivé.

Na první pohled šlo o běžné zadání. Ve skutečnosti se však jednalo o velmi komplexní úkol - právě kvůli omezením, která zákazník stanovil.



Obr.1 Schéma stroje s vyznačenými pracovními válci, osazenými monitorovacím systémem

4 Návrh řešení: digitální nástroje jako prostředek, ne cíl

Navrhli jsme řešení, které kombinovalo online měření vibrací, vzdálenou diagnostiku a možnost v budoucnu využít i AI nástroje pro automatické filtrování dat a předběžné detekce anomálií. Cílem nebylo „nainstalovat senzory“, ale vytvořit rozhodovací řetězec, ve kterém data přecházejí do interpretací, interpretace do doporučení a doporučení do skutečných údržbových zásahů.

Systém byl navržen tak, aby i bez sdílení procesních dat dokázal zachytit:

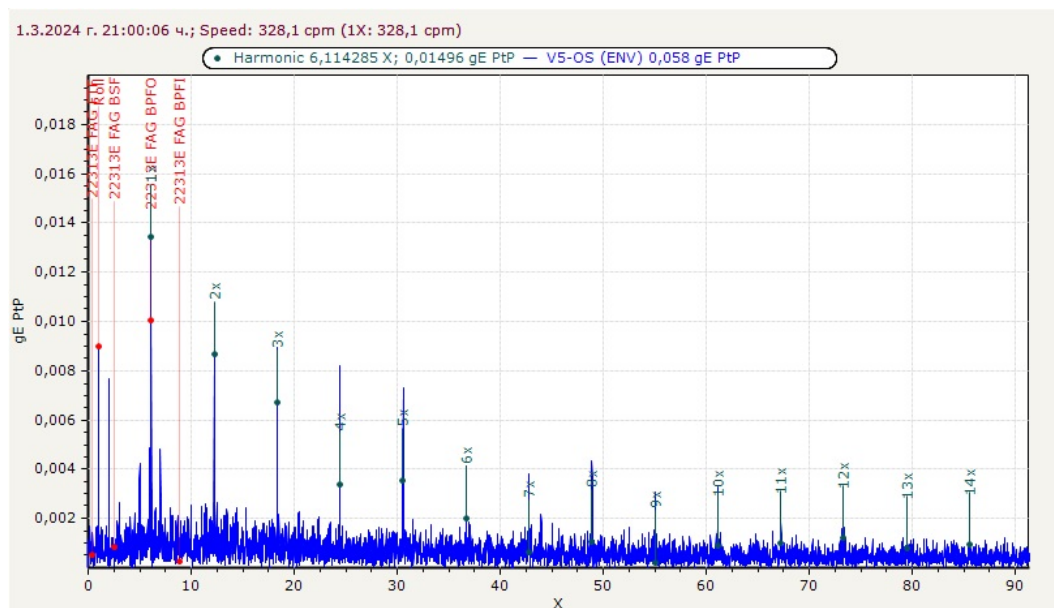
- vznikající poškození ložisek,
- rázové jevy a výkyvy v zatížení,
- teplotní a mazací vlivy.

Postupná integrace pokročilejších nástrojů, měla zvýšit přesnost informací a zrychlit reakce diagnostiků.

Základem však bylo, aby zákazník akceptoval nejen technologii, ale i doporučení, která z ní vycházejí.

5 První období provozu: digitalizace ukazuje svůj potenciál

Krátce po instalaci začala data odhalovat odchylky, které by periodicitu měření nikdy nezachytila. U válce V3 se objevily nejprve sporadické rázy v signálu zrychlení vibrací, rostoucí hodnoty Obálky signálu zrychlení i frekvenční složky odpovídající poškození vnějšího kroužku ložiska (obr.2).



Obr.2 FFT spektrum Obálky signálu zrychlení na ložisku válce V3 s poruchovými frekvencemi ložiska.

Systém tak zachytil poškození v jeho raném stádiu. Predikovat ale životnost tohoto ložiska nebylo jednoduché. Frekvenční spektra s příznaky poškození se objevovaly ale čím dál častěji a změny byly viditelné jak v časovém signálu, tak i ve spektrech. Celkové hodnoty měřených parametrů ale v trendech nerostly. Po určitém vývoji a častějším výskytu příznaků poškození ložiska, zákazník zaplánoval údržbu stroje.

Zásah byl doporučen, a po výměně ložiska se ukázalo, že diagnostika se nemýlila. Ložisko bylo poškozené (obr.3), lokálně přehřáté a dosedací plochy vykazovaly známky stykové koroze a opotřebení. Stejně jako u mnoha jiných podniků se i zde ukázalo, že teoretické nedostatky a odbornost montáže mají zásadní vliv na chování stroje. Neodbornost montáže ložisek výrazně ovlivňuje jejich životnost. A právě tato všechna zjištění, byla prvním momentem, kdy zákazník začal vnímat, že pouze samotný online monitoring není řešením k dosažením cílů.



Obr.3 Snímek rozsahu poškození ložiska na vnějším kroužku - prasklina způsobena při neodborné demontáži ložiska.

6 Reálné přínosy: když doporučení začala být uplatňována

Zlom nastal ve chvíli, kdy se zákazník rozhodl více pracovat s našimi doporučeními. Postupně byla zavedena:

- moderní nástrojové vybavení údržby,
- nové postupy montáže a demontáže ložisek,
- automatizované alarmy a pravidelné reporty,
- multiparametrická analýza signálů,
- hradlování podle provozních stavů,
- a zejména aktivní využívání výstupů vzdálené diagnostiky.

Od tohoto okamžiku se začal naplňovat potenciál digitalizace.

Interval výměny ložisek se prodloužil z původních čtyř měsíců na devět až dvanáct, a provoz získal výrazně vyšší přehled o skutečném stavu stroje. Predikce blížící se poruchy se neustále zpřesňuje, což umožňuje přesněji naplánovat servisní zásahy.

A co je důležité - to vše bez jediného neplánovaného odstavení, nebo dokonce požáru.

7 Prostor pro zlepšení: digitalizace může nabídnout víc, ale jen pokud podnik chce

Navzdory skvělým výsledkům zůstala část potenciálu nevyužita. Zákazník se například rozhodl neinvestovat do úpravy těsnění ložiskových těles ani změny mazacího systému, přestože právě tyto prvky jsou z dlouhodobého hlediska klíčové pro životnost ložisek. Stejně tak pokračují problémy způsobené fluktuací lidí v údržbě - oblast, kterou žádný algoritmus ani diagnostika nemůže sama o sobě vyřešit.

Tento kontrast ukazuje podstatu celého projektu: Digitalizace je nástroj, ale výsledky určují lidé, kteří s nástrojem pracují.

Systém dokáže odhalit příčiny, upozornit na nedostatky a vést údržbu správným směrem. Ale jestli se tato doporučení stanou realitou, je rozhodnutí, které digitalizace za podnik neudělá.

8 Závěr

Případová studie ukazuje, že online diagnostika dokáže přinést výrazné přínosy - delší životnost ložisek, vyšší bezpečnost a efektivnější údržbu. Digitalizace však není cílem sama o sobě. Je to nástroj, který umožňuje vidět doposud skryté procesy. Hodnotu vytváří až správné využití informací, přijetí doporučení a ochota optimalizovat procesy, které s diagnostikou souvisejí - pokud je podnik skutečně ochoten využít informace, které technologie poskytuje.

Tato studie tak potvrzuje, že nejúspěšnější jsou projekty, kde digitalizace, údržba a management fungují jako propojený celek. Ne tam, kde je technologie izolovaný „ostrůvek“, ale tam, kde se stává aktivní součástí rozhodovacího procesu.

A právě zde se ukazuje největší rozdíl mezi očekáváním a reálnými přínosy: Ne rozhodnutí investovat do digitalizace, ale rozhodnutí investovat do změny.

Literatura:

- [1] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN ISO 17359, *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Obecné pokyny*. 2018.

VYUŽITÍ TERMODIAGNOSTIKY PŘI DETEKCI VLHKOSTI V OBVODOVÝCH PLÁŠTÍCH BUDOV V SOULADU S ČSN EN ISO 6781-1

USE OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR MOISTURE DETECTION IN BUILDING ENVELOPES IN COMPLIANCE WITH ČSN EN ISO 6781-1

Petr LNĚNIČKA, Vertical Images s.r.o., Ostrov ¹

Anotace:

Přednáška představuje praktické ukázky detekce vlhkosti a poruch zateplení plochých střech a fasád pomocí infračervené termografie, UAV fotogrammetrie a analýzy dat s využitím AI. Zaměřuje se na metodicky správnou realizaci měření a interpretaci výsledků v souladu s ČSN EN ISO 6781-1, včetně jasného vymezení možností a limitů termodiagnostiky. Cílem je ukázat, jak moderní technologie zvyšují efektivitu a dokumentační kvalitu diagnostiky při zachování normové obhajitelnosti výsledků.

Annotation:

The lecture presents practical examples of moisture detection and insulation defects in flat roofs and façades using infrared thermography, UAV-based photogrammetry, and AI-assisted data analysis. It focuses on the methodologically correct execution of measurements and the interpretation of results in accordance with ČSN EN ISO 6781-1, including a clear definition of the capabilities and limitations of thermographic diagnostics. The aim is to demonstrate how advanced technologies can enhance the efficiency and documentation quality of building diagnostics while maintaining full compliance with standard-based and technically defensible assessment procedures.

(autor si nepřeje zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference, téma je zařazeno do programu konference a bude autorem předneseno)

¹ Petr Lněnička, CTD
Vertical Images s.r.o.
Habrová 1445, 363 01 Ostrov
mobil: +420 +420 777 204 558, e-mail: petr.lnenicka@verticalimages.cz, <https://verticalimages.cz/>

O GRANICACH W POLIOPTYMALIZACJI PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH MASZYN I URZĄDZEŃ

ON THE LIMITS OF POLYOPTIMISATION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS FOR MACHINES AND EQUIPMENT

Zbigniew MATUSZAK, Politechnika Morska w Szczecinie, Polska ¹

Iwona ŻABIŃSKA, Politechnika Śląska w Gliwicach, Polska ²

Streszczenie:

Scharakteryzowano podstawowe rodzaje diagnostyki technicznej. Są one podstawą do wyboru parametrów do diagnozowania maszyn i urządzeń technicznych. Przedstawiono podstawy określania granic w polioptymalizacji dla zdań o znacznej liczbie zmiennych parametrów i dużej liczbie ograniczeń ostrych (równościowych) i nieostrych (nierównościowych). Scharakteryzowano optymalizację ewolucyjną na tle optymalizacji wielokryterialnej. Podkreślono znaczenie dekompozycji obiektu przy stosowaniu optymalizacji ewolucyjnej. Dla optymalizacji wielokryterialnej wskazano na etapowość procesu polioptymalizacji. W pracy ograniczono się do wąskiego zakresu określania granic w procesie polioptymalizacji wskazując na możliwość stosowania współczynników wagowych dla poszczególnych parametrów diagnostycznych.

Annotation:

The fundamental types of technical diagnostics are characterised. These form the basis for selecting parameters for diagnosing technical machines and devices. The fundamentals of setting poly-optimisation limits for sentences involving a significant number of variable parameters and numerous sharp (equality) and fuzzy (inequality) constraints are presented. Evolutionary optimisation is characterised in the context of multi-criteria optimisation. The importance of object decomposition when using evolutionary optimisation is emphasised. The phased nature of the poly-optimisation process is outlined for multi-criteria optimisation. The publication is limited to defining the boundaries of the poly-optimisation process, and it suggests using weighting coefficients for individual diagnostic parameters.

1 Wprowadzenie

Diagnostyka techniczna maszyn to proces analizowania stanu technicznego maszyn i urządzeń, której podstawowym celem jest zapobieganie awariom i przestojom

¹ dr hab. inż. Zbigniew Matuszak, prof. PM
Politechnika Morska w Szczecinie
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska
tel.: +48 505 088 867, e-mail: z.matuszak@pm.szczecin.pl

² dr inż. Iwona Żabińska
Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, Polska
tel. +48 502 741 002, e-mail: iwona.zabinska@polsl.pl

maszyn, Realizowane jest to poprzez wykrywanie, identyfikację i oceny nieprawidłowości oraz przewidywania przyszłych awarii.

Podstawowe rodzaje diagnostyki maszyn to m.in.[7, 8, 9]:

- diagnostyka drganiowa, czyli analiza drgań mechanicznych, które mogą wywołać uszkodzenia węzłów roboczych maszynach i urządzeń, a jej celem jest określenie charakteru, przyczyn, rodzaju oraz intensywności drgań,
- diagnostyka termowizyjna, wykorzystująca kamery termowizyjnej do określania temperatury w istotnych węzłach roboczych urządzeń technicznych, dzięki czemu można określić odstępstwa od wymaganej temperatury,
- diagnostyka olejowa, tj. analiza jakości (parametrów roboczych) oleju w urządzeniach technicznych w celu określenia zanieczyszczeń oleju, zużyć parciernych, obecności wody, itp.,
- diagnostyka procesowa analizująca procesy technologiczne w urządzeniach technicznych maszynach, czyli zaburzenia w procesach przepływu czynników roboczych,
- diagnostyka wizualna, wykorzystująca kamery i inne narzędzia wizualne (np. Endoskopy) do wizualnej oceny stanu maszyn,
- diagnostyka ultradźwiękowa, tj. określenie niedopuszczalnych odstępstw dźwiękowych maszyn w ruchu w celu określenia ich nieprawidłowej pracy w wyniku tarcie, wibracji, nadmiernych luzów, itp.,
- diagnostyka elektryczna, czyli analiza parametrów elektrycznych maszyn i urządzeń w celu wykrycia np. Uszkodzeń izolacji, nadmiernych oporów przepływu prądu, itp.

Wymienione wyżej rodzaje diagnostyki technicznej maszyn nie wyczerpują wszystkich możliwych sposobów diagnozowania, a często występują powiązane ze sobą.

2 Uwagi ogólne o granicach w polioptymalizacji

Problemy (zadania) polioptymalizacji (optymalizacji wielokryterialnej) rozwiązuje się najczęściej w kilku etapach, określając na początkowym etapie zbiór dopuszczalnych kompromisów, a następnie z tego zbioru wybiera się rozwiązanie, które najbardziej odpowiada poszukiwanym parametrom [1, 2, 3]. Najważniejszym problemem na powyższym etapie jest określenie sposobu wyboru rozwiązania oczekiwanego, tj. takiego, które uwzględnia wiele kryteriów, z reguły ze sobą sprzecznych. Można posługiwać się np. hierarchiczną metodą współczynników wagowych, która polega na przypisaniu każdemu cząstkowemu kryterium, a całemu następnie kryterium wag, zależnych od znaczenia cząstkowego kryterium lub kryterium. Pracochłonność i trudność tej metody polega na trudności określania współczynników wagowych, szczególnie dla znacznej liczby różnych kryteriów [5, 6].

Inną metodą poszukiwania rozwiązania preferowanego jest znajdowanie, w bezwymiarowej przestrzeni celów, minimalnej odległości od punktu idealnego rozwiązania dopuszczalnego należącego do założonego zbioru kompromisów. Metoda ta nie wymaga określania współczynników wagowych, natomiast, wymaga określania sposobu sprowadzenia istniejących fizycznych przestrzeni celów do przestrzeni bezwymiarowych.

Poszukiwane przestrzenie celów B są przestrzeniami j -wymiarowymi o wartościach wektorowej funkcji celu $\mathbf{f}^T = (f_1, f_2, \dots, f_j)$ przedstawianej w postaci punktu. Obszar celów Y należy do przestrzeni celów, który odwzorowuje obszar dopuszczalny X z przestrzeni zmiennych decyzyjnych w przestrzeń celów. Z kolei rozwiązaniem tzw. idealnym zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej jest takie rozwiązanie $\mathbf{x}^{id}$, które jest niezależnym ekstremum funkcji. Dla poszukiwanego minimum $\mathbf{f}(\mathbf{x})$, rozwiązanie $\mathbf{x}^{id}$ jest rozwiązaniem idealnym problemu optymalizacji wielokryterialnej dla $\mathbf{x}^{id} \in X$ oraz $\mathbf{f}(\mathbf{x}^{id}) \leq \mathbf{f}(\mathbf{x})$ dla każdego $\mathbf{x} \in X$.

Funkcje celu z reguły są konfliktowe, a więc rozwiązania idealne rzadko istnieją w obszarze rozwiązań dopuszczalnych, a najczęściej znajdują się poza obszarem rozwiązań dopuszczalnych.

W rozwiązywaniu zagadnień polioptymalizacji, można posługiwać się optymalizacją ewolucyjną [4]. W pewnym stopniu podobna jest ona do wcześniej opisanej, polegającej na uwzględnianiu wielu kryteriów optymalizacji.

Optymalizacja ewolucyjna polega na tym, że główne zadanie optymalizacji zastępuje się jest zbiorem prostszych kolejno formułowanych zadań. Podstawą jest to, że w formule zadania następnego wykorzystywane są wyniki uzyskane w rozwiązaniach zadań poprzednich. Oczywiście formułuje się jak w każdym zadaniu optymalizacji funkcje celu, zmienne decyzyjne, warunki ograniczające, a także zależności między zmiennymi decyzyjnymi, a funkcjami celu. Zastosowanie optymalizacji ewolucyjnej można traktować bardzo rozlegle. Kryteriami mogą być zmienne decyzyjne, funkcje celu, obszary dopuszczalne, metody analizy, dekompozycje zadań i modeli. Również mogą być dodawane lub eliminowane powyższe kryteria.

Pewnego rodzaju odmianą metody dekompozycji jest optymalizacja parametryczna. Zadania globalne polioptymalizacji w tej metodzie dzielone są na poszczególne poziomy. Na poziomie podstawowym funkcja celu jest minimalizowana względem części zmiennych decyzyjnych, a pozostałe zmienne mają ustalone wartości. Wynik optymalizacji na tym poziomie zależny jest od zmiennych, które traktowane są jako parametry. Zadanie poziomu górnego polega na znalezieniu optymalnych wartości zmiennych (parametrów) oraz zapewnienie dopasowania do siebie wzajemnie wszystkich zadań częściowych.

3 Podsumowanie

W zagadnieniach granic wielokryterialnych optymalizacji (polioptymalizacji) parametrów diagnostycznych maszyn i urządzeń ze względu na złożoność ich budowy występuje znaczna liczba zmiennych decyzyjnych. W celu znalezienia rozwiązań można stosować dekompozycję, analizując mniejsze zadania, by następnie je łączyć, uzyskując rozwiązania postawionego polioptymalizacyjnego zadania ogólnego. Dla optymalizacji złożonych obiektów technicznych szczególnie przydatna jest dekompozycja obiektu polioptymalizacji, gdyż opis zadań cząstkowych, a co za tym idzie, granic dopuszczalnych parametrów jest możliwy niewielką liczbą zmiennych decyzyjnych wynikających ze struktury i zasady działania urządzeń technicznych.

Literatura:

- [1] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A. Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1972

- [2] Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989
- [3] Hwang C.L., Masud A.S.M. Multiple Objective Decision Making - Methods and Applications - A State-of-art-survey. Lecture notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin 1979
- [4] Paczkowski W.M. Wybrane problemy dyskretnej optymalizacji ewolucyjnej, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 544, Szczecin 1999
- [5] Ostanin A., Optymalizacja liniowa i nieliniowa, Wydaw. Politechniki Białostockiej, Białystok 2005
- [6] Osyczka A. Evolutionary algorithms for single and multicriteria design optimization, Studies in Fuzziness and Soft Computing, no. 79, 2002, Heidelberg, Physica-Verlag, 218 p., ISBN 3-7908-1418-0
- [7] Stachurski A., Wierzbicki A.P. Podstawy optymalizacji. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999
- [8] Tarnowski W. Optymalizacja i polioptymalizacja w mechatronice. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2009
- [9] Tarnowski W. Równoczesna optymalizacja lub polioptymalizacja maszyny i procesu. Problemy Eksploatacji, 2010/2, s. 17-34

DIAGNOSTIKA MEZIZÁVITOVÝCH PROBLÉMŮ VYSOKONAPĚŤOVÝCH MOTORŮ

DIAGNOSIS OF INTERTURN PROBLEMS IN HIGH-VOLTAGE MOTORS

Petr NAHODIL, Ing. Petr Nahodil - ELVITED, Lomnice ¹

Anotace:

Mezizávitové poruchy představují jednu z nejčastějších a zároveň nejobtížněji odhalitelných závad statorového vinutí vysokonapěťových elektrických motorů. V počátečních stádiích se projevují pouze minimálními změnami elektrických parametrů, avšak jejich rychlá progresse může vést k lokálnímu přehřátí izolace, vzniku částečných výbojů, degradaci vinutí a následné havárii stroje. Tento příspěvek se zaměřuje na moderní metody detekce a vyhodnocení mezizávitových problémů statických zkoušek.

V rámci studie jsou porovnány výsledky rázové zkoušky (Surge test), měření EAR (Error Area Ratio), zkoušek částečných výbojů dle EN/IEC 60034-27 a analýzy proudových signatur během provozu stroje. Součástí je také prezentace typických diagnostických příznaků - rozdíly tvaru rázových vln mezi fázemi, zvýšená impulsní výbojová aktivita jedné fáze, změna symetrie EAR line-to-line. Příspěvek ukazuje, že kombinace více metod významně zvyšuje spolehlivost detekce, umožňuje přesněji určit závažnost poruchy a poskytuje jasnou rozhodovací podporu při hodnocení provozuschopnosti motoru.

Výsledkem je návrh doporučené diagnostické postupnosti pro praxi údržby vysokonapěťových motorů, včetně kategorizace výsledků a identifikace limitních hodnot indikujících počáteční fázi mezizávitových problémů. Studie potvrzuje, že včasná diagnostika výrazně snižuje riziko havarijního odstavení zařízení a přispívá k prodloužení životního cyklu motorů v energetice a průmyslu.

Annotation:

Interturn faults are among the most common and difficult-to-detect failures in the stator windings of high-voltage motors. In their early stages, they manifest as minimal changes in electrical parameters; however, their rapid progression can lead to local insulation overheating, partial discharges, winding degradation, and eventual machine failure.

This paper focuses on modern methods for detecting and evaluating interturn faults using static tests. It compares the results of surge testing, Error Area Ratio (EAR) measurements, partial discharge measurements in accordance with EN/IEC 60034-27, and current signature analysis during motor operation. The paper also presents typical diagnostic indicators, such as differences in surge waveform shapes between phases, increased impulse discharge activity in a single phase, and asymmetry in line-to-line EAR values.

¹ Ing. Petr Nahodil, Ph.D., CTD

Ing. Petr Nahodil - ELVITED

Tišnovská 6, 679 23 Lomnice

tel.: +420 737 275 354, e-mail: elvited@seznam.cz, <https://elvited.webnode.cz/>

The results demonstrate that combining multiple diagnostic methods significantly improves detection reliability, enables more accurate assessment of fault severity, and provides clear decision support for evaluating motor operability. Based on these findings, the paper proposes a recommended diagnostic sequence for high-voltage motor maintenance, including result categorization and identification of threshold values indicating the initial stage of interturn faults. The study confirms that early diagnosis substantially reduces the risk of unplanned shutdowns and contributes to extending the service life of motors in the energy and industrial sectors.

(autor si nepřeje zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference,
téma je zařazeno do programu konference a bude autorem předneseno)

SYSTEM ZDALNEGO STEROWANIA I TELEMETRII DLA USV PRZEZNACZONEJ DO ZASTOSOWAŃ PATROLOWYCH, BADAWCZYCH I DIAGNOSTYCZNYCH

REMOTE CONTROL AND TELEMETRY SYSTEM FOR USV FOR PATROL, RESEARCH AND DIAGNOSTIC PURPOSES

SYSTÉM DÁLKOVÉHO ŘÍZENÍ A TELEMETRIE PRO USV URČENÉ PRO HLÍDKOVÉ, VÝZKUMNÉ A DIAGNOSTICKÉ APLIKACE

Paweł PRAJZENDANC, Politechnika Morska w Szczecinie, Polska ¹

Igor STANKIEWICZ, Politechnika Morska w Szczecinie, Polska ²

Gracjan SZABLOWSKI, Politechnika Morska w Szczecinie, Polska ³

Kacper OLSZANSKI, Politechnika Morska w Szczecinie, Polska ⁴

Streszczenie:

Bezzałogowe jednostki nawodne (USV) odgrywają coraz większą rolę w misjach patrolowych i diagnostycznych. W referacie przedstawiono system komunikacji i telemetrii dla USV na akwenach śródlądowych, zapewniający stabilny przesył danych technicznych i środowiskowych poprzez połączenia lokalne oraz GSM, co umożliwia zdalne sterowanie i nadzór pracy jednostki. Platforma zbudowana na Raspberry Pi, Pixhawk i ArduRover umożliwia jednoczesną diagnostykę pokładową i kontrolę w czasie rzeczywistym. Podkreślono ciągłe monitorowanie kluczowych podzespołów, w tym układów napędowych i zasilania wodorowego, oraz przedstawiono autorskie rozwiązania zwiększające niezawodność transmisji danych diagnostycznych.

Annotation:

Unmanned Surface Vehicles (USVs) play an increasingly important role in patrol and diagnostic missions. This paper presents a communication and telemetry system for an inland-water USV that ensures stable transmission of technical and environmental data through both local links and GSM connectivity, enabling remote control and continuous supervision of the vessel's operation. The platform, built on Raspberry Pi, Pixhawk, and ArduRover, supports simultaneous onboard diagnostics and real-time control. Emphasis is placed on continuous monitoring of key subsystems, including propulsion and the

¹ dr inż. Paweł Prajzendanc

Politechnika Morska w Szczecinie

ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska

tel.: +48 663 566 944, e-mail: p.prajzendanc@pm.szczecin.pl, <https://pm.szczecin.pl/pl/>

² Igor Stankiewicz

e-mail: 30949@s.pm.szczecin.pl

³ Gracjan Szablowski

e-mail: 31138@s.pm.szczecin.pl

⁴ Kacper Olszański

e-mail: 31124@s.pm.szczecin.pl

hydrogen fuel-cell power supply, alongside original solutions that enhance the reliability of diagnostic data transmission.

Anotace:

Bezpilotní hladinové jednotky (USV) hrají stále významnější roli v hlídkových a diagnostických misích. V referátu je představen komunikační a telemetrický systém pro USV určenou k provozu na vnitrozemských vodách, který zajišťuje stabilní přenos technických a environmentálních dat prostřednictvím lokálních spojení a sítě GSM, což umožňuje dálkové řízení a dohled nad provozem jednotky. Platforma založená na Raspberry Pi, Pixhawk a ArduRover umožňuje současnou palubní diagnostiku a řízení v reálném čase. Je zdůrazněno průběžné monitorování klíčových subsystémů, včetně pohonných jednotek a vodíkového napájecího systému, a také jsou představeny autorské úpravy zvyšující spolehlivost přenosu diagnostických dat.

1 Układ napędowy i zasilanie wodorowe

Rosnące zapotrzebowanie na długotrwałe misje wymusza poszukiwanie alternatywnych źródeł zasilania, wykraczających poza standardowy układ z akumulatorami Li-Po [1]. Jednostka wyposażona jest w hybrydowy układ zasilania. Głównym źródłem energii jest ogniwo paliwowe z membraną wymiany protonów (PEMFC) [2], zasilane wodorem sprężonym w butli kompozytowej.

Zastosowanie ogniwa wodorowego jako głównego generatora energii oferuje istotną przewagę operacyjną nad klasycznymi układami akumulatorowymi: umożliwia przywrócenie gotowości jednostki poprzez wymianę butli z gazem, eliminując proces ładowania akumulatorów z sieci energetycznej lub agregatu [3, 4]. Dodatkowo jednostka może dzięki temu efektywnie operować w warunkach o ograniczonym nasłonecznieniu, w przeciwieństwie do paneli słonecznych.

Architektura zasilania została zrealizowana w topologii hybrydowej typu "Range Extender" [5]. Ogniwo PEMFC pracuje w stabilnym punkcie pracy, ładując zestaw buforowych akumulatorów Li-Po (napięcie nominalne 14,8 V, 4S) nadzorowanych przez system BMS (*Battery Management System*). Akumulatory pełnią funkcję bufora energetycznego, pokrywając szczytowe zapotrzebowanie na prąd (peak shaving) występujące podczas gwałtownych manewrów silników, których dynamika przekracza bezwładność chemiczną ogniwa paliwowego [6].

Dystrybucja napięć logicznych dla awioniki i systemu komunikacji realizowana jest poprzez wysokosprawne przetwornice DC-DC typu Step-Down (Buck), obniżające napięcie szyny głównej 14,8 V do poziomu 5 V wymaganego przez komputer Raspberry Pi i peryferia.

2 Architektura systemu telemetrii i sterowania

Opisany system charakteryzuje się budową modułową i rozproszoną, podzieloną logicznie na trzy główne segmenty: segment mobilny (jednostka USV), warstwę transmisyjną oraz segment naziemny (stacja GCS). Taka dekompozycja umożliwia niezależny rozwój poszczególnych podsystemów, skalowalność rozwiązania oraz ułatwia diagnostykę i serwisowanie.

Fundamentem działania jednostki jest architektura dwupoziomowa (*bi-level architecture*).

- Poziom Czasu Rzeczywistego (*Low-Level Control*): Realizowany przez kontroler lotu, odpowiada za krytyczne zadania stabilizacji, nawigacji inercyjnej oraz bezpośrednie wysterowanie układów wykonawczych (ESC, serwomechanizmy) z minimalnym opóźnieniem [7].
- Poziom Przetwarzania i Komunikacji (*High-Level Processing*): Realizowany przez komputer jednopłytkowy (OBC), który pełni funkcję nadrzędnego zarządcy systemu. Odpowiada on za agregację danych z sensorów, obsługę stosu komunikacyjnego (TCP/IP), kompresję wideo oraz interfejsowanie z peryferiami USB takimi jak kamery i sterownik ogniwa wodorowego.

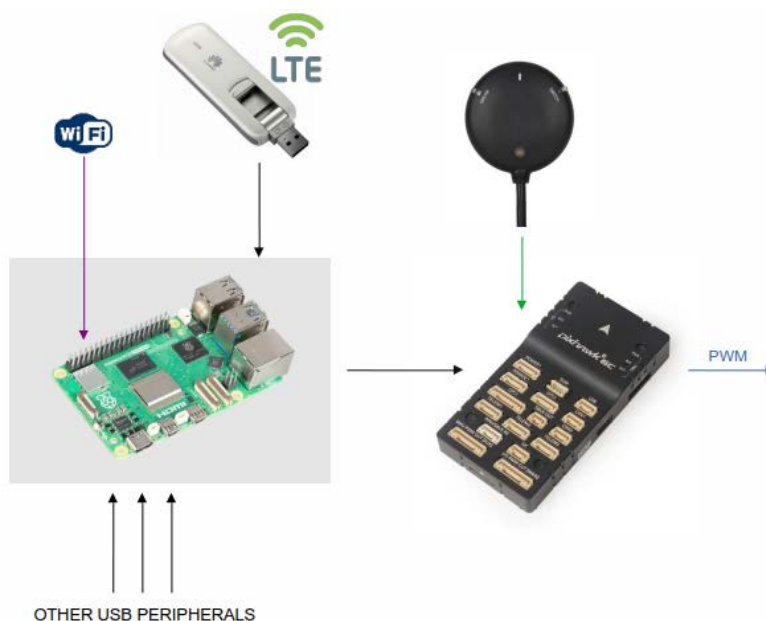
Kluczowym założeniem projektowym była pełna cyfryzacja i integracja wszystkich podsystemów. W przeciwieństwie do rozwiązań modelarskich, system nie polega na niezależnych torach radiowych dla wideo i sterowania, lecz unifikuje wszystkie strumienie danych (MAVLink, wideo, telemetria wodorowa, diagnostyka BMS) w jeden kanał cyfrowy, zarządzany dynamicznie w zależności od dostępnego łącza (Wi-Fi lub LTE) [8].

3 Platforma sprzętowa (Hardware Setup)

Centralną jednostką obliczeniową jest komputer jednopłytkowy Raspberry Pi 5, który pełni funkcję komputera pokładowego (*Onboard Computer* - OBC) [7, 9]. Odpowiada on za agregację danych z czujników, kompresję strumienia wideo oraz obsługę logiki przełączania kanałów komunikacyjnych.

Jako sterownik nawigacji wykorzystano kontroler Pixhawk 4, pracujący pod kontrolą oprogramowania *open-source* ArduRover. Wybór ten podyktowany był wysoką niezawodnością środowiska ArduPilot oraz wsparciem dla protokołu MAVLink, który stanowi standard w komunikacji bezzałogowych jednostek zdalnie sterowanych [10-12]. Sterowanie układem napędowym realizowane jest poprzez generowanie sygnałów PWM przez kontroler Pixhawk. Sygnały te sterują elektronicznymi regulatorami prędkości (ESC), które bezpośrednio zarządzają mocą dostarczaną do dwóch silników elektrycznych. Taka konfiguracja umożliwia realizację sterowania różnicowego (*skid-steering*), pozwalając na precyzyjne manewrowanie jednostką w miejscu, co jest kluczowe w ciasnych kanałach portowych.

Komunikacja ze światem zewnętrznym w kanale globalnym obsługiwana jest przez modem LTE USB. Urządzenie to, pracujące w standardzie LTE Cat4, zapewnia teoretyczną przepustowość do 50 Mbps ruchu wychodzącego, co jest wartością wystarczającą dla przesyłu sterowania, podstawowej telemetrii i skompresowanego wideo [13]. W celu poprawy budżetu łącza radiowego, standardowe rozwiązania antenowe zostały zastąpione dedykowanymi układami o podwyższonym zysku. Interfejs Wi-Fi komputera Raspberry Pi został zmodyfikowany poprzez wyprowadzenie złącza U.FL/SMA, do którego podłączono antenę dookólną o zysku 6 dBi. Równolegle, modem LTE zintegrowano z zewnętrzną anteną o zysku 12 dBi, co ma na celu kompensację tłumienia sygnału w strefach o słabym pokryciu sieci komórkowej (tzw. *cell-edge*) [14].



Rys.1 Przedstawienie urządzeń systemu sterowania

4 Łączność bezprzewodowa

Niezawodność łącza danych jest krytycznym parametrem determinującym bezpieczeństwo operacyjne jednostek USV. Aby zminimalizować ryzyko utraty kontroli, w projektowanym rozwiązaniu zaimplementowano hybrydową architekturę komunikacyjną, łączącą zalety transmisji szerokopasmowej bliskiego zasięgu oraz sieci komórkowej o zasięgu globalnym [15]. Zaimplementowany model dwutorowej łączności definiuje dwa odmienne scenariusze eksploatacyjne.

4.1 Łącze lokalne (WiFi 2,4 GHz)

Ten kanał jest domyślnym medium transmisyjnym w warunkach widoczności optycznej (LOS). Ze względu na wysoką przepustowość, umożliwia przesyłanie nieskompresowanych strumieni wideo HD, mapowania sonarowego w czasie rzeczywistym oraz surowych danych z czujników (np. LiDAR) [16]. Umożliwia operowanie na akwenach oddalonych od infrastruktury telekomunikacyjnej, gdzie pokrycie sygnałem GSM jest szczątkowe lub nie istnieje. Odbicia fali od tafli wody mogą powodować destruktywną interferencję, drastycznie obniżając zasięg skuteczny [17, 18].

4.2 Łącze globalne (LTE/4G)

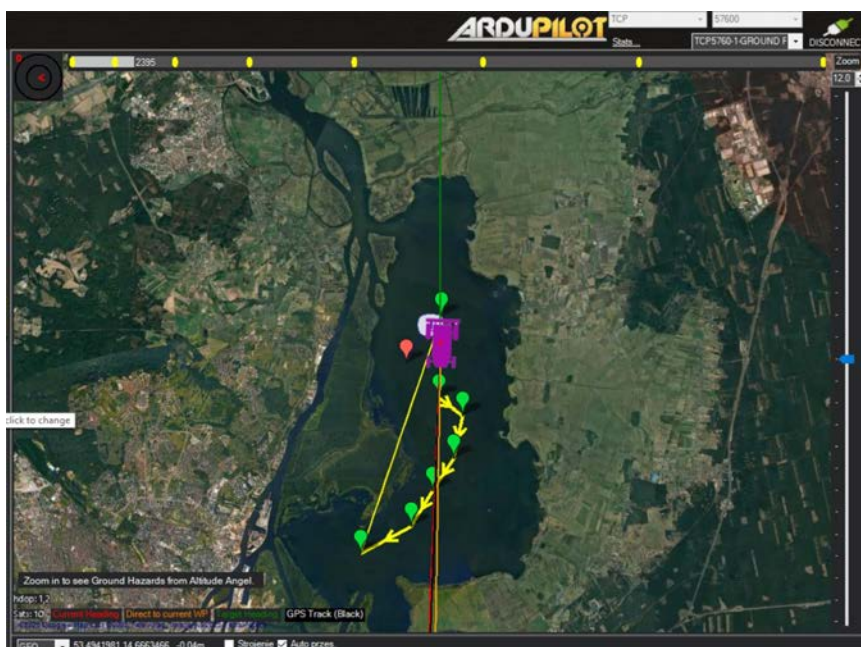
Standardowa infrastruktura operatorów komórkowych wykorzystuje mechanizmy CG-NAT (Carrier-Grade NAT), co uniemożliwia bezpośrednie adresowanie urządzenia USV. Aby rozwiązać ten problem, zastosowano odpowiednio zabezpieczoną architekturę pośredniczącą [19]. Jednostka USV oraz stacja GCS zestawiają szyfrowane tunele do serwera pośredniczącego umieszczonego w chmurze obliczeniowej. Eliminacja czynników środowiskowych (deszcz, niskie temperatury) redukuje zmęczenie operatora, co przekłada się na precyzję sterowania podczas długotrwałych misji [20].

4.3 Quality of Service (QoS)

W warstwie oprogramowania odpowiedzialnej za monitorowanie łączności dalekosiężnej LTE wykorzystano usługę ModemManager. System w sposób nieblokujący pobiera parametry RSRP oraz RSRQ. Równolegle, dla komunikacji lokalnej (Wi-Fi), system monitoruje parametr RSSI. Wszystkie zgromadzone dane telemetryczne są przekazywane do autorskiego algorytmu adaptacyjnego, który dynamicznie zarządza parametrami kodowania wideo, dostosowując przepływność do łącza.

5 Funkcjonalność GCS (Ground Control Station)

Głównym centrum nadzoru nad jednostką USV jest stacja kontroli naziemnej oparta na aplikacji desktopowej ArduPilot Mission Planner. Kluczową funkcją GCS jest wizualizacja parametrów nawigacyjnych w czasie rzeczywistym. Dzięki integracji standardowego odbierania strumienia wideo przez UDP (WiFi) jak i przez serwer RTSP (Proxy-server - MediaMTX), interfejs GCS umożliwia podgląd strumienia wideo o niskim opóźnieniu.



Rys.2 Zrzuty ekranu z symulacji w ArduPilot Mission Planner

Zmodyfikowano system, aby pozwalał na monitorowanie parametrów ogniwa wodorowego Horizon H-500, takich jak temperatura stosu oraz generowane napięcie i natężenie prądu. Dane te są wstrzykiwane do strumienia MAVLink jako niestandardowe komunikaty NAMED_VALUE_FLOAT, co umożliwia ich archiwizację w logach telemetrycznych.

6 Wnioski

Całość systemu tworzy spójne środowisko diagnostyczno-kontrolne. Możliwość szybkiej wymiany butli z wodorem przywraca gotowość operacyjną USV w czasie krótszym niż proces ładowania ogniwa Li-Po. Integracja łączy lokalnego Wi-Fi z globalną

siecią LTE/4G zapewnia ciągłość dowodzenia, a algorytm QoS dynamicznie dostosowujący parametry wideo pozwala na priorytetyzację kluczowej transmisji.

Podziękowanie:

Projekt finansowany ze środków budżetu państwa Rzeczypospolitej Polskiej, przyznanych przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach Programu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje”.

Literatura:

- [1] Marino, C., Nucara A. and M. Panzera. Design and Construction of a UAV for High Atmosphere Flight Powered by Hydrogen Fuel Cell. In *International Journal of Heat and Technology*, 2023, DOI: 10.18280/ijht.410129
- [2] HORIZON FUEL CELL TECHNOLOGIES. H-200 Fuel Cell Stack User Manual, 2013
- [3] BALLARD UNMANNED SYSTEMS. Remote Hydrogen Refueling for Unmanned Aerial Vehicles. In *Informational White Paper*. July 2019
- [4] Tak, Y. C. et al. Drone endurance in hydrogen fuel cell hybrid technologies: Power architectures and design strategies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2026, vol. 22, DOI: 10.1016/j.rser.2025.116161
- [5] Parten, M. and T. Maxwell. Development of a PEM fuel cell vehicle. In *IEEE 54th Vehicular Technology Conference VTC Fall 2001*, DOI: 10.1109/VTC.2001.957140
- [6] Fathabadi, H. Fuel cell hybrid electric vehicle (FCHEV): Novel fuel cell/SC hybrid power generation system. In *Energy Conversion and Management*, 2018, DOI: 10.1016/j.enconman.2017.11.001
- [7] Sotelo-Torres, F., Alvarez L. V. and R. C. Roberts. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. In *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 9, DOI: 10.3390/s23094420
- [8] Zulkifley, M. A. et al. Mobile Network Performance and Technical Feasibility of LTE-Powered Unmanned Aerial Vehicle. In *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 8, DOI: 10.3390/s21082848
- [9] Ahmed, F. and M. Jenihhin. A Survey on UAV Computing Platforms: A Hardware Reliability Perspective. In *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 16, DOI: 10.3390/s22166286
- [10] Allouch, A., Cheikhrouhou, O. and M. Khalgui. MAVSec: Securing the MAVLink Protocol for Ardupilot/PX4 Unmanned Aerial Systems. In *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2019. DOI: 10.1109/IWCMC.2019.8766667
- [11] Barth, V., JONES, V. and L. MCCUE. Gaze Controlled Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) to Improve Accessibility in Maritime Robotics. In *OCEANS 2023 - Limerick*, DOI: 10.1109/OCEANSLimerick52467.2023.10244706
- [12] Chalkiadaki, A. et al. A survey for UAV open-source telemetry protocols. In *PCI '21: Proceedings of the 25th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 2021, DOI: 10.1145/3503823.3503887
- [13] Kafetzis, D. et al. Video Quality Monitoring for Remote Autonomous Vehicle Control. In *arXiv*, 2025, DOI: 10.48550/arXiv.2506.03166 arXiv:2506.03166v1.
- [14] Kasurinen, T. LTE Mobile Network Technical Feasibility for Unmanned Aerial Vehicle BVLOS operations in a Rural Test Area. In *SESAR Innovation Days*, Seville, 2023.
- [15] Khosravi, Z. et al. Designing High-Speed Directional Communication Capabilities for Unmanned Surface Vehicles. In *2019 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, 2019, DOI: 10.1109/ISWCS.2019.8877304

- [16] Stateczny, A., Gierlowski, K. and M. Hoeft. Wireless Local Area Network Technologies as Communication Solutions for Unmanned Surface Vehicles. In *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 2, DOI: 10.3390/s22020655
- [17] Aman, W. et al. Underwater and Air-Water Wireless Communication: State-of-the-art, Channel Characteristics, Security, and Open Problems. In *arXiv*. 2022, DOI: 10.48550/arXiv.2203.02667
- [18] Gaitán, M. G. et al. Improving WiFi communication with surface nodes at near-shore on tidal waters. In *31st Seminar of the Mobile Communications Thematic Network (RTCM 2022)*, 2022
- [19] Sundaravarathan, V. et al. Cross-Domain Solutions (CDS): A Comprehensive Survey. In *IEEE Access*, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3483659
- [20] Duffy, J. F., Zitting, K. M. and C. A. Czeisler. The Case for Addressing Operator Fatigue. In *Reviews of Human Factors and Ergonomics Society*, 2015, vol. 10, no. 1, DOI: 10.1177/1557234X15573949

MONITOROWANIE OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH W ŁAŃCUCHACH POCIĄGOWYCH MASZYN GÓRNICZYCH

MONITORING OF DYNAMIC LOADS IN THE HAULAGE CHAINS OF LONGWALL MACHINES

Eryk REMIORZ, Silesian University of Technology, Poland ¹

Streszczenie:

W systemie ścianowym eksploatacji złóż węgla kamiennego stosowane są maszyny wyposażone w pociągowe układy łańcuchowe. Są to maszyny urabiające caliznę takie jak strugi węglowe i kombajny ścianowe z łańcuchowym mechanizmem ciągnięcia oraz maszyny transportujące urobek węglowy, czyli przenośniki zgrzeblowe. Długość łańcucha stosowanego w tych maszynach jest wielokrotnością długości wyrobiska, w którym pracują. Są to łańcuchy ogniowe o bardzo dużych wymiarach i masie jednostkowej dochodzącej do kilkudziesięciu kilogramów na metr. Bardzo ważnym czynnikiem służącym do prawidłowego doboru do warunków pracy a następnie bezawaryjnej eksploatacji łańcuchów pociągowych jest znajomość przenoszonych przez nie obciążeń dynamicznych.

Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych rozwiązań stosowanych w monitorowaniu obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych maszyn górniczych. W pracy zostaną omówione różne typy układów wykorzystywanych do pomiarów obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych. Porównane zostaną ich zalety, ograniczenia oraz efektywność w kontekście rzeczywistych warunków pracy w wyrobiskach górniczych. Artykuł wskaże także kierunki dalszego rozwoju systemów pomiarowych, umożliwiające lepszą diagnostykę stanu technicznego łańcuchów i poprawę bezpieczeństwa eksploatacji.

Annotation:

In longwall coal mining systems, machines equipped with chain haulage systems are employed. These include coal-cutting machines, such as coal plows and shearers with chain haulage mechanisms, and coal-handling equipment, namely armored face conveyors (AFCs). The length of the chains used in these machines is a multiple of the longwall face length in which they operate. These are high-strength link chains characterized by very large dimensions and a unit mass reaching several tens of kilograms per meter. A critical factor for the proper selection of traction chains for specific operational conditions, and subsequently for their failure-free service life, is the knowledge of the dynamic loads transmitted through these chains.

The aim of the paper is to present current solutions used for monitoring dynamic loads in haulage chains of mining machinery. The study will discuss various types of measurement systems employed for recording dynamic loading in haulage chains. Their

¹ dr hab. inż. Eryk Remiorz, prof. PS
Silesian University of Technology
Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Poland
tel.: +48 32 237-14-44, e-mail: eryk.remiorz@polsl.pl

advantages, limitations, and performance will be compared in the context of real operating conditions in underground mine workings. The paper will also indicate directions for further development of measurement systems, enabling more accurate diagnostics of chain technical condition and enhancing the safety and reliability of mining operations.

1 Wprowadzenie

Współczesne systemy ścianowe eksploatacji węgla kamiennego, szczególnie te dedykowane dla pokładów niskich i średnich, opierają się na wysokowydajnych maszynach wyposażonych w pociągowe układy łańcuchowe. Łańcuchy ogniowe pełnią w nich podwójną rolę: stanowią organ pociągowy maszyn urabiających, takich jak strugi węglowe [1, 2] czy kombajn ścianowy kompleksu Mikrus [3, 4], oraz są elementem roboczym przenośników zgrzeblowych [5, 6]. Ze względu na znaczną długość wyrobisk ścianowych, która obecnie coraz częściej przekracza 300 metrów, stosowane łańcuchy charakteryzują się dużymi wymiarami, a ich masa jednostkowa dochodzi do kilkudziesięciu kilogramów na metr [7, 8].

Eksploatacja tych maszyn odbywa się w wyjątkowo trudnych i niekorzystnych warunkach, obejmujących zmienne obciążenie pochodzące od procesów roboczych, przegięcie trasy łańcucha pociągowego w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do spągu, wysoką wilgotność, zapylenie oraz korozyjne oddziaływanie wód kopalnianych. W łańcuchach pociągowych podczas pracy występują obciążenia dynamiczne o bardzo dużych wartościach. Wynikają one między innymi z nierównomiernego załadowania trasy przenośnika urobkiem węglowym, efektu działania wieloboku na skutek współdziałania łańcucha z kołem napędowym oraz nieprzewidywalnych zdarzeń losowych, takich jak zablokowanie ogni. W przypadku maszyn urabiających duży wpływ na obciążenie łańcuchów pociągowych mają zmienne opory urabiania. Badania wykazują, że łańcuchy pociągowe w maszynach ścianowych stanowią nieliniowy układ lepko-sprężysty [9 - 13], w którym oprócz odkształceń sprężystych występują również zjawiska prowadzące do zmęczeniowego pęknięcia ogni [14 - 17].

Nagłe awarie i zerwania łańcuchów są główną przyczyną kosztownych przestojów w wydobywaniu, a ich usuwanie w ograniczonej przestrzeni wyrobiska ścianowego wiąże się z dużym ryzykiem dla górników. Tradycyjne metody diagnostyczne, oparte na okresowych pomiarach manualnych czy monitorowaniu prądu silników, okazują się niewystarczające do identyfikacji stanów chwilowych i dynamicznych przeciążeń. W dobie czwartej rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0) kluczowym wyzwaniem staje się stworzenie „inteligentnego łańcucha”, zintegrowanego ze zminiaturyzowanymi systemami czujników.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnych technologii monitorowania obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych maszyn górniczych, takich jak systemy tensometryczne czy piezoelektryczne. W pracy przeanalizowano efektywność różnych układów pomiarowych w kontekście ich zdolności do pracy w trudnym środowisku kopalnianym oraz ich przydatność w prognozowaniu trwałości i poprawie bezpieczeństwa eksploatacji łańcuchów pociągowych stosowanych w maszynach górniczych ścianowych.

2 Mechanizmy powstawania obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych maszyn ścianowych

Analiza obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych jest kluczowa z punktu widzenia diagnostyki maszyn ścianowych. Łańcuchy ogniowe stosowane w układach pociągowych rozpatrywanych maszyn stanowią nieliniowy układ lepko-sprężysty o wielu

stopniach swobody. Podlegają one skomplikowanym interakcjom z napędami, urobkiem i trasą przenośnika ścianowego lub maszyną urabiającą i prowadnicami rurowymi (strug węglowy i kombajn ścianowy) w mechanizmach posuwu. Obciążenia dynamiczne w takich systemach mają charakter niejednorodny. Wynikają one z nałożenia się procesów o charakterze deterministycznym (wynikających z geometrii i kinematyki napędu) oraz stochastycznym (zależnych od warunków obciążenia przenośnika urobkiem, warunków obciążenia maszyny urabiającej procesami urabiania oraz zdarzeń awaryjnych).

Rozruch maszyny

Jednym z najbardziej krytycznych etapów podczas pracy łańcuchowego układu pociągowego jest rozruch maszyny a w szczególności tak zwany „ciężki rozruch”. Problem ten występuje przede wszystkim w wysokowydajnych przenośnikach zgrzeblowych zainstalowanych w wyrobiskach ścianowych. Podczas uruchamiania tych maszyn pod obciążeniem, gdy gałąź górna jest zasypana na znacznej długości urobkiem węglowym o dużym natężeniu, w łańcuchu dochodzi do gwałtownego wzrostu sił w celu pokonania oporów ruchu i bezwładności przemieszczanych mas. Badania symulacyjne przedstawione w pracy [18] wykazują, że maksymalne obciążenie w łańcuchu podczas rozruchu może osiągnąć wartość 751,6 kN, co stanowi wzrost o 12,25% w stosunku do obciążenia podczas pracy ustalonej (669,6 kN). Wartości te wystąpiły w przenośniku zgrzeblowym o długości 250 m z silnikami napędowymi o mocy 2x700 kW. Duże wartości szczytowe oraz amplitudy obciążeń dynamicznych powodują znaczący wzrost ryzyka wystąpienia uszkodzeń zmęczeniowych materiału ogniw łańcucha. W skrajnych przypadkach może to nawet doprowadzić do nagłego zerwania się ogniw łańcucha i awaryjnego zatrzymania maszyny oraz wydobycia w wyrobisku ścianowym. Wiąże się to zawsze z ogromnymi stratami ekonomicznymi oraz generuje zagrożenie dla obsługi. Aby zminimalizować możliwość uszkodzenia łańcucha w czasie rozruchu przenośnika stosowane są strategie „miękkiego startu” [19].

Zjawiska działania wieloboku i ruchliwości ogniw

Siła uciągu wywołana napędem przekazywana jest łańcuchowi pociągowemu za pomocą kół łańcuchowych, które w literaturze naukowej są również nazywane kołami gniazdowymi. Konstrukcja kół gniazdowych wymusza cykliczne zmiany prędkości łańcucha w zależności od chwilowego położenia koła gniazdowego. Okresem tych zmian jest okres zazębienia łańcuchowego. Zjawisko to jest znane jako efekt działania wieloboku (efekt poligonowy) [20]. W czasie pracy układu pociągowego maszyny górniczej na kole gniazdowym występuje również zjawisko ruchliwości ogniw. Polega ono na zmianie położenia punktu styku sąsiednich, współpracujących ze sobą ogniw w czasie obrotu bębna. Obydwa zjawiska powinny być uwzględniane podczas wyznaczania funkcji promieni nabiegania łańcucha na koło gniazdowe i funkcji zbiegania łańcucha z tego koła [20].

W literaturze przedmiotu występują rozbieżne stanowiska dotyczące wpływu efektu poligonowego kół gniazdowych na generowanie obciążeń dynamicznych w pociągowym układzie łańcuchowym. Wolfe i Flöte w swoich badaniach [10] stwierdzili, że zjawisko to nie ma istotnego wpływu na powstawanie drgań w przenośnikach zgrzeblowych, argumentując, iż częstotliwość poligonowa nie pokrywa się z częstotliwością drgań własnych lub ich wielokrotnością. Według nich główną przyczyną rezonansu są drgania samowzbudne wynikające z tarcia zależnego od prędkości, które prowadzą do powstawania fali stojącej w łańcuchu.

Zupełnie inny obraz wyłania się z nowszych prac badawczych, w których efekt poligonowy jest traktowany jako źródło wymuszeń kinematycznych. Badacze tacy jak Li, Jiang i Wang wskazują, że geometria koła gniazdowego wymusza cykliczne fluktuacje prędkości i przyspieszenia łańcucha w punktach zazębienia [18]. Pomiary w warunkach rzeczywistych wykazały, że zmienność prędkości wynikająca z tego efektu może sięgać od 4,45% do nawet 11,14% [21]. Co istotne, monitorowanie sił w łańcuchu pozwoliło zarejestrować nagłe skoki ich wartości (rzędu 341,89 kN) podczas przechodzenia ogniów przez bębny napędowe [18, 22]. Te powtarzalne obciążenia uderowe wpływają bezpośrednio na przyspieszenie procesów zmęzeniowych materiału ogniów łańcuchów.

Można więc podsumować, że zjawisko działania wieloboku nie jest bezpośrednią przyczyną rezonansu fali stojącej w długich przenośnikach (co wykazali Wolfe i Flöte), to pozostaje on jednak fundamentalnym źródłem lokalnych fluktuacji obciążenia w łańcuchu i uderów mechanicznych wynikających z geometrii zazębienia (Li, Jiang i Wang).

Interakcja z maszyną urabiającą i zmienność obciążenia urobkiem

Obciążenie łańcucha pociągowego w przenośnikach zgrzeblowych w warunkach eksploatacyjnych wyrobiska ścianowego rzadko jest równomierne. W miarę przemieszczania się kombajnu lub struga wzdłuż ściany, masa urobku na poszczególnych odcinkach trasy przenośnika stale się zmienia [18]. Kierunek ruchu maszyny urabiającej również ma znaczenie. W przypadku przemieszczania maszyny w stronę napędu głównego długość strugi urobku maleje a przy jej ruchu w stronę napędu pomocniczego długość załadowania rośnie.

W czasie pracy przenośnika zgrzeblowego występuje często asymetria w obciążeniu łańcucha zgrzeblowego (Bias load) [23, 24]. Ze względu na pofałdowanie spągu i związaną z tym nieliniowość trasy przenośnika, kierunek urabiania oraz tarcie urobku o boczny profil rynny, jedno pasmo łańcucha (zwykle od strony ociosu) jest często obciążone znacznie silniej niż drugie. Pomiary in-situ w kopalniach wykazały, że różnica napięć między nitką odociosową a odzawałową może wynosić nawet 150 kN [23]. Taka dysproporcja prowadzi do przyspieszonego zużycia jednego z pasm i ryzyka jego przedwczesnego zerwania.

W maszynach urabiających o ruchu nawrotnym (strugi węglowe, system Mikrus) obciążenie łańcuchowego mechanizmu posuwu zależy od obciążenia maszyny procesem roboczym oraz od położenia maszyny w ścianie i parametrów jej ruchu. Istotnym mechanizmem generowania obciążeń w układzie posuwu jest hamowanie i zmiana zwrotu ruchu maszyny. Jest to szczególnie istotne w przypadku strugów węglowych, których prędkość przemieszczenia głowicy jest znacznie większa od prędkości kombajnu. Generowane są obciążenia, które w pomiarach in-situ osiągały wartości 728,6 kN na napędzie głównym oraz 686,2 kN na pomocniczym [25]. Co istotne, te ekstremalne skoki napięcia nie są w pełni odzwierciedlone w danych o poborze mocy silników dostępnych dla operatora, co czyni je szczególnie niebezpiecznymi dla trwałości ogniów łańcucha pociągowego.

Awarie i inne zdarzenia losowe

Najbardziej niebezpieczne zjawiska występujące w łańcuchach pociągowych wynikają z nagłych zakłóceń pracy maszyny na skutek wystąpienia zdarzeń awaryjnych, takich jak:

- zablokowanie łańcucha (Chain jam). Mechanizm ten aktywuje się w chwili zakleszczenia zgrzebła lub ogniwa o przeszkodę, co powoduje spadek prędkości do zera w czasie rzędu 0,05 s [21]. Powstający impuls siły jest ogromny - badania wykazują, że siła kontaktu między ogniwami wzrasta w takiej sytuacji aż 7,2-krotnie w porównaniu do normalnej pracy. Takie gwałtowne skoki napięcia są główną przyczyną nagłych zerwań łańcuchów, których nie są w stanie wyeliminować standardowe sprzęgła bezpieczeństwa,
- upadek dużych brył urobku na łańcuch zgrzeblowy może powodować dodatkowe obciążenia uderowe układu łańcuchowego [18],
- zerwanie łańcucha na rzykład na skutek zmęczeniowego pęknięcia ogniwa [14, 16, 17],
- kolizje konstrukcyjne: Powtarzające się uderzenia zgrzebeł o nierówności rynnościagu i przerwy między rynnami powodują vibracje o amplitudzie stabilizującej się w zakresie $\pm 1 \text{ m.s}^{-2}$, które sumują się z obciążeniem zmęczeniowym [18].

3 Technologie pomiaru obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociągowych

Monitorowanie sił w łańcuchach pociągowych maszyn ścianowych wymaga zastosowania technologii zdolnych do pracy w warunkach ekstremalnego zapylenia, wilgoci oraz silnych wibracji, a także w warunkach zagrożenia wybuchem metanu i pyłu węglowego [25, 26]. Ponadto elementy pomiarowe są w ciągłym ruchu, gdyż ogniwa pomiarowe są wpięte w łańcuch pociągowy i przemieszczają się wraz z nim. Kolejny problem stanowi współpraca ogniwa pomiarowego z kołem napędowym, co wpływa na konieczność jego miniaturyzacji. W przypadku przeznaczenia układu do współpracy z łańcuchem zgrzeblowym ogniwo pomiarowe jest często przysypane urobkiem w gałęzi górnej, gdzie jest również narażone na obciążenia uderowe pochodzące z opadających brył urobku, natomiast w gałęzi dolnej dostęp do układu jest utrudniony. W przypadku maszyn urabiających (strug węglowy czy kombajn w kompleksie ścianowym Mikrus) łańcuch pociągowy jest umieszczony w prowadnicach rurowych, których średnica jest dostosowana do wielkości łańcucha. Oznacza to ograniczoną przestrzeń do zabudowy ogniwa pomiarowego. W czasie pracy brak jest dostępu do ogniwa pomiarowego, które osłonięte jest stalowymi elementami układu prowadzącego. Utrudnia to możliwość połączenia bezprzewodowego z elementami układu pomiarowego. Bardzo dużym wyzwaniem dla konstruktorów rozpatrywanych układów pomiarowych jest ich zasilanie, które na obecnym etapie rozwoju nie pozwala na ich przemysłowe zastosowanie. Wymiana baterii, szczególnie w atmosferze wybuchowej, stanowi kolejne bardzo poważne wyzwanie.

Autonomiczne ogniwa pomiarowe

Rozwiązanie to opiera się na integracji całego układu pomiarowego - od czujnika po rejestrator wraz z zasilaniem - wewnątrz pojedynczego ogniwa łańcucha pociągowego. Każdy moduł pomiarowy składa się z pełnego mostka tensometrycznego, wzmacniacza sygnału, przetwornika analogowo-cyfrowego najczęściej 16- lub 24-bitowego (ADC), mikrokontrolera oraz pamięci masowej (karty SD lub microSD). Całość zasilana jest najczęściej baterii wysokowydajnych, co pozwala na nieprzerwaną pracę od kilkunastu godzin do nawet kilkunastu dni w zależności od jakości zaimplementowanych trybów pracy energooszczędnych.

Aby chronić delikatną elektronikę przed ekstremalnymi warunkami (uderzenia brył urobku, woda, zapylenie), układy te są montowane w specjalnie przystosowanych obudowach umieszczonych wewnątrz ogniów poziomych tak, aby nie zakłócać współpracy z bębniem łańcuchowym. Istnieją rozwiązania, w których zminiaturyzowane układy elektroniczne umieszczone są wewnątrz wsporników odcinków walcowych ogniów. Dla układów dedykowanych do przenośników ścianowych część elementów układu pomiarowego może być umieszczona wewnątrz specjalnie wykonanych komór w zgrzeblach. Elektronika pomiarowa jest zwykle zabezpieczana hermetycznie za pomocą żywicy epoksydowej lub silikonu, co zapewnia odporność na wilgoć i udary mechaniczne.

Ogniwa pomiarowe są wpinane bezpośrednio w kontur łańcucha i przemieszczają się wraz z nim wzdłuż trasy przenośnika lub maszyny urabiającej. Pozwala to na jednocześnie monitorowanie sił w gałęzi górnej (roboczej) i dolnej (powrotnej) w wielu miejscach konturu łańcuchowego. W maszynach urabiających można rejestrować obciążenia przed i za maszyną. Pozwala to na skuteczną analizę rozkładu obciążeń dynamicznych w łańcuchu pociągowym wzdłuż konturu.

Szczegółowe informacje dotyczące budowy i działania, zdjęcia oraz schematy tego typu układów pomiarowych zawarto w pracach [10, 18, 22, 25 - 28] oraz w opisach patentowych i/lub wzorach użytkowych [29 - 31].

Czujniki zintegrowane ze zgrzeblami

W nowoczesnych systemach monitorowania stanu łańcuchów pociągowych, zgrzebło często pełni rolę centralnej jednostki pomiarowej i komunikacyjnej, integrując w swojej strukturze zaawansowaną elektronikę diagnostyczną [22, 24]. Ze względu na duże wymiary gabarytowe, w porównaniu do pojedynczego ogniwa łańcucha, zgrzebła pozwalają na łatwiejszą instalację wymaganych elementów układu pomiarowego i zapewniają doskonałą ich ochronę przed uszkodzeniem. Aby pomieścić komponenty, korpus zgrzebła poddawany jest obróbce mechanicznej, polegającej na wykonaniu specjalnych otworów, nisz oraz kanałów kablowych. Przykładowo, w specjalnie wyfrezowanych otworach montuje się moduły bezprzewodowej transmisji sygnału oraz piezoelektryczne harvestery energii [22, 32].

Czujniki tensometryczne mogą być instalowane na dwa sposoby: bezpośrednio w zgrzeblach, aby mierzyć siły w tzw. punktach słabego sprzężenia (weak coupling points) między zgrzebłem a łańcuchem [33], lub na ogniwach łańcucha współpracujących bezpośrednio ze zgrzebłem, z którymi elektronika zgrzebła łączy się przewodowo poprzez zabezpieczone rowki [22].

System autonomicznego ogniwa pomiarowego i-MaSS (RWTH Aachen)

System i-MaSS (Integrated Machine Sensor System) [27] służy do monitorowania stanu obciążenia łańcucha pociągowego w czasie rzeczywistym i składa się z ogniów pomiarowych oraz stacji bazowej. Dane są przesyłane bezprzewodowo za pomocą standardu ZigBee (2,4 GHz) do stacji bazowej, gdy ogniwo znajdzie się w jej zasięgu (np. w rejonie napędu).

Jako ogniwo pomiarowe wykorzystywane jest ogniwo z poprzeczką, w której wykonano osiowy otwór o średnicy ok. 30 mm. Wewnątrz otworu, w miejscach najwyższej koncentracji naprężeń (wyznaczonych metodą MES), naklejane są tensometry foliowe (DMS) w układzie pełnego mostka Wheatstone'a. Całość układu (elektronika, bateria, czujniki) jest zalewana warstwowym kompozytem żywic epoksydowych. Układ jest

zasilany wewnętrzną baterią litową, co przy zastosowaniu energooszczędnych mikrokontrolerów pozwala na pracę od 3 do 6 miesięcy w trybie ciągłej akwizycji. W celu oszczędności energii układ nie przesyła surowych danych tylko przetworzone wyniki dotyczące stanu łańcucha.

Rozproszony Autonomiczny System Pomiarowy (RASP)

System RASP stanowi zaawansowaną, modułową platformę diagnostyczną przeznaczoną do kompleksowego badania dynamiki maszyn ścianowych wyposażonych w łańcuchowe układy posuwu, takich jak przenośniki zgrzebłowe, kompleksy strugowe czy systemy typu Mikrus [12, 26]. Jego unikalność polega na pełnej autonomii poszczególnych jednostek pomiarowych, które nie wymagają stałego połączenia kablowego ani bezprzewodowego w trakcie pracy maszyny.

System opiera się na zestawie specjalistycznych modułów, które mogą być dowolnie konfigurowane przez użytkownika w zależności od potrzeb badawczych:

- **Moduły PF:** Są to ogniwa pomiarowe wpinane bezpośrednio w kontur łańcucha pociągowego. Służą do pomiaru obciążeń dynamicznych, drgań oraz orientacji przestrzennej ogniw pomiarowych. Ich konstrukcja pozwala na swobodną współpracę z kołami gniazdowymi oraz ruch w zamkniętych prowadnicach rynien.
- **Moduły PM i PE:** Przeznaczone są do pomiaru momentów obrotowych w układach napędowych oraz prędkości kątowej kół gniazdowych w napędach maszyny ścianowej.
- **Moduły PD i AS:** Moduł PD rejestruje drgania i orientację kadłuba maszyny urabiającej, natomiast analizator AS monitoruje parametry sieci elektrycznej zasilającej silniki.

Każdy moduł systemu jest jednostką niezależną od pozostałych elementów systemu. Wyposażony jest we własny zestaw czujników, rejestrator z zapisem na kartach SD/microSD oraz zasilanie bateryjne zapewniające długi czas pracy. Fundamentalnym aspektem systemu RASP jest precyzyjna synchronizacja czasowa wszystkich rozproszonych jednostek. Odbywa się ona przed zabudową modułów w maszynie poprzez połączenie ich magistralą CAN i wykorzystanie bardzo dokładnych zegarów czasu rzeczywistego. Dzięki temu możliwe jest późniejsze skorelowanie danych o siłach w łańcuchu z parametrami pracy napędów i drganiami maszyny.

Konfiguracja systemu oraz zarządzanie procesem synchronizacji realizowane są bezprzewodowo za pomocą dedykowanego interfejsu użytkownika dostępnego przez Wi-Fi na urządzeniach mobilnych, takich jak smartfony lub laptopy. Pozwala to na szybką aktywację systemu w warunkach kopalnianych oraz zdalną kontrolę poprawności działania modułów z bezpiecznej odległości.

RASP jest natomiast kompleksową architekturą systemową, która integruje różne typy pomiarów (siły, momenty, drgania, parametry elektryczne) w jeden spójny system diagnostyczny wpisujący się w koncepcję Przemysłu 4.0.

Integracja czujników w elementach pociągowych łańcucha (Krętliki)

W warunkach kopalni węgla kamiennego Bogdanka przetestowano system wykorzystujący cylindryczne czujniki tensometryczne montowane wewnątrz krętlika łańcuchowego zamocowanego w otoczeniu głowicy strugowej [25]. Rozwiązanie to może

być również zastosowane w łańcuchowym układzie ciągnięcia kombajnu węglowego GUŁ-500 w kompleksie ścianowym Mikrus.

W rozwiązaniu tym sensor o średnicy 2 mm został zainstalowany w specjalnie wydrążonym kanale w krętliku łańcuchowym, co zapewnia mu doskonałą ochronę mechaniczną. Mocowanie przy głowicy strugowej rozwiązuje (usuwa) też problem współpracy z kołem gniazdowym. Rozwiązanie to nie zmienia struktury geometrycznej układu pociągowego i charakteryzuje się wysoką rezerwą wytrzymałościową. Pozwoliło to na rejestrację ekstremalnych obciążeń dynamicznych rzędu 728,6 kN podczas nawrotów maszyny.

Przegląd technologii uzupełniających monitorowanie obciążeń w łańcuchu

W literaturze przedmiotu oraz w dokumentacji patentowej, obok systemów autonomicznych i zintegrowanych, występują alternatywne podejścia do wyznaczania sił w łańcuchach, wykorzystujące zarówno metody pośrednie, jak i innowacyjne techniki skanowania:

- *Algorytm estymacji rozkładu napięcia (TDEA)* [34]: Rozwiązanie oparte na matematycznym modelu liniowego obserwatora stanu. Pozwala na wyznaczanie sił we wszystkich punktach styku łańcucha na podstawie danych z ograniczonej liczby fizycznych czujników, co rozwiązuje problem wysokich kosztów oprzyrządowania pomiarowego.
- *Płyty pomiarowe w prowadnicach (Load-sensing pads)* [35]: System wykorzystujący czujniki obciążenia zabudowane w elementach ślizgowych lub prowadnicach (tzw. wear strips). Mierzą one składową pionową siłę obciążenia w chwili, gdy zgrzebło lub ogniwo łańcucha przejeżdża bezpośrednio nad sensorem.
- *Czujniki piezoelektryczne w kołach gniazdowych* [36]: Technologia polegająca na montażu czujników nacisku bezpośrednio w zębach kół łańcuchowych. System mierzy nacisk wywierany przez ogniwa łańcucha na koło i umożliwia bezprzewodową transmisję danych bezpośrednio z bębna napędowego i oszacowanie na tej podstawie obciążenia w łańcuchu.
- *Monitoring bezkontaktowy falami terahercowymi* [37]: Innowacyjna metoda skanowania przemieszczającego się łańcucha za pomocą wiązek fal terahercowych. System umożliwia nieniszczącą ocenę napięcia i deformacji ogniw bez konieczności montowania jakichkolwiek urządzeń na elementach ruchomych przenośnika.
- *Ogniwa z prętem naprężającym (V-lock)* [38]: Jest to specjalna konstrukcja ogniw złącznych typu V-lock, w których umieszczono czujnik siły (rezystor). Rozwiązanie to cechuje duża odporność mechaniczna i niezawodność działania sensorów pracujących wewnątrz ogniwa.
- *Indukcyjny pomiar zwisu łańcucha* [39]: Metoda pośrednia określania napięcia łańcucha wykorzystująca stacjonarne czujniki zbliżeniowe. Napięcie łańcucha jest szacowane na podstawie geometrycznego pomiaru stopnia jego ugięcia (zwisu) względem czujników umieszczonych w regionie stacji napędowej.
- *Technologia piezoelektrycznego odzyskiwania energii (energy harvesting)* [22, 32]: System wykorzystuje drgania mechaniczne zgrzebeł i łańcucha podczas pracy przenośnika. Układ piezoelektryczny przetwarza energię wibracji na energię elektryczną. Stabilność zasilania zapewniają baterie buforowe, które zasilają tensometry oraz moduł bezprzewodowej transmisji sygnału.

- *Systemy uśpienia oparte na czujnikach Halla* [40]: Rozwiązanie optymalizujące zużycie energii poprzez wykorzystanie czujników magnetycznych do wybudzania modułów pomiarowych. Akwizycja i transmisja danych następują tylko wtedy, gdy ogniwo pomiarowe znajdzie się w bezpośrednim zasięgu stacjonarnego węzła odbiorczego. Rozwiązanie to znacząco wydłuża żywotność baterii układu pomiarowego.

4 Podsumowanie

Łańcuchowe układy pociągowe maszyn ścianowych należą do najbardziej obciążonych i jednocześnie najbardziej krytycznych elementów współczesnych systemów wydobywczych. Przedstawiona w artykule analiza jednoznacznie wskazuje, że obciążenia dynamiczne występujące w łańcuchach ogniowych mają charakter silnie nieliniowy, zmienny w czasie oraz często osiągają wartości znacznie przekraczające obciążenia nominalne wynikające z pracy ustalonej. Ich źródłem są zarówno deterministyczne mechanizmy kinematyczne, takie jak efekt działania wieloboku czy ruchliwość ogniów na kołach gniazdowych, jak i czynniki losowe związane z procesem urabiania, nierównomiernym załadunkiem przenośników, nawrotami maszyn oraz zdarzeniami awaryjnymi, w tym zakleszczeniami i nagłymi zablokowaniem łańcucha.

Wykazano, że tradycyjne metody pośredniej diagnostyki, oparte głównie na analizie parametrów elektrycznych napędów, nie zapewniają wystarczającej informacji o chwilowych przeciążeniach i lokalnych udarach sił, które w największym stopniu determinują procesy zmęzeniowe i ryzyko nagłych awarii. Z tego względu kluczowe znaczenie ma bezpośredni pomiar obciążeń dynamicznych w samym konturze łańcucha pociągowego.

Przegląd zaprezentowanych technologii pomiarowych pokazuje wyraźną ewolucję w kierunku autonomicznych, zminiaturyzowanych i rozproszonych systemów pomiarowych, zintegrowanych bezpośrednio z ogniwami łańcucha, zgrzeblami lub innymi elementami pociagowymi. Rozwiązania te, bazujące głównie na technikach tensometrycznych i piezoelektrycznych, umożliwiają rejestrację rzeczywistych obciążeń dynamicznych w warunkach eksploatacyjnych, z wysoką rozdzielczością czasową. Szczególną wartość diagnostyczną mają systemy umożliwiające jednoczesną rejestrację sił, drgań, parametrów napędów oraz synchronizację czasową danych, co pozwala na kompleksową analizę dynamiki całych układów ścianowych.

Jednocześnie wykazano, że mimo znaczącego postępu technologicznego, istotnymi barierami dla powszechnego wdrożenia omawianych systemów pozostają problemy z długotrwałym i bezpiecznym zasilaniem autonomicznych modułów, niezawodnością transmisji danych w środowisku kopalnianym. W tym kontekście szczególnie perspektywiczne wydają się kierunki rozwoju związane z odzyskiwaniem energii z drgań, inteligentnym zarządzaniem energią (tryby uśpienia), a także z wykorzystaniem algorytmów estymacji wspomagających interpretację danych pomiarowych.

Podsumowując, skuteczna diagnostyka obciążeń dynamicznych w łańcuchach pociagowych stanowi jeden z kluczowych warunków zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa maszyn ścianowych. Integracja zaawansowanych systemów pomiarowych z koncepcją Przemysłu 4.0 oraz rozwój „inteligentnych łańcuchów” otwierają realną drogę do predykcyjnego utrzymania ruchu, wydłużenia trwałości łańcuchów ogniowych i ograniczenia ryzyka kosztownych awarii w górnictwie podziemnym.

Literatura:

- [1] Plow Systems - HBT Global Sales and Support Available online: <https://hbt-group.com/product-groups/plow-systems/> (accessed on 30 December 2025)
- [2] Plows | H-CPC Available online: <https://h-cpc.cat.com/cmms/v2?&f=subfamily&it=group&cid=406&lid=en&sc=US&gid=18319069&nc=1> (accessed on 30 December 2025)
- [3] Dziura, J. Kompleks Mikrus - nowa technologia wybierania pokładów niskich. *Maszy-ny Górnicze* 2012, XXX, 3-11
- [4] Grenevia S. A. Kompleks Mikrus Available online: <https://famur.com/urządzenia-dla-gornictwa-podziemnego/kompleks-mikrus/> (accessed on 29 December 2025)
- [5] Przenośniki zgrzeblowe Available online: <https://famur.com/urządzenia-dla-gornictwa-podziemnego/przenośniki-zgrzeblowe/> (accessed on 30 December 2025)
- [6] Armored Face Conveyors - HBT Global Sales and Support Available online: <https://hbt-group.com/product-groups/armored-face-conveyor/> (accessed on 30 December 2025)
- [7] Fasing S. A. Available online: <https://fasing.pl/gornictwo> (accessed on 27 December 2025)
- [8] Mining - THIELE GmbH & Co. KG Available online: <https://www.thiele.de/en/products/mining> (accessed on 27 December 2025)
- [9] Zhang, K., Sun, Z., Su, J., Wei, X., Du, M., Chen, H. Identification and Modelling of Dynamic Parameters for Round Link Chains Subject to Axial Loads. *Sci Rep* 2022, 12, 16155, doi:10.1038/s41598-022-19207-3
- [10] Wolfe, M., Flote, K. Causes of Vibration and Stress Loadings of Chain-Operated Face Equipment. In *Proceedings of the High-Performance Longwall Operations*. Institut für Bergbaukunde I, RWTH Aachen: Aachen, Germany, June 2000
- [11] Dolipski, M. *Dynamika górniczych przenośników zgrzeblowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, 1989
- [12] Remiorz, E. *Dynamika łańcuchowych układów ciągnięcia ścianowych maszyn urabi-ających*. Monografia / [Politechnika Śląska]: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, 2021, ISBN 978-83-7880-740-7
- [13] Yuan, P., He, B., Zhang, L. Planar Dynamic Modelling of Round Link Chain Drives Considering the Irregular Polygonal Action and Guide Rail. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics* 2021, 235, 338–352, doi:10.1177/1464419321993004
- [14] Remiorz, E., Miś, S. *Podstawowe Formy Degradacji Własności Użytkowych Łańcuchów Ogniowych Górniczych Stosowanych w Maszynach Ścianowych*. *Maszy-ny Górnicze* 2017
- [15] Remiorz, E., Miś, S. *Eksplatacyjna Diagnostyka Ogniowych Łańcuchów Górniczych Stosowanych w Pociągowych Układach Łańcuchowych Maszyn Ścianowych*. *Maszy-ny Górnicze* 2018
- [16] Wieczorek, A.N., Wójcicki, M., Kalita, M., Kandzia, R. Problems of Wear of the Chains Used in Mine Scraper Conveyors, Caused by Friction and Corrosion. *SJSUT.ST* 2024, 122, 293–304, doi:10.20858/sjsutst.2024.122.16
- [17] Solazzi, L., Danzi, N., Gelfi, M., Zavanella, L.E. Failure Analysis of a Pair of Failed Chain Links. *Engineering Failure Analysis* 2023, 152, doi:10.1016/j.engfailanal.2023.107481
- [18] Li, S., Zhu, Z., Lu, H., Xue, Y. Tension Characteristics Analysis of Scraper Chain of Heavy-Duty Scraper Conveyor with Time-Varying Loads. *Shock and Vibration* 2024, 2024, doi:10.1155/2024/5589346
- [19] Li, L., Cui, H., Lian, Z., Wang, Q. Modeling and Optimization of Soft Start-Up for Hydroviscous Drive Applied to Scraper Conveyor. *Mathematical Problems in Engineering* 2019, 2019, 6131364, doi:10.1155/2019/6131364
- [20] Dolipski, M. *Modelowanie i Badania Zespołów Strugowych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, 1993. ISBN 978-83-85718-35-2

- [21] Jiang, S., Ren, W., Mao, Q., Zeng, Q., Yu, P., Gao, K., Wang, L. Dynamic Analysis of the Scraper Conveyor under Abnormal Operating Conditions Based on the Vibration and Speed Characteristics. *Shock and Vibration* 2021, 2021, 8887744, doi:10.1155/2021/8887744
- [22] Wang, H., Zhang, Q., Xie, F. Dynamic Tension Test and Intelligent Coordinated Control System of a Heavy Scraper Conveyor. *IET Science Measure & Tech* 2017, 11, 871–877, doi:10.1049/iet-smt.2016.0425
- [23] Günther, P., Schütz, M., Nienhaus, K. Określenie sił występujących w łańcuchu przenośnika ścianowego przy pomocy zminiaturyzowanego układu pomiarowego. In *Nowoczesne technologie i bezpieczeństwo w górnictwie: [monografia]*. Department of Mining, Dressing and Transporting Machines. Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, University of Science and Technology: Kraków, 2017 ISBN 978-83-930353-3-5
- [24] Xie, C., Liu, Z., Xie, M., Mao, J. Analysis of Chain Mechanical Characteristics of Mine Scraper Conveyor under Material Loading and Chain Clamping Conditions 2022
- [25] Szot, M., Herezy, Ł., Szade, P., Frac, W. Measurement of Forces in a Mining Plough Chain during Operation. *Energies* 2022, 15, 6003, doi:10.3390/en15166003
- [26] Remiorz, E. Rozproszony Autonomiczny System Pomiarowy Obciążeń Dynamicznych Ścianowej Maszyny Urabiającej z Ciężnowym Napędem Posuwu. *Przegląd Górniczy* 2018, 74, 1–6
- [27] Schütz, M. Konzeptentwurf und Erprobung eines Messsystems zur verbesserten Bestimmung der Ablegereife von Rundstahlgliederketten. *Aachener Schriften zur Rohstoff- und Entsorgungstechnik des Instituts für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie*, 1. Auflage. Verlag R. Zillekens: Stolberg, 2016. ISBN 978-3-941277-28-1
- [28] Dolipski, M., Cheluszka, P., Sobota, P., Tytko, S. Pomiary obciążeń dynamicznych ścianowego przenośnika zgrzeblowego w warunkach eksploatacyjnych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2012, 14-19
- [29] Mao, Z., Jin, X., Zhang, D., Liu, L., Sheng, Z., Qiu, F., Li, G., Niu, Z. (Inventors) Scraper Conveyor Chain Tension Measuring Device 2014
- [30] Li, Y., Liu, Z., Shi, J., Tian, D., Li, J., Xie, S., Tang, S., Gong, W. (Inventors) Scraper Conveyor Mining Chain Ring with Chain Tension Monitoring Function 2024
- [31] Zou, Y., Zhang, C., Yang, Y., Chen, J., Luo, H., Sun, X., Wang, M. (Inventors) Scraper Conveyor Chain Tension Sensor and Monitoring System 2024
- [32] Hezhe, Z., Cong, W. Variable Excitation Piezoelectric Energy Capture Device for Powering Scraper Conveyor Tension Detection Systems. *Manufacturing Technology* 2024, 24, 578–587, doi:10.21062/mft.2024.059
- [33] Zhu, Z., Lu, W., Zhang, X., Fan, J., Xu, M., Gao, G., Yu, Z. (Inventors) Method of Estimating Tension of Chain of Scraper Conveyor 2019
- [34] Zhang, X., Li, W., Zhu, Z., Jiang, F. Fault Detection for Scraper Chain Using an Observer-Based Tension Distribution Estimation Algorithm. *Current Science* 2020, 118, 1792, doi:10.18520/cs/v118/i11/1792-1802
- [35] Tout, J., Powell, G., Smith, R. Chain Tension Sensor 2016
- [36] Wang, L., Ren, W., Jiang, S., Liu, W., Zhang, X., Wang, C., Gao, K., Yang, Z., Xia, T., Gao, H. (Inventors) A Real-Time Scraper Chain Tension Detection System Based on the Piezoelectric Effect 2020
- [37] Gao, W., Zhu, Z., Hu, H., Shen, G., Li, X., Yang, W., Wang, D. (Inventors) Scraper Conveyor Chain Tension Monitoring System and Method 2020
- [38] Lu, J., Miao, J. (Inventors) An Online Tension Monitoring Device for V-Type Linked Chains of a Scraper Conveyor 2015
- [39] Guse, K., Witte, P., Kröninger, G., Böckem, B., Röckem, R. (Inventors) Long-Wall Mining Machine with a Working Chain 1997
- [40] Wu, G., Lin, J., Wei, W., Cui, Y., Jiao, X., Niu, W. (Inventors) A Scraper Conveyor Chain Dynamic Tension Online Monitoring System 2019

VÝZNAM SPRÁVNÉ INSTALACE KOMPRESORŮ PRO ZVÝŠENÍ JEJICH SPOLEHLIVOSTI

THE IMPORTANCE OF PROPER COMPRESSOR INSTALLATION FOR IMPROVING RELIABILITY

Jaroslav ROUBÍČEK, Alignment Tools Ltd, org. složka, Praha ¹

Anotace:

Správná instalace kompresorů vede ke zvýšení jejich spolehlivosti, snížení počtu odstávek a posílení konkurenceschopnosti provozovatelů těchto zařízení. Prezentace vysvětluje roli a kritičnost jednotlivých typů kompresorů, popisuje běžné provozní problémy - například deformace tělesa, nesouosost, měkkou patku, poruchy těsnění či zatížení potrubím - a zdůrazňuje jejich vliv na bezpečnost i celkové náklady životního cyklu. Zároveň představuje klíčové instalační a měřicí postupy, jako je souosost hřídelí, vyrovnaní řady otvorů, kontrola rovinnosti, nivelace a dynamická měření, doplněné o reálné příklady z praxe.

Annotation:

Proper compressor installation increases reliability, reduces unplanned downtime, and strengthens the competitiveness of equipment operators. The presentation explains the role and criticality of different compressor types, describes common operational issues - such as casing distortion, misalignment, soft foot, seal failures, and pipe strain - and highlights their impact on safety and total lifecycle cost. It also presents key installation and measurement practices, including shaft alignment, bore alignment, flatness control, levelling, and dynamic measurements, supported by real-world practical examples.

(autor si nepřeje zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference, téma je zařazeno do programu konference a bude autorem předneseno)

¹ Jaroslav Roubíček, CTD
Alignment Tools Ltd, organizační složka
Branická 69/66, 147 00 Praha 4 - Braník
tel.: +420 244 404 165, mobil: +420 606 020 004, e-mail: j.roubicek@alignment-tools.com
<https://alignment-tools.cz/>

VYUŽITÍ VELKÝCH JAZYKOVÝCH MODELŮ PRO AUTOMATIZOVANOU TVORBU ZPRÁV O VIBRAČNÍM CHOVÁNÍ STROJŮ

USE OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR AUTOMATED REPORTING OF MACHINE VIBRATION BEHAVIOR

Luboš SMOLÍK, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o. ¹

Jakub ŠULDA, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o. ²

Václav STEINBACH, Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o. ³

Anotace:

Současné prostředky pro monitorování vibrací systémů strojů dokážou automaticky informovat uživatele o překročení stanovených limitů nebo pravidelně generovat tabulky a grafy. Tyto výstupy však mohou být pro netechnický personál obtížně srozumitelné, a přitom právě jejich porozumění je klíčové pro rozhodování o dalším provozu zařízení. Tento příspěvek představuje způsob, jak využít velké jazykové modely k převodu předem připravené sady dat do souvislého textu. Modely neprovádí vlastní diagnostiku, pouze zpracovávají deterministicky připravená data. Navržené řešení je možné integrovat do existujících procesů a umožňuje automatizovaně generovat srozumitelné zprávy pro širší skupinu uživatelů, což zlepšuje informovanost při provozním rozhodování.

Annotation:

Current tools for vibration monitoring of machine systems can automatically notify users when predefined limits are exceeded or can generate tables and charts on a daily basis. However, such outputs can be difficult for non-technical personnel to interpret, although their understanding is essential for making decisions regarding further operation. This paper introduces a method of using large language models to convert pre-processed data into natural-language text. These models are not used for diagnostics; instead, they operate solely on deterministically prepared data. The proposed solution can be integrated into existing business processes, enabling the automated generation of reports that are easy to understand for a wide audience. This increases the quality of information and supports better operational decision-making.

¹ Ing. Luboš Smolík, Ph.D., CTD

Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.

Tylova 1581/46, 301 00 Plzeň

tel.: +420 371 430 792, mobil: +420 736 727 373, e-mail: lubos.smolik@vzuplzen.cz,

<https://www.vzuplzen.cz/>

² Ing. Jakub Šulda

mobil: +420 777 209 040, e-mail: jakub.sulda@vzuplzen.cz

³ Ing. Václav Steinbach

e-mail: vaclav.steinbach@vzuplzen.cz

1 Úvod

Současné digitální nástroje pro monitorování stavu rutinně generují tabulky, grafy a upozornění na překročení limitů. Převod těchto dat do srozumitelných zpráv je však často manuální nebo je založený na předem definovaných šablonách. Rychlý rozvoj velkých jazykových modelů (LLM), jako jsou GPT, Gemini, Claude nebo DeepSeek, umožňuje mezi datovou vrstvou monitorovacího systému a výstupní zprávou vložit novou vrstvu tvořenou LLM, která převádí data na souvislý text. To odpovídá současnému trendu, kdy se LLM mimo jiné využívají pro převod strukturovaných dat do textu [1].

Zavedení LLM do procesu diagnostiky však přináší otázky týkající se *transparentnosti* a *robustnosti* použitého modelu. Transparentnost je míra vysvětlující z čeho model vychází a jakým způsobem generuje výstup. Robustnost se týká odolnosti modelu vůči nečekaným nebo nevhodně strukturovaným vstupům [2]. Pro diagnostiku je transparentnost a robustnost zásadní. Podle principů definovaných v nové edici normy ISO 13379-1 má být diagnostická hypotéza formulována na základě analýzy symptomů a dalších elementů [3]. Při použití LLM však může být obtížné doložit, jak konkrétní hypotéza vznikla. V případě automatizovaných procesů je tedy vhodné LLM použít pouze jako jazykovou vrstvu nad deterministickými vstupy, nikoli jako nástroj, který podklady pro hypotézu sám vytváří.

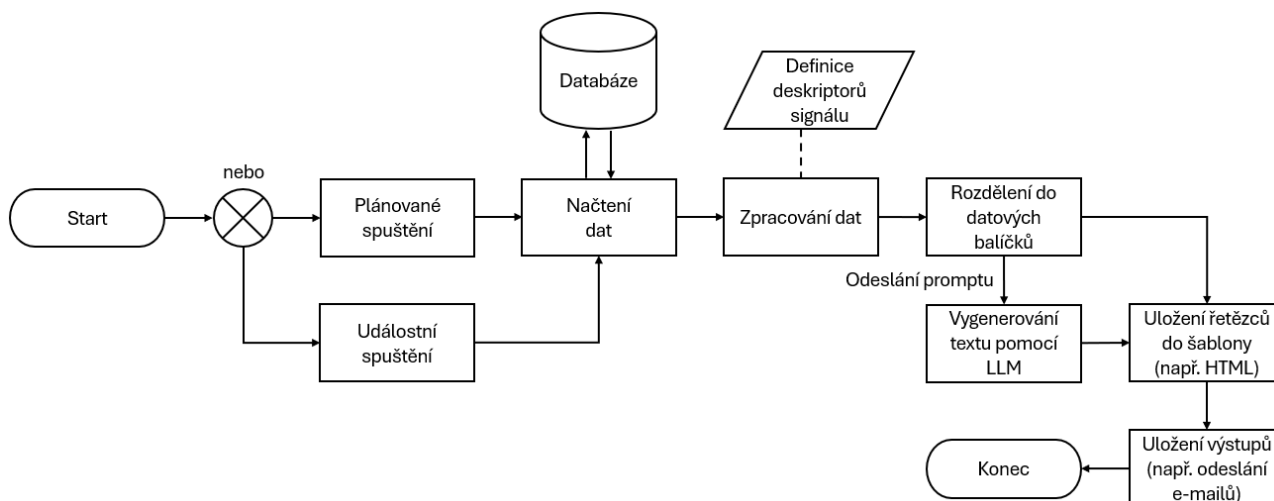
Takové použití odpovídá jednomu ze dvou dominantních směrů použití LLM v diagnostice systémů strojů, a to:

- 1) převodu strukturovaných dat, jako jsou údaje z historie provozu a naměřená data, do souvislého textu [4] a
- 2) konzultačním režimům, které kombinují práci s údržbovými záznamy, normami či technickými manuály a interaktivní dotazování uživatele [5].

Tento příspěvek ukazuje, jak integrovat LLM do procesu monitorování stavu za účelem automatické tvorby textových zpráv o chování monitorovaného zařízení. To zahrnuje zpracování dat z monitorovacího systému, vytvoření datového balíčku a promptu pro LLM a následné sjednocení dílčích výstupů do jednoho dokumentu, který je možné pravidelně ukládat nebo rozesílat e-mailem. Celý proces je navržen s ohledem na robustnost a transparentnost. LLM zde funguje jako jazyková nadstavba nad deterministickými výsledky, nikoli jako samostatný diagnostický model. Integrace je demonstrována na příkladu zpráv o vibračním chování, které vyhovují normě ČSN ISO 20816-2 [6].

2 Popis procesu automatizované tvorby zprávy o chování systému strojů

Základní kroky procesu automatizované tvorby zprávy o chování systému strojů jsou zobrazeny ve vývojovém diagramu na obr.1 a popsány v následujících kapitolách.



Obr.1 Vývojový diagram zobrazuje základní kroky procesu automatizované tvorby zprávy s využitím dat z databáze monitorování stavu systému strojů

2.1 Spuštění procesu

Proces může být spuštěn dvěma způsoby. Prvním je *spuštění plánované* v předem definovaných intervalech, například každý den v 7:00 hodin. Druhým je *spuštění při události*, například při překročení mezních hodnot vibrací pro Výstrahu [6].

Spuštění procesu může proběhnout v systému monitorování stavu, pokud tento umožňuje vyvolání externích akcí, jako jsou skripty, makra nebo programy. Alternativně lze proces spustit na platformách pro automatizaci procesů, jako jsou komerční platformy n8n a Microsoft Power Automate nebo open-source nástroje jako Huginn a Node-RED.

2.2 Načtení dat

V dalším kroku jsou načtena data z databáze monitorovacího systému. Přístup k nim může proběhnout prostřednictvím API konektoru, přímého databázového dotazu nebo pomocí externího datového úložiště. V tomto kroku se zároveň určuje rozsah načítaných dat, tedy časový interval, ve kterém se pracuje, a vzorkovací perioda, pokud jí zvolený způsob načítání dat umožňuje nastavit.

V představeném příkladu monitorování vibračního chování turbogenerátoru jsou načítány hodnoty ložiskových vibrací, činného výkonu generátoru a otáček stroje za posledních 14 dní.

2.3 Zpracování dat

Načtená data jsou následně zpracována. To zahrnuje jejich validaci, tedy vyřazení vzorků s chybějícími a neplatnými hodnotami nebo s nevyhovující hodnotou indikátoru kvality dat, viz ČSN ISO 13374-2 [7]. Zbývající data je obvykle nutné synchronizovat a převzorkovat na konstantní vzorkovací periodu, aby bylo možné spolehlivě vypočítat deskriptory jednotlivých měření a zajistit jejich vzájemnou porovnatelnost [3].

Nejčastěji používanými deskriptory statických měření, což jsou v případě monitorování vibrací například rozkmity výchylky vibrací s_{p-p} nebo efektivní hodnoty

rychlosti vibrací v_{ef} , jsou střední hodnota a směrodatná odchylka. Střední hodnota μ_x měření x vzorkované s konstantní vzorkovací periodou je definována vztahem

$$\mu_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

kde x_i je i -tý vzorek a n je celkový počet vzorků brány v úvahu. Směrodatná odchylka σ_x charakterizuje rozptýlení hodnot měření x kolem střední hodnoty μ_x a je dána vztahem

$$\sigma_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2,$$

kde μ_x je střední hodnota vzorků $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Aby byl proces popisu chování monitorovaného systému transparentní a nezávislý na rozhodování LLM, jsou kvalita měření a přítomnost anomálií popsány deterministicky definovanými binárními indikátory. Tyto indikátory jsou obvykle zvoleny tak, aby bylo možné jednoznačně posoudit, zda krátkodobé chování měřené veličiny odpovídá základním hodnotám při ustáleném provozu. Pokud chování odpovídá základním hodnotám, je indikátor roven hodnotě 0 (false). Příkladem binárních indikátorů jsou

$$b_{max} = \begin{cases} 1 & \text{když } x_{max,1d} > \mu_{x,14d} + k_{max} \cdot \sigma_{x,14d} \\ 0 & \text{jinak,} \end{cases}$$

$$b_{\sigma} = \begin{cases} 1 & \text{když } \sigma_{x,1d} > k_{\sigma} \cdot \sigma_{x,14d} \\ 0 & \text{jinak,} \end{cases}$$

kde b_{max} ukazuje, zda momentální maximální hodnota $x_{max,1d}$ překračuje očekávanou maximální hodnotu a b_{σ} ukazuje, zda měření x momentálně kolísá více než je obvyklé. $\mu_{x,14d}$ a $\sigma_{x,14d}$ jsou střední hodnota a směrodatná odchylka měření x za posledních 14 dnů ustáleného provozu a $x_{max,1d}$ a $\sigma_{x,1d}$ jsou maximální hodnota a směrodatná odchylka měření x za poslední 1 den provozu. Koeficienty k_{max} a k_{σ} se volí s ohledem na základní hodnoty a kritičnost monitorovaného systému. Typické hodnoty jsou $k_{max} \in (2, 6)$ a $k_{\sigma} \in (1, 2)$.

Kromě výpočtu deskriptorů a binárních indikátorů lze načtená data analyzovat pomocí detektorů anomálií, jejichž cílem je identifikovat neobvyklé chování měření a určit okamžik jeho výskytu. Podrobnější popis detektorů anomálií lze nalézt např. v článku **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Do tohoto kroku patří rovněž vykreslení trendů jednotlivých měření do grafů.

2.4 Rozdělení do datových balíčků

Pro další zpracování je vhodné rozdělit výsledky výpočtů do samostatných datových balíčků, z nichž každý reprezentuje logicky ucelenou část informací, např. *deskriptory*, *indikátory*, *alarmy* (anomálie) a *grafy*. Každý balíček by měl obsahovat následující metadata:

- identifikace monitorovaného systému;

- b) datum a čas vytvoření datového balíčku; a
- c) pokud je to možné, provozní stav monitorovaného systému.

Jednotlivé deskriptory, indikátory, alarmy a grafy by pak měly být dále doplněny o:

- d) označení místa, kde bylo provedeno měření, např. L1 horizontálně;
- e) časovou charakteristiku provedeného měření, např. posledních 24 hodin;
- f) označení deskriptoru, indikátoru, alarmu nebo grafu, např. průměrná hladina rychlosti vibrací v mm.s^{-1} ; a
- g) hodnotu deskriptoru, indikátoru, alarmu nebo datové body v případě grafů.

Takto strukturované datové balíčky zajišťují, že všechny předávané informace splňují požadavky ISO 13379-1 na jednoznačnou identifikaci diagnostických elementů [3].

Datové balíčky se nejčastěji vytvářejí ve formátu JSON, který je dnes standardem v API rozhraních používaných pro vzdálený přístup k LLM i k platformám pro automatizaci procesů. Výhodou formátu JSON je jednoduchá struktura, jednoznačná čitelnost a možnost kombinovat texty, čísla i strukturovaná data. Nevýhodou je pak větší velikost výsledných souborů způsobená textovou reprezentací dat. Alternativou k formátu JSON jsou například strukturovaný formát XML nebo binární formáty, jako je Protobuf.

2.5. Vygenerování textu pomocí LLM

LLM generuje text na základě textového vstupu, tzv. *promptu*. Pro zajištění transparentnosti a robustnosti a minimalizaci zkreslení (biasu) je vhodné prompt strukturovat do čtyř částí. První část promptu *vymezuje roli* a odbornou perspektivu LLM, např.:

- Jsi odborný diagnostický systém hodnotící vibrace rotačních strojů dle ISO 20816.

Jednoznačné vymezení role pomáhá LLM korektně interpretovat zadání. Následuje *specifikace úkolu*, která jednoznačně popisuje kroky, jež má model provést, což omezuje volnost interpretace. Níže je příklad specifikace úkolu, pokud vstupní data pro LLM zahrnují hodnoty $\sigma_{x,14d}$ a b_{max} textově označené jako MaxVibration a HighLevel:

- Najdi mohutnost vibrací (severity) v mm/s za uplynulých 24 hodin jako maximum z hodnot parametrů 'MaxVibration'. Zařaď mohutnost do pásma A (nižší než 3.8 mm/s), pásma B (mezi 3.8 a 7.5 mm/s) nebo pásma C (vyšší než 7.5 mm/s). Uveď mohutnost, pásmo a příslušné místo (ložisko a směr vibrace).

- Identifikuj místa, kde je HighLevel = true, a popiš je jako místa s vyšší hladinou vibrací, než bylo v uplynulých 14 dnech obvyklé.

- Uveď stručný závěr. Pokud je mohutnost v pásmu A nebo v pásmu B, je možný dlouhodobý provoz. Pokud je mohutnost v pásmu C, stav vyžaduje pozornost diagnostika. Pokud hladiny vibrací jsou netypicky kolísají, nebo jsou vysoké, vyžadují kontrolu dodaných trendů diagnostikem.

Třetí část promptu tvoří *specifikace výstupu*, která definuje požadovanou formu a styl výstupu. Pro zajištění transparentního výstupu je vhodné specifikovat pravidla pro odhady:

- Být technicky přesný a vycházet pouze z dodaných dat. V případě odhadu označ výstup jako [EXTRAPOLACE].
- Nepoužívá názvy polí ve vstupních datech (např. HighLevel, MaxVibration). Místo toho se používá srozumitelný technický popis jejich významu.
- Musí uvádět pouze věcné závěry bez zbytečných detailů.

Poslední část promptu poskytuje LLM deterministicky připravená *vstupní data*:

Bearing: L1 - horizontal, MaxVibration: 2.1, HighLevel = false;

Bearing: L1 - vertical, MaxVibration: 0.6, HighLevel = false;

2.6 Uložení řetězců do šablony a rozeslání e-mailem

Následně jsou veškeré texty vygenerované pomocí LLM a datové balíčky vloženy do šablony výstupního dokumentu. Z hlediska technické implementace je nejjednodušším řešením použití šablon vHTML5, které umožňují plnou kontrolu nad strukturou a formátováním výstupu, snadnou integraci do většiny e-mailových klientů a také jednoduchý převod do dokumentů Microsoft Word prostřednictvím schránky. Použití šablon přímo ve formátu Microsoft Word je možné, ale nákladné, protože vyžaduje nejvyšší úroveň licencí Microsoft Power Automate nebo využití nástrojů externích poskytovatelů. Alternativou je použití textového procesoru LaTeX, který poskytuje typograficky kvalitní výstupy, avšak jeho editace může být pro běžné uživatele méně intuitivní.

Záznam o vibračním chování

Zařízení: ETE - TG1

Datum: 2026-01-01

Vystavení záznamu: 2026-01-01, 07:00:11

Současný stav: Maximální hodnota mohutnosti vibrací za uplynulých 24 hodin je 4,4 mm/s na ložisku L7 v horizontálním směru, což spadá do pásma B (mezi 3,8 a 7,5 mm/s). Ložiska L4 a L6 vykazují vyšší hladinu vibrací než bylo v uplynulých 14 dnech obvyklé. V žádném místě nebylo zaznamenáno výrazné kolísání hladiny vibrací nad běžnou úroveň. Závěr: Mohutnost vibrací je v pásmu umožňujícím dlouhodobý provoz, avšak zvýšené hladiny vibrací na ložiscích L4 a L6 vyžadují pozornost diagnostika a kontrolu trendů vibrací.

Legenda:

Předdefinovaný text (šablona)

Metadata z datového balíčku

Hodnoty deskriptorů
z datového balíčku

Text vygenerovaný LLM

Text vygenerovaný platformou
pro automatizaci procesů

Tab.: Průměrné hodnoty rychlosti vibrací v mm/s za posledních 24 hodin.

Směr	L1 (mm/s)	L2 (mm/s)	L3 (mm/s)	L4 (mm/s)	L5 (mm/s)	L6 (mm/s)	L7 (mm/s)
horizontální	1.6	1.1	3.4	2.6	3.7	2	4.3
vertikální	0.6	1.4	1.6	0.7	3.3	0.4	1.9

Obr.2 Ukázka automaticky vygenerovaného záznamu o vibračním chování turbogenerátoru chování s texty vyznačenými dle způsobu jejich vytvoření

Příklad na obr.2 ukazuje záznam o vibračním chování turbogenerátoru automaticky vygenerovaný s využitím HTML5 šablony. Jednotlivé prvky záznamu jsou označeny barvou podle toho, jakým způsobem byly vygenerovány.

Poděkování:

Příspěvek vznikl v rámci institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace poskytnuté Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura:

- [1] Patil, R. a Gudivada, V. A review of current trends, techniques, and challenges in large language models (LLMs). *Applied Sciences*, 2024, roč. 14, s. 2074. DOI: 10.3390/app14052074
- [2] ČSN EN ISO/IEC 22989: *Informační technologie - Umělá inteligence - Pojmy a terminologie umělé inteligence*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2023
- [3] ISO 13379-1: *Condition monitoring and diagnostics of machine systems - Data interpretation and diagnostics techniques – Part 1: General Guidelines*. Edition 2. Ženeva: Mezinárodní organizace pro normalizaci, 2025
- [4] OXMAINT. Beyond numeric scores: *How to fuse maintenance logs and sensor data with LLMs*. Online. Maintenance Management Software For Teams. 2025. Dostupné z: <https://oxmaint.com/blog/post/data-fusion-predictive-maintenance-sensor-logs-llm>
- [5] Boonmee, A.; Wongsuwan, K. a Sukjai, P. Consultation on industrial machine faults with large language models. Online. *Arxiv*. 4 Oct 2024. Dostupné z: <https://arxiv.org/html/2410.03223v1>
- [6] ČSN ISO 20816-2: *Vibrace - Měření a hodnocení vibrací strojů. Část 2: Plynové turbíny, parní turbíny a generátory nad 40 MW s kluznými ložisky, na pozemních základech a jmenovitými otáčkami 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min a 3 600 r/min*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018
- [7] ČSN ISO 13374-2: *Monitorování stavu a diagnostika strojů - Zpracování, komunikace a prezentace dat - Část 2: Zpracování dat*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [8] Chandola, V.; Banerjee, A. a Kumar, V. Anomaly detection for discrete sequences: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2012, roč. 24, č. 5, s. 823-839. DOI: 10.1109/TKDE.2010.235

MONITORING GIS - POSTUPY, PROSTŘEDKY, MODELOVÁ ŘEŠENÍ

GIS MONITORING - PROCEDURES, TOOLS, MODEL SOLUTIONS

Václav STRAČKA, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ¹

Antonín KRŇOUL, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ²

Pavel ZÍTEK, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ³

Anotace:

V reálné praxi se stále více vyskytují plynem izolované rozvodny, souhrnně označované jako GIS. Jejich společným prvkem je použité izolační médium SF₆. Tyto rozvodny se vyznačují poměrně vysokou spolehlivostí, avšak v případě poruchy i poměrně nákladnými servisními zásahy s delší časovou prodlevou. S těmito rozvodnami se můžeme setkat jak na úrovni zvn (přenosová soustava, 420 a 220 kV), tak v oblasti distribuce a průmyslových subjektů na úrovni 110 kV. Autoři jsou si vědomi aplikací GIS prvků na úrovni vn, nicméně tato oblast se v některých aspektech odlišuje a může jí být věnován samostatný materiál v budoucnu. Tento materiál je věnován monitoringu GIS se zaměřením na problematiku částečných výbojů (PD). Mezi GIS je možno zahrnout i kompaktní plynem izolovaná pole (vypínač, odpojovač, zemnič, PTN, PTP) či plynem izolované vodiče v průmyslových aplikacích.

Annotation:

In real practice, gas-insulated substations, collectively referred to as GIS, are increasingly occurring. Their common element is the SF₆ insulating medium used. These substations are characterized by relatively high reliability, but in the event of a malfunction, relatively expensive service interventions with a longer time delay. We can meet these substations both at the EHV level (transmission system, 420 and 220 kV) and in the area of distribution and industrial entities at the 110 kV level. The authors are aware of the applications of GIS elements at the MV level, however, this area differs in some aspects and may be devoted to a separate material in the future. This material is dedicated to GIS monitoring with a focus on the issue of partial discharges (PD). GIS can also include compact gas-insulated bays (circuit breaker, disconnecter, earthing switch, CT, VT) or gas-insulated conductors in industrial applications.

¹ Ing. Václav Straka, CTD

"TMV SS" spol. s r.o.

Studánková 395, 149 00 Praha 4 - Újezd

tel.: +420 272 942 720, fax: +420 272 942 722, e-mail: vaclav.straka@tmvss.cz, <https://www.tmvss.cz/>

² Ing. Antonín Krňoul

e-mail: antonin.krňoul@tmvss.cz

³ Pavel Zítek, CTD

e-mail: pavel.zitek@tmvss.cz

1 Úvod

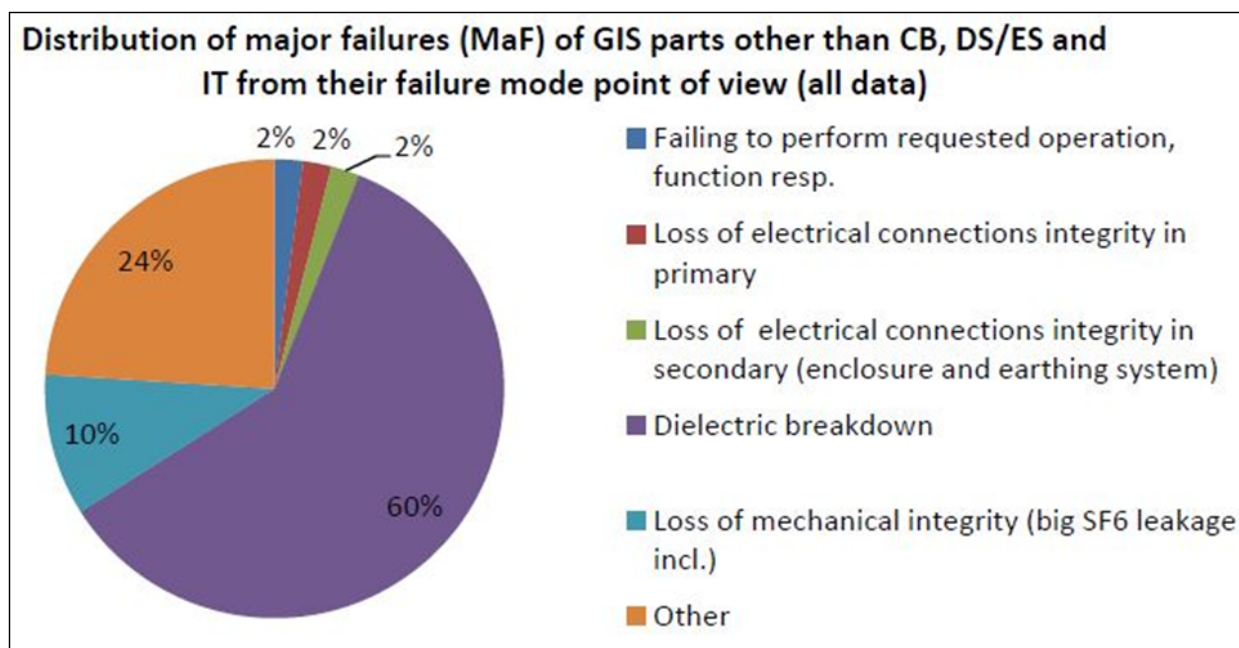
GIS koncepce získaly postupem času významný podíl v oblasti distribuce, přenosu, výroby a spotřeby elektrické energie. Hlavní předností tohoto řešení je kompaktnost provedení, které zabere cca 1/7 plochy v porovnání s konvenčním AIS provedením. Nezanedbatelným parametrem je výrazně zvýšená odolnost vůči externí kontaminaci v silně znečištěném prostředí. Jedná se o poměrně spolehlivé řešení s nízkou poruchovostí, nicméně pokud k poruše dojde, mívá obvykle výraznější celkové dopady, než je ve vzduchem izolovaném provedení prvků. Současně je potřeba vzít v potaz enviromentální aspekty vztahující se k SF6 včetně možných dopadů na zdraví pracovníků.

Velmi častým signálem rozvíjející se poruchy je výbojová aktivita v rámci GIS. Obvykle signalizuje přítomnost některých z následujících příčin:

- nevyhovující dílenské zpracování,
- kovové výstupky/hrany,
- volné metalické částice,
- plovoucí potenciál,
- mezery, dutinky,
- znečištění,
- nedostatečná hustota / tlak izolačního média (obvykle sledováno densostaty),
- nedostatečná % čistota SF6 (obvykle sledováno v rámci prediktivní údržby a diagnostiky).

Je patrné, že příčin výbojové aktivity je vícero, nicméně důležité je zachycení prvních známek rozvíjející se poruch a tím i zabránění další progresi poruchového jevu či následné nákladné poruše. Nezanedbatelný vliv mají i rozkladné produkty SF6 vznikající při jeho degradaci, které jsou vysoce agresivní a mohou ovlivňovat nejen metalické prvky, ale též epoxidové přepážky mezi jednotlivými plynotěsnými oddíly. Lze zjednodušeně konstatovat, že rozkladné produkty generované poruchou sekundárně urychlují další degradaci postiženého oddílu GIS. Také z těchto důvodů je velmi prospěšný raný záchyt vznikajícího jevu.

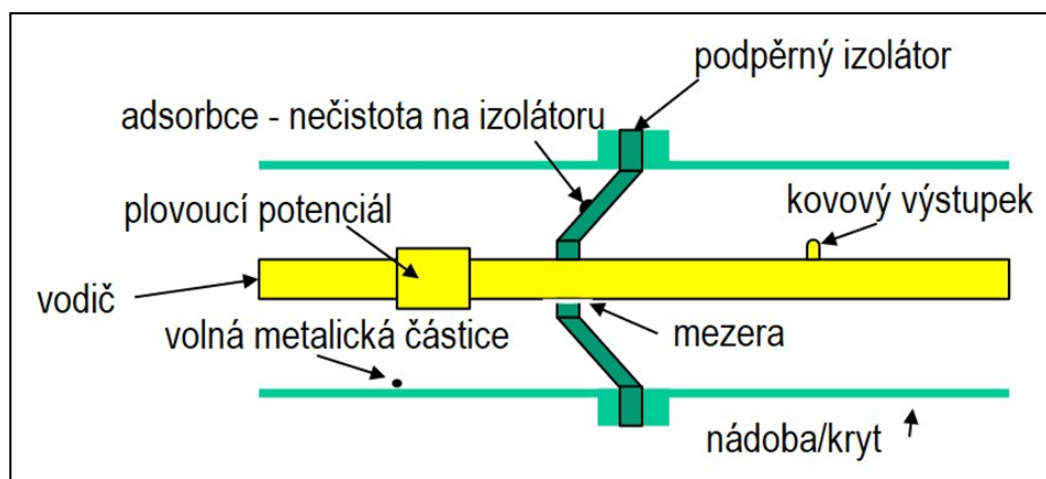
Na obrázku 1 můžeme vidět rozdělení příčin poruch ze kterého vyplývá nejen zásadní podíl dielektrických poruch (závad na izolačním systému, ale sekundárně i právě detekovatelnost těchto závad pomocí výbojové aktivity.



Obr.1 Přehled příčin poruch [1]

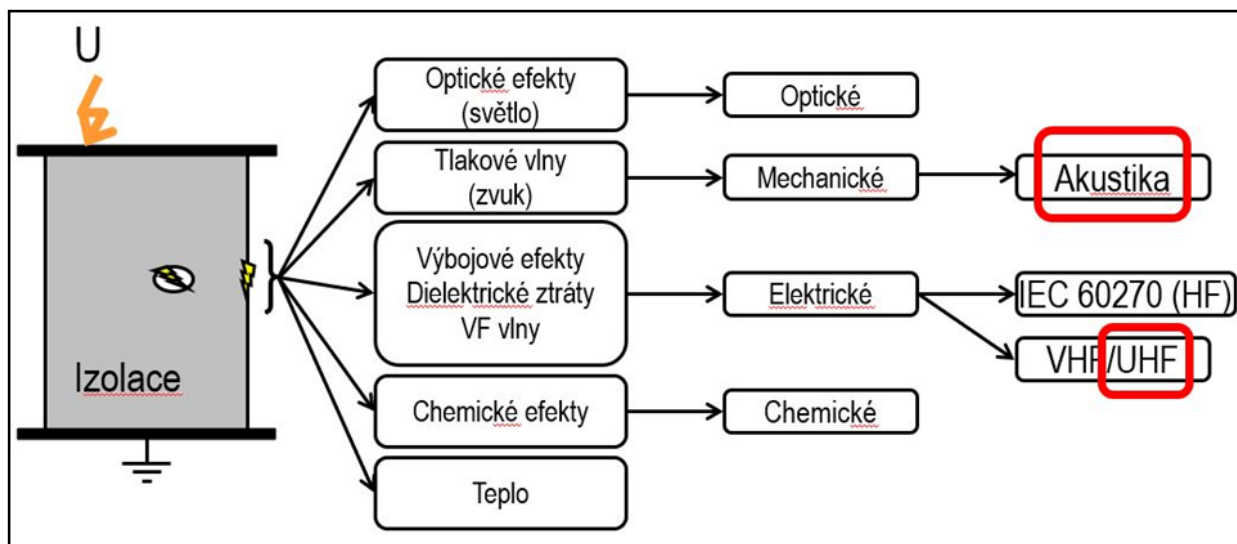
2 Detekční metody

Pomocí detekce a monitoringu výbojové aktivity jsme tedy schopni pokrýt nejen majoritní mechanismy poruch, ale též dominantní část konstrukčního uspořádání GIS.



Obr.2 Detekovatelné příčiny poruch pomocí detekce částečných výbojů

Pokud bychom se obecně podívali na projevy poruch a způsoby detekce, mohli bychom je rozdělit následovně, jako na obrázku 3.

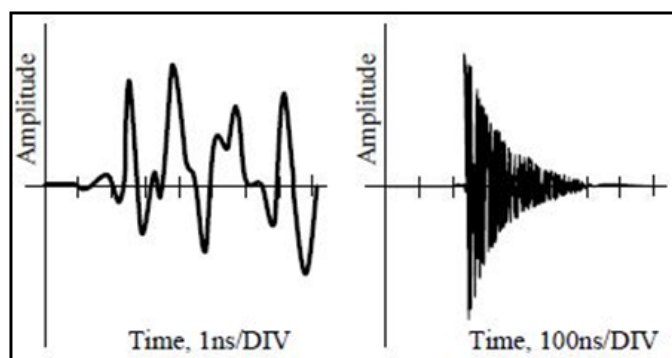


Obr.3 Projevy poruch

Výbojovou aktivitu můžeme detekovat vícero způsoby, nicméně z hlediska monitoringu se nejlépe jeví detekce akustický a elektrických příznaků výbojové aktivity.

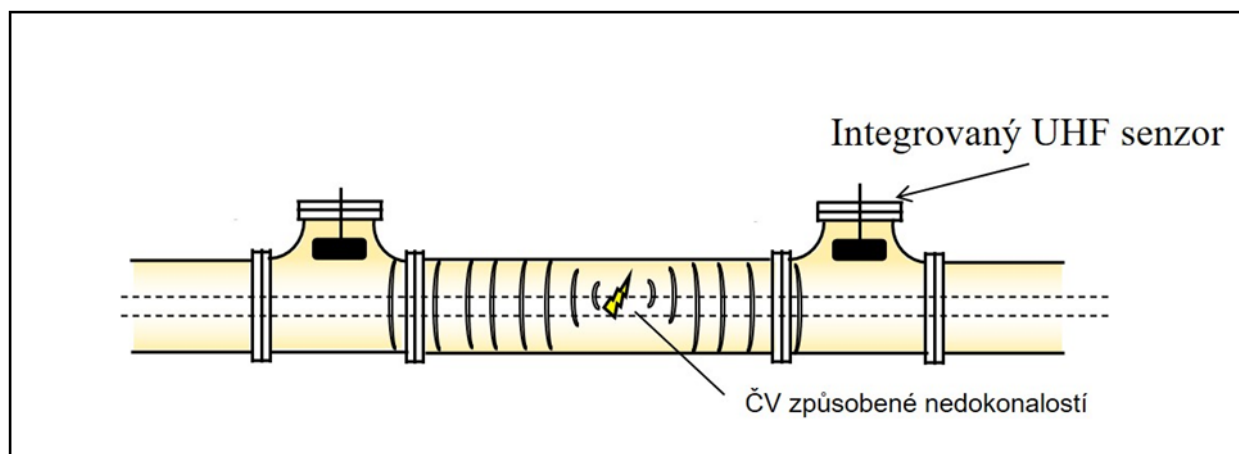
Detekce elektrických výbojů se využívá i při FAT testech dle IEC 60270, nicméně tento materiál je věnován primárně monitoringu jako takovému.

Elektronové laviny v atmosféře SF6 mají velmi strmou dobu náběhu hluboko s časy pod 1 ns. V místě vzniku se takové pulzy vyznačují rovnoměrným rozložením amplitudového spektra o frekvenci až 2 GHz a více. Pokud jde o základní konstrukční principy GIS, plynatěsné oddíly nabízí relativně nízký útlum UHF signálů přenášené přes pole GIS. Na přímých úsecích sběrů můžeme předpokládat v rozsahu 2 dB/m. Avšak konstrukční uspořádání, stejně jako s vnitřní vodič zavádí změnu impedance a tím i odrazy signálu. Příruby, typické kolenové kusy a další nespojitosti částí GIS, které fungují jako vlnovod UHF způsobují také odrazy. V časové oblasti signál ČV, který byl původně jediným impulsem, se jeví jako silně i širokopásmový signál kvůli odrazům a vzhledem k relativně nízkému útlumu. Dále toto útlum způsobuje obálku e-funkce UHF signálu - viz obrázek 4.



Obr.4 Časový průběh signálu ČV a jeho následný útlum

Můžeme konstatovat, že GIS funguje jako poměrně efektivní vlnovod na straně jedné, nicméně geometrie GIS způsobující odrazy může znesnadňovat interpretaci. Obecně lze konstatovat, že signál nemusíme detekovat přímo v místě vzniku, nebo v plynotěsném oddílu, kde vzniknul. Signál je detekovatelný i v určité vzdálenosti od místa vzniku, nicméně je zapotřebí počítat s jeho útlumem a tím pádem i vztahem mezi vzdáleností a citlivostí detekce. Schematicky si lze představit jako v případě obrázku 5.



Obr.5 Šíření UHF signálu

3 Instalace a druhy detekčních prvků

Signál jako takový se šíří a je obecně detekovatelný. Nutné je vzít v potaz druh senzoru a jeho instalaci.

3.1 Integrované UHF senzory

Jedná se o nejlepší řešení z hlediska citlivosti (SNR). Obvykle jsou instalovány do GIS v rámci výroby, a to ať již na základě požadavku zákazníka, tak na základě přípravy na FAT testy či uvádění do provozu. Vzhledem k ceně rozvodny je jejich cena prakticky zanedbatelná. Tyto senzory obvykle pracují ve frekvenčním rozsahu $200 \div 2.000$ MHz. Současně, pokud by měl uživatel zájem o jejich dodatečnou instalaci, je to možné pouze v rámci úkonů zahrnující otevření plynotěsného oddílu. Příklad takového řešení je možno vidět na obrázku 6.

Tyto senzory jsou velmi dobře využitelné i pro diagnostiku pomocí přenosných přístrojů, ať již v rámci kontrol definovaných ŘPÚ, tak při diagnostice vyvolané poruchovými jevy.



Obr.6 Integrovaný UHF senzor

3.2 Okenní senzory

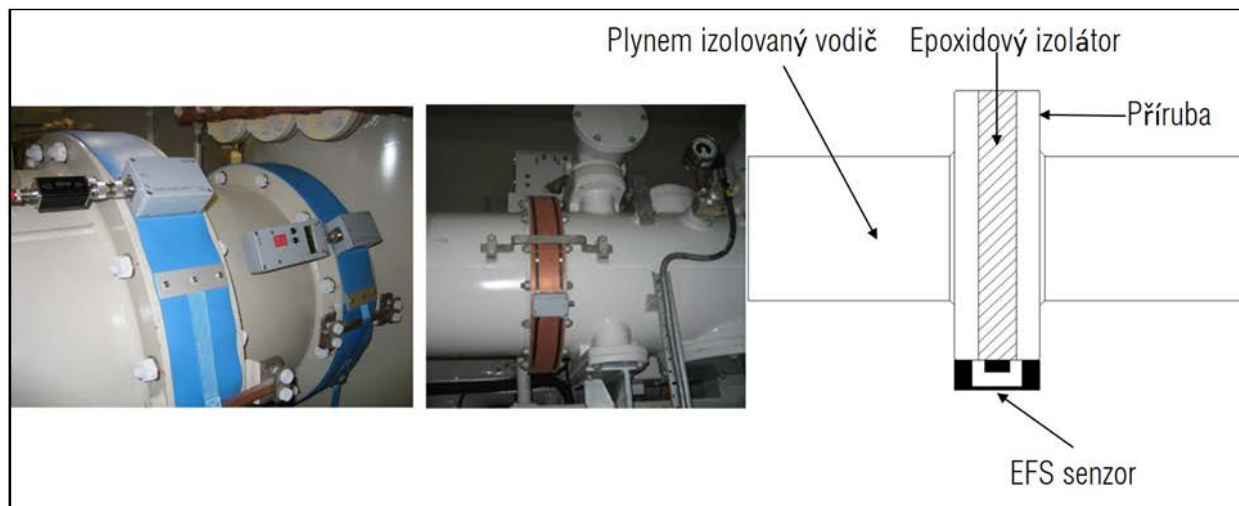
Velmi často se na GIS úrovni vvn a zvn můžeme setkat s inspekčními okny. Jedná se o průzory nainstalované na plynotěsný oddíl, které zaručují jeho těsnost, avšak současně umožňují vizuelní inspekci vně rozvodny. Mezi jejich vlastnosti patří i poměrně dobrá propustnost UHF signálu. Lze je proto s úspěchem využít pro dodatečnou instalaci UHF senzoru. Jedinou podmínkou (limitace daná frekvenčním pásmem signálu) je minimální průměr 60 mm. Lze je tedy využít pro dodatečnou instalaci UHF senzorů. Průchodem skrz inspekční okno samozřejmě dojde k útlumu procházejícího signálu, avšak tento útlum je poměrně malý (v porovnání velikosti signálu s vnitřní UHF anténou) a nezabraňuje efektivnímu detekování signálu generovaného výbojovou aktivitou. Příklad okenního průzoru a okenního senzoru je možno vidět na obrázcích 7, 8 a 9.



Obr.7, 8 a 9 Příklady okenního senzoru

3.3 Externí přírubové senzory

V případě, že GIS není osazena dostatečným množstvím (nebo vůbec) vnitřních senzorů, případně inspekčních oken, existuje ještě varianta tzv. přírubový senzorů (EFS). Tyto senzory je možno nainstalovat na nestíněné příruby GIS, a to i za provozu rozvodny, tedy pod napětím. Ukázka takového řešení je na obrázku 10.



Obr.10 Příklad dodatečně montovaného přírubového senzoru

Je zapotřebí uvést, že přírubové senzory mají o něco nižší citlivost v porovnání s integrovanými UHF senzory, nicméně jedná se o velmi vhodné řešení, kdy rozvodna neobsahuje vnitřní senzory. Je možno takto instalovat monitoring i na GIS, které tyto antény nemají, případně nedisponují okenními průzory.

4 Kalibrace a citlivost

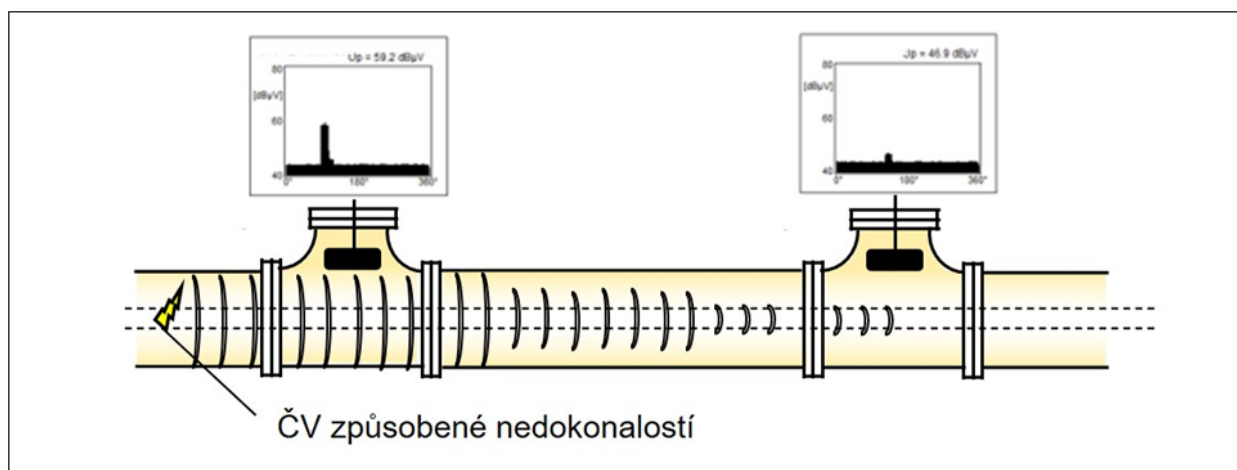
Abychom mohli na monitorovacím systému spolehlivě trigovací úrovně, je zapotřebí při uvádění do provozu ověřit vhodnost instalace, funkčnost senzorů a vypovídající hodnotu. Vlastní monitoring bývá popisován jako „nekonvenční metoda měření“. Tento postup je dostatečně popsán v materiálech CIGRE TBA 654 a TF 15/33.03.05. Při uvádění do provozu se nejedná o kalibraci jako takovou (z fyzikálních příčin ani není možná), ale o proces, který bychom mohli nazvat jako zkouška citlivosti [2].

4.1 Laboratorní měření

Pokud je GIS vybavena vnitřními senzory, provádí se obvykle ve výrobě 2 sady měření:

- definované IEC 60270 (měření výbojové aktivity v GIS,
- nekonvenční UHF měření.

Schéma šíření signálu a jeho detekce je znázorněno na obrázku 11.

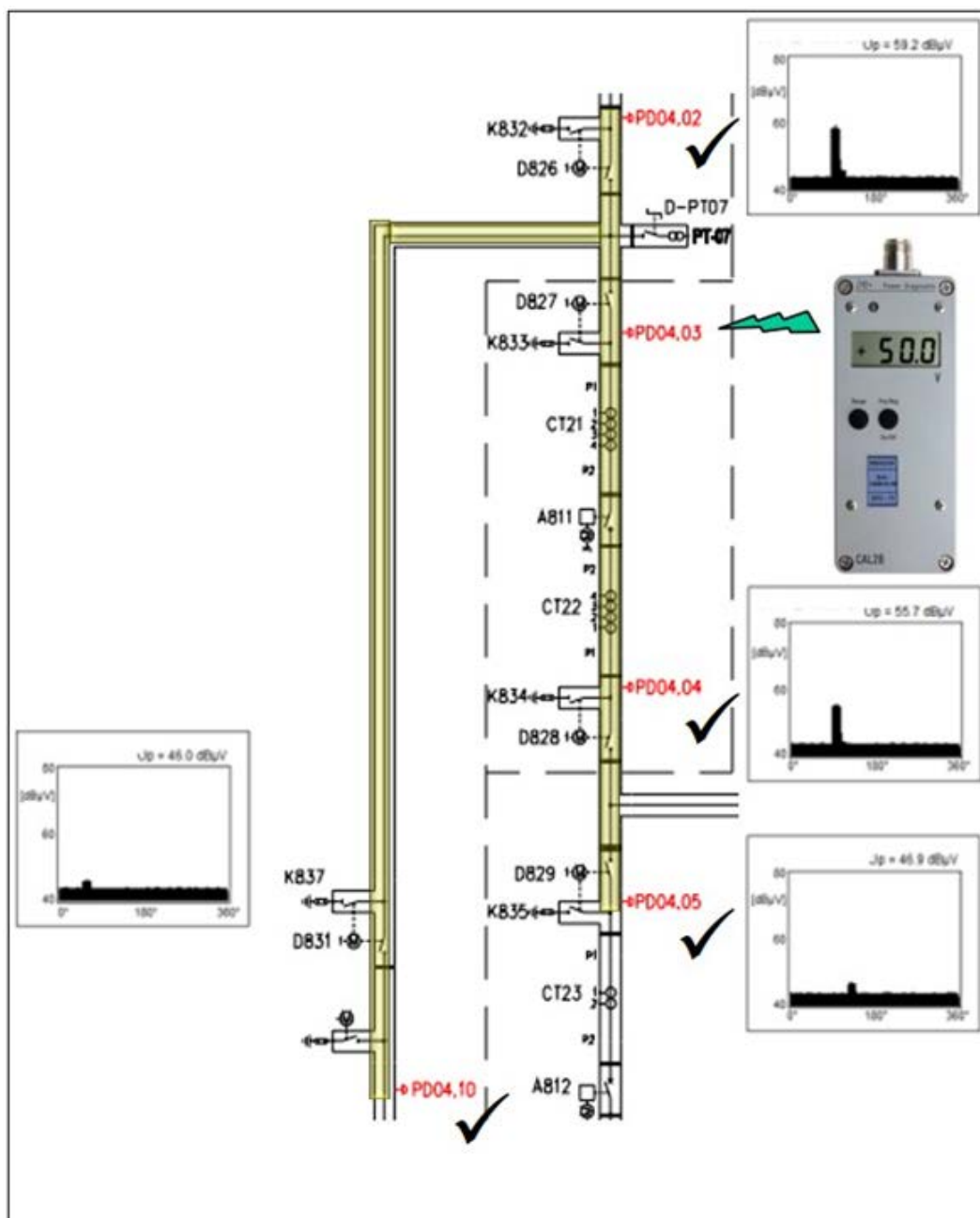


Obr.11 Detekce signálu při laboratorních měřeních

Cílem je ověření parametrů rozvodny a současně i citlivost vnitřních senzorů (pokud jsou zabudovány). Je třeba vzít v potaz, že obdržené výsledky není možno chápat jako typové, ale jsou validní výhradně pro danou GIS, konkrétní plynotěsný oddíl (či sekci) a konkrétní typ snímače. Obdržené výsledky není možno zobecnit. Důvodem je individuální charakteristika šíření signálu vzhledem k typologii GIS.

4.2 On-site měření

Na rozvodnu je připojen zdroj umělého signálu (kalibrátor částečných výbojů) a je sledováno, zdali se projeví nad úroveň šumu nejméně na senzorech v přiléhajících sekcích / nejbližších měřících bodech. Obvykle se užívá generování hodnoty 5 pC. Takový postup je opakován ve všech měřících bodech. Třebaže je v tomto případě známo, jaký má „částečný výboj“ velikost, není možno zaměňovat se skutečným měřením velikosti částečného výboje. Jedná se skutečně pouze o kontrolu schopnosti detekce projevu o velikosti 5 pC nebo vyšší, obdobně jako je znázorněno na obrázku 12.



Obr.12 Zkouška citlivosti na GIS

5 Struktura monitorovacího systému

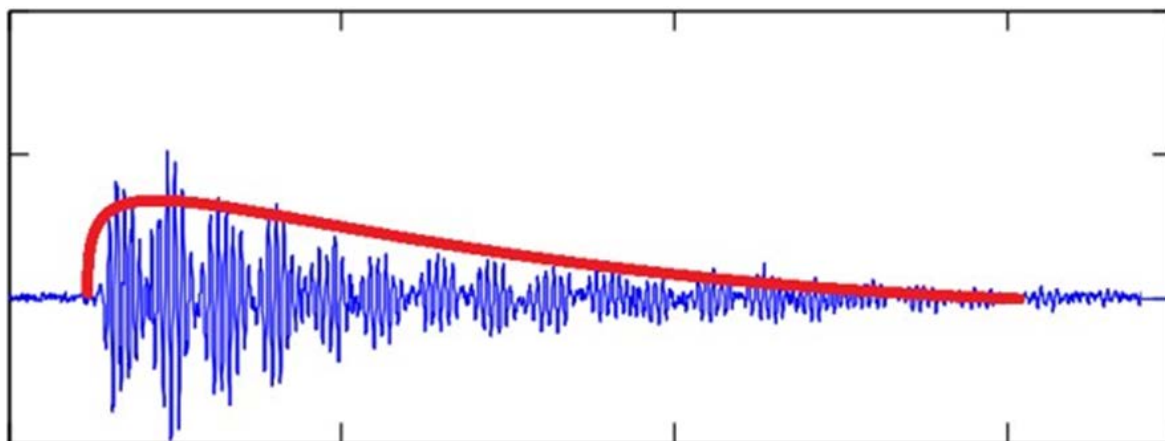
V minulých kapitolách byla popsána problematika výbojové aktivity, vlastní senzory i postup, jak ověřit jejich citlivost v očekávané míře. Následující část bude věnována vlastní struktuře monitorovacího systému.

5.1 Předběžné zpracování signálu

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, částečný výboj se projevuje signálem o frekvenčním rozsahu až do 2 GHz. Takový signál je nejenom objemný z hlediska dat, ale též je nutno vzít v potaz, že při přenosu signálu o takto vysoké frekvenci bude docházet

k zásadnímu útlumu a není možno jej přenášet na vzdálenosti větší než v malých jednotkách metrů. V tomto případě existují dva možné postupy:

- Digitalizace signálu přímo u senzoru - tento postup se jeví zdánlivě výhodným, nicméně znamená (vzhledem k počtu měřicích bodů na GIS) velkou finanční náročnost na instalaci, nebo blízkou instalaci vyhodnocovacích jednotek
- Konverze signálu do nižších frekvencí (do cca 1 MHz) vytvořením obálky signálu (viz obr.13), což umožňuje přenášet signál běžným koaxiálním kabelem na vzdálenosti v řádech vyšších desítek metrů beze zásadního útlumu.



Obr.13 Vytvoření obálky vysokofrekvenčního signálu

Právě řešení pomocí předzpracování signálu vytvořením obálky umožňuje nákladově efektivní řešení monitoringu bez ztráty vypovídající hodnoty. Současně konvertor zajišťující předběžné zpracování signálu může sloužit jako přepětová ochrana v případě vnějších událostí, případně jako výsledek spínání v rozvodně. To je obzvláště vhodné při venkovních instalacích.

Příklad takové instalace ve vnějším prostředí je na obrázcích 14 a 15, kde je vidět propojení přepětové ochrany a jednotky zajišťující předzpracování signálu.



Obr.14 a 15 Příklad venkovní instalace

5.2 Ochrana proti rušení

Jedním z klíčů vypovídací hodnoty monitorovacího systému není jen vlastní citlivost, ale současně i odolnost vůči vnějšímu rušení, které v prostředí vvn a zvn rozveden není pouze statický čum, ale je generováno spínáním prvků rozvodny, jako jsou hlavně odpojovače a vypínače. Ty mohou generovat zdánlivé události, které však nejsou primárně spojeny s hledanou výbojovou aktivitou. Jako ochrana proti těmto jevům se využívá tzv. „gating“ spočívající v označení (vynechání) úseků měření, kdy je signál ovlivněn právě spínáním. Pro tyto účely se využívá antén pro rušení šířené vzduchem a současně proudových transformátorů instalovaných na uzemnění. Příklad instalace nalezneme na obrázku 16.



Obr.16 Příklad instalace „gating“ antény poblíž jednotky předzpracování signálu

Právě možnost vyloučení signálů způsobených spínáním v rozvodně eliminuje tvorbu falešných alarmů a znevěrohodnění naměřených dat. Obsluha monitoringu tak může mít plnou důvěru v naměřené a detekované signály.

5.3 Akvizice dat

Nedílnou součástí jsou HW komponenty zajišťující akvizici signálů a dat a jejich prvotní hodnocení. Jedná se o soubory vstupů pro signál z jednotlivých senzorů, senzor pro gating, synchronizační vstup a komunikační interface sloužící pro vzdálenou komunikaci, propojení vícero jednotek či komunikaci s nadřazenými systémy. Vzhledem

Pokud bychom se zaměřili na topologii monitorovacího systému u rozsáhlejšího monitoringu, mohli bychom jej mít v sestavě obdobné, jako na obrázku 17. Jedná se o sestavu zahrnující 4 vnitřní a 4 venkovní jednotky + centrální jednotku zahrnující lokální rozhraní pro ovládání a parametrizaci. Centrální jednotka též slouží pro lokální vyhodnocení, zálohování dat a další komunikační požadavky. Jednotlivé jednotky jsou vzájemně datově propojeny optickým kabelem (výhodné i vzhledem na galvanické oddělení různých částí systému) a mohou být vzdáleny řádově až stovky metrů. Tak je možné vybudování i rozsáhlého distribuovaného systému, přičemž senzory jsou připojeny k jednotlivým akvizičním jednotkám.

6 Kontrolní SW monitorovacího systému

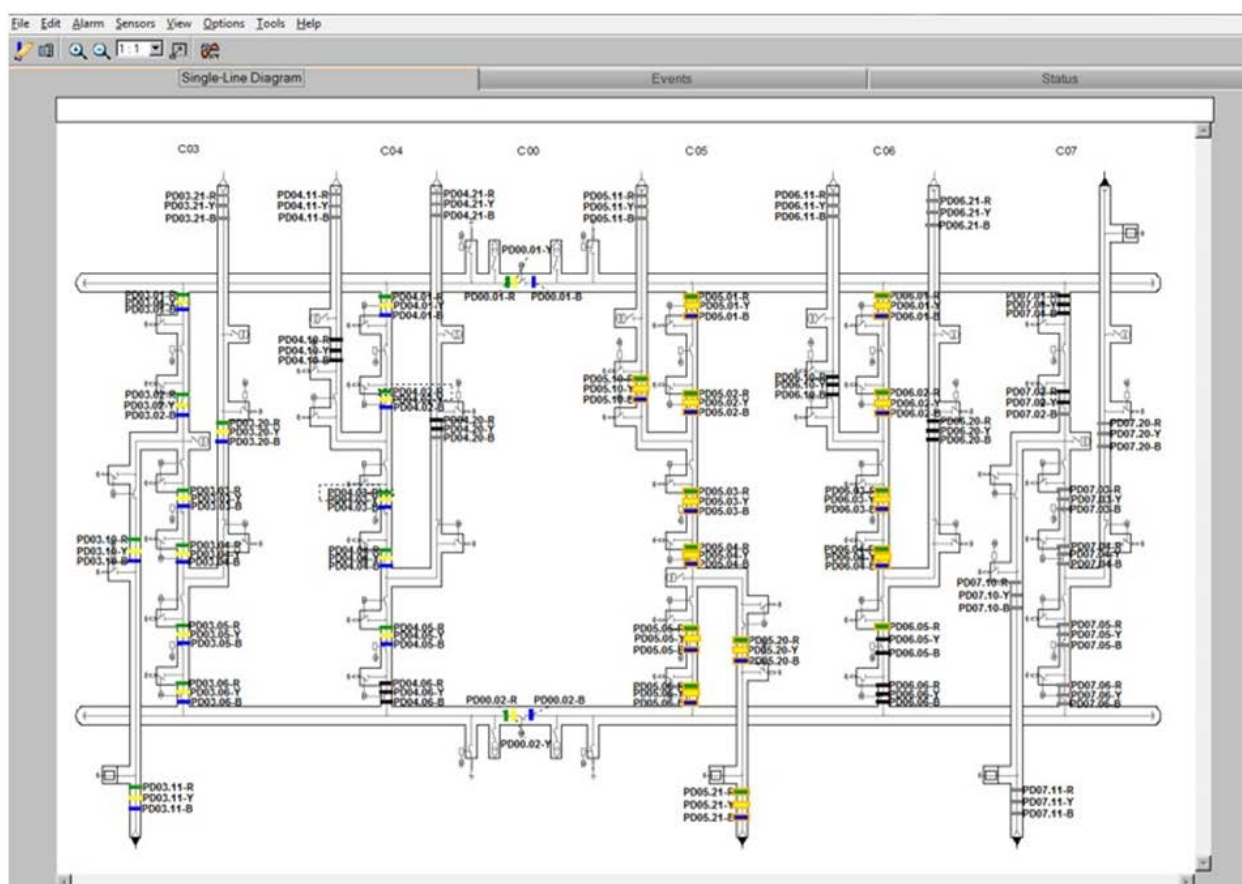
- parametrizace,
- uvedení do provozu a provozní zkoušky,

- automatické vyhodnocení dat vůči nastaveným mezním hodnotám,
- generování alarmů.

Toto jsou základní, nikoliv veškeré funkce monitorovacího systému jako takového. Řešení může obsahovat například i expertní modul či nadstavbové funkce.

6.1. Celkové zobrazení

Výchozím pohledem by mělo být přehledové schéma včetně pozice jednotlivých čidel a jejich stavu, případně aktuálnímu či historickému výskytu výbojové aktivity. Příklad je uveden na obrázku 18.



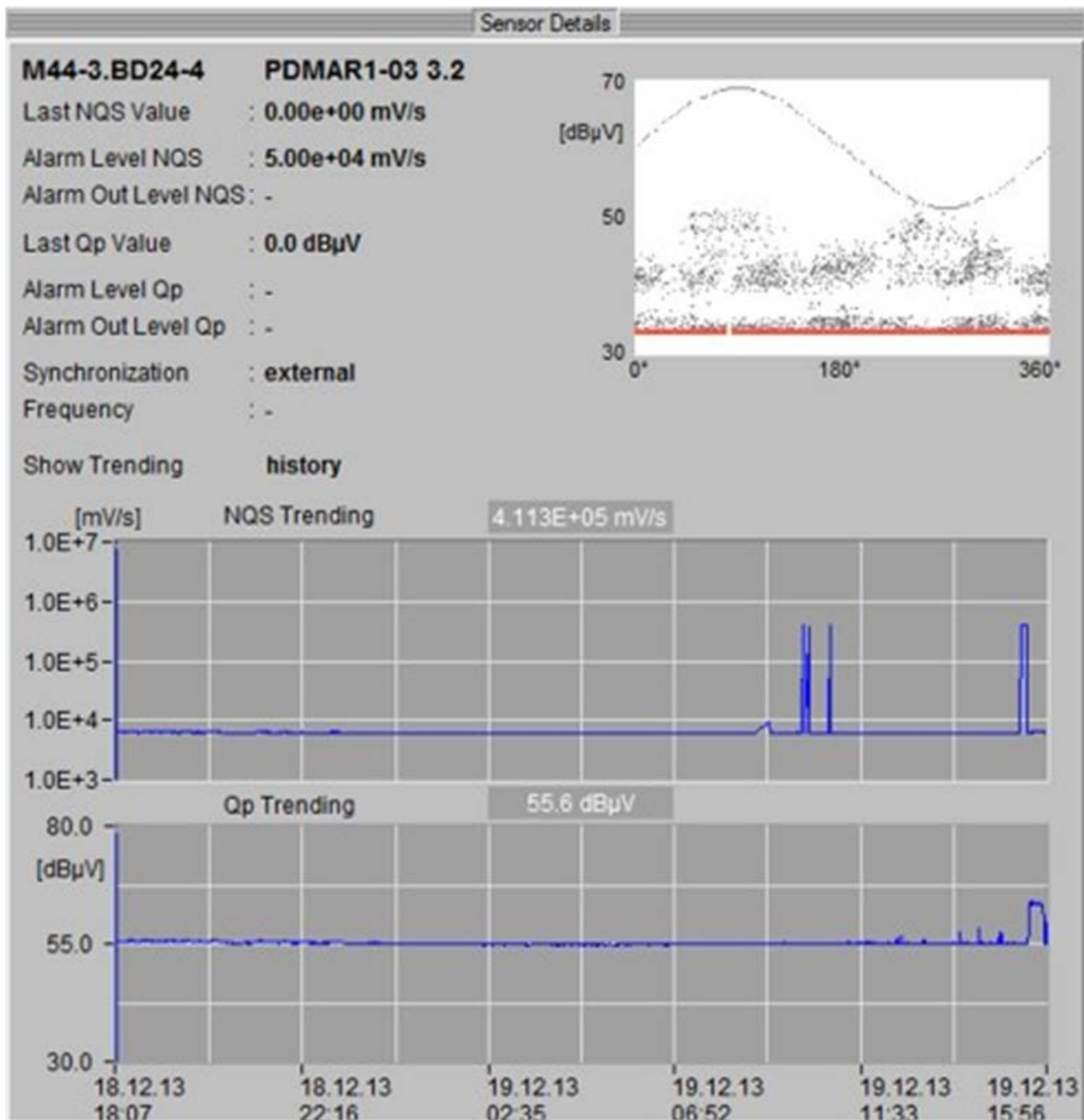
Obr.18 Schematické zobrazení aktivity a rozložení senzorů na GIS

Celkový pohled umožňuje zjištění aktuální aktivity částečných výbojů a určení, kterými senzory a v jaké části / fázi je signál detekován.

6.2 Detailní zobrazení

V případě, že je detekován signál na nějakém ze senzorů, je možno jej detailně analyzovat. Samozřejmě je zobrazit i detail senzorů. Takový detail zahrnuje veškeré události a průběhy v rámci zvoleného časového období, což umožňuje nejen sledování

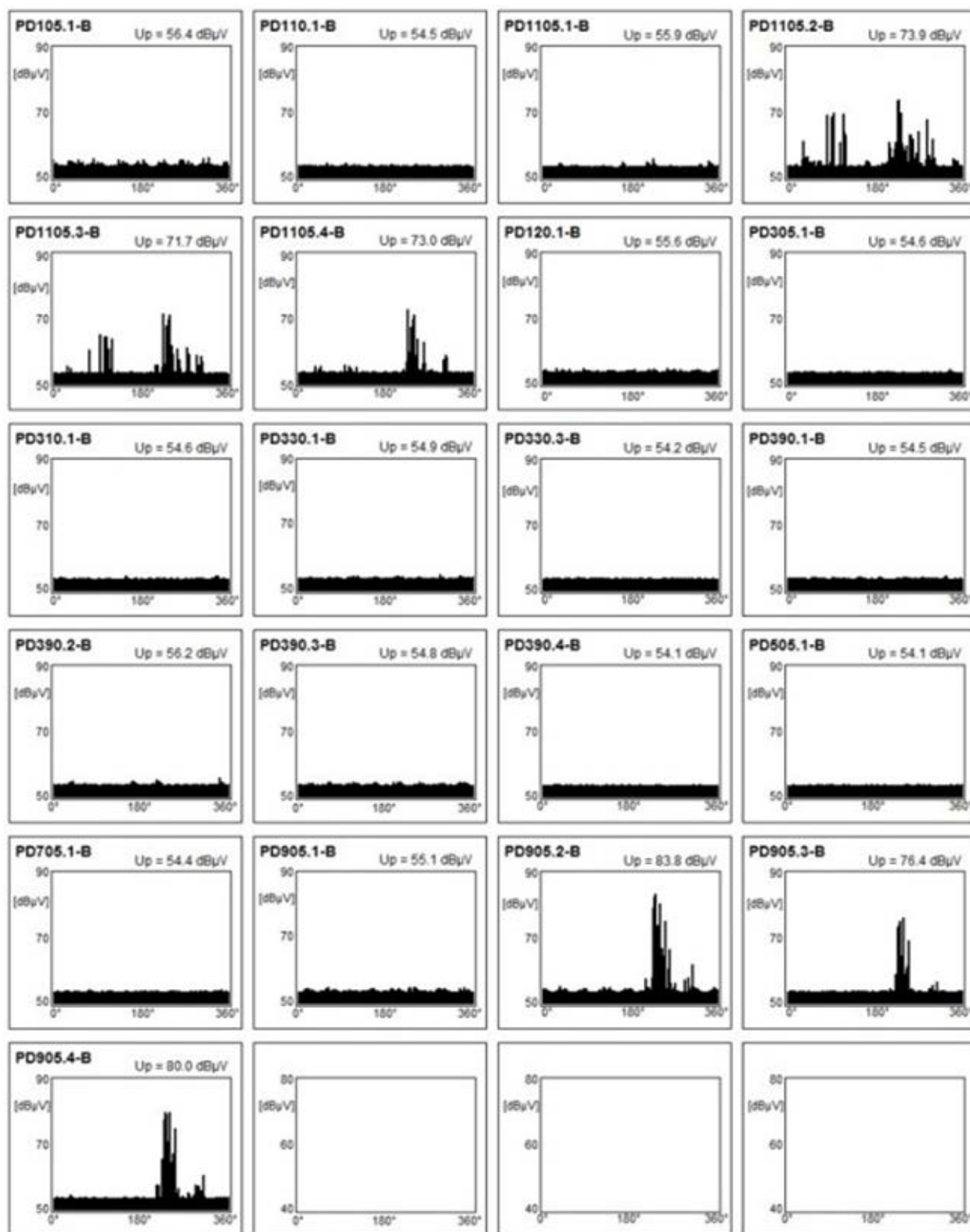
trendů, ale také korelaci s událostmi v rámci rozvodny, konfigurací alarmů či jeho synchronizaci. Ukázka na obrázku 19.



Obr.19 Aktuální a historická data konkrétního měřicího místa

Stejně tak je možno zobrazit i historickou aktivitu spuštění alarmů, fázové rozložení jednotlivých událostí či změny statusu.

Stejně tak může být v některých případech výhodné současné zobrazení vícero kanálů současně. Může jít o situace, kdy je zapotřebí alespoň částečně lokalizovat konkrétní událost, vysledovat souvislosti s konkrétními událostmi či sledovat šíření události v Rozvodně. Příklad je uveden na následujícím obrázku 20.



Obr.20 Současné zobrazení vícero kanálů

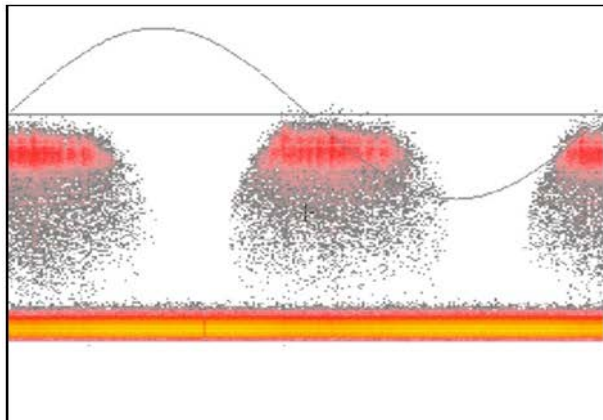
Tato funkce může být využita i při zkoušce citlivosti, jak bylo uvedené výše, ať již v rámci uvádění do provozu, tak v rámci kontrol definovaných ŘPÚ.

7 Analýza dat

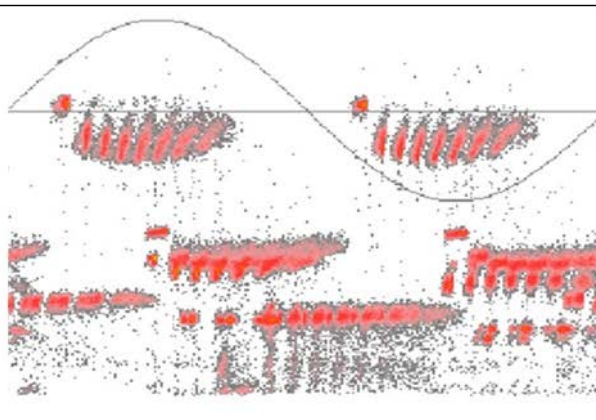
Jednou z vlastností by měla být i následná analýza dat. Pomocí ní je možno signál nejenom lokalizovat, ale též učit jeho druh a pokusit se stanovit možnou příčinu jevu. Typické příklady jsou uvedeny v následujících kapitolách.

7.1 Volné a plovoucí prvky

Typický příklad je uveden na obrázcích 21 a 22.



Obr.21 Mechanická odezva



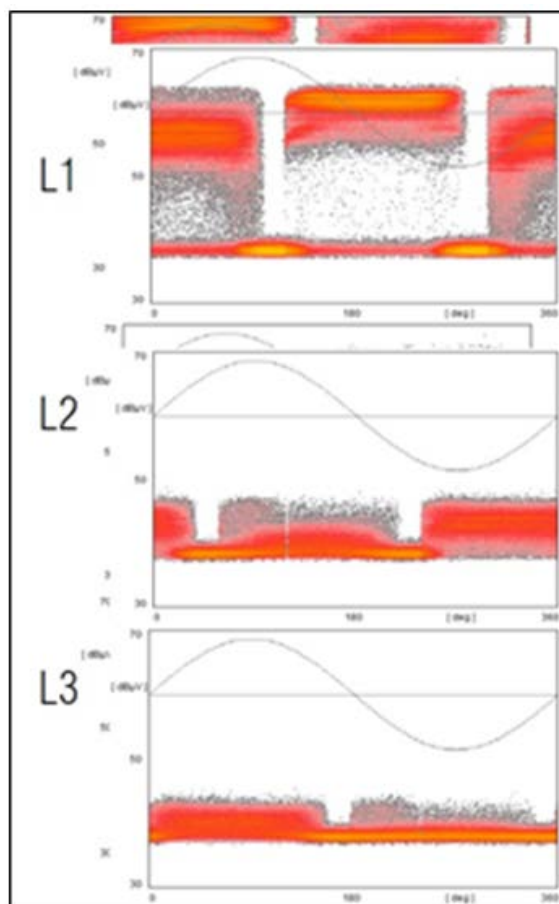
Obr.22 Plovoucí prvek

Na obrázku 21 můžeme vidět odezvu nesprávně mechanicky upevněných prvků. Jedná se o akustický, nikoliv elektrický signál. Obvykle se jedná o jev s frekvencí 100 Hz, který se typicky v dané fázi objevuje v oblasti průchodu napětí 0. Jak již bylo řečeno, jedná se o závadu mechanickou, nikoliv dielektrickou.

Na obrázku 22 je možno vidět jev s obdobnou frekvencí, ale výrazně odlišným fázovým rozložením signálů, obvykle svázaných s amplitudou napětí v dané fázi. Jev je způsoben výbojem v mezeře mezi elektrodou a plovoucím prvkem vedoucí k výbojové aktivitě.

Tyto příklady jsou ukázkou důležitosti zobrazení vztahu vůči amplitudě a následnému rozlišení příčiny. Podmínkou je správná lokalizace postižené fáze.

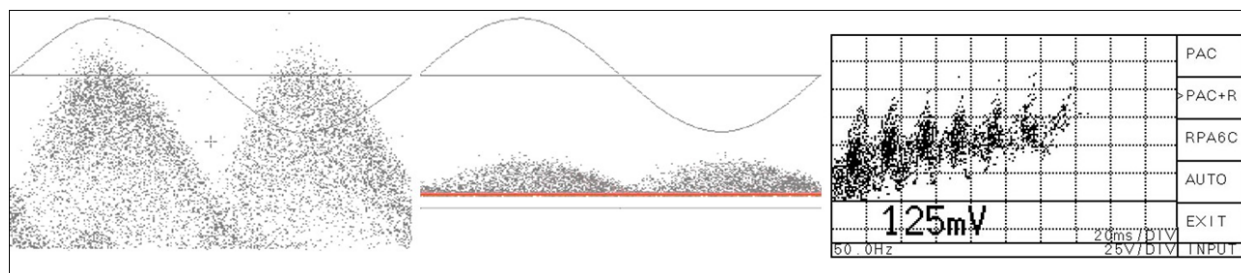
Na obrázku 23 můžeme vidět příklad lokalizace postižené fáze. I když je signál rozlišitelný ve všech třech fázích, jeho zdrojem je jednoznačně L1. Také z tohoto důvodu je doporučeno identické rozmístění snímačů ve všech třech fázích.



Obr.23 Lokalizace místa

7.2 Volné částice

Dalším jevem, se kterým se můžeme setkat v rámci GIS jsou volné částice. Typické průběhy můžeme vidět na obrázcích 24, 25 a 26.

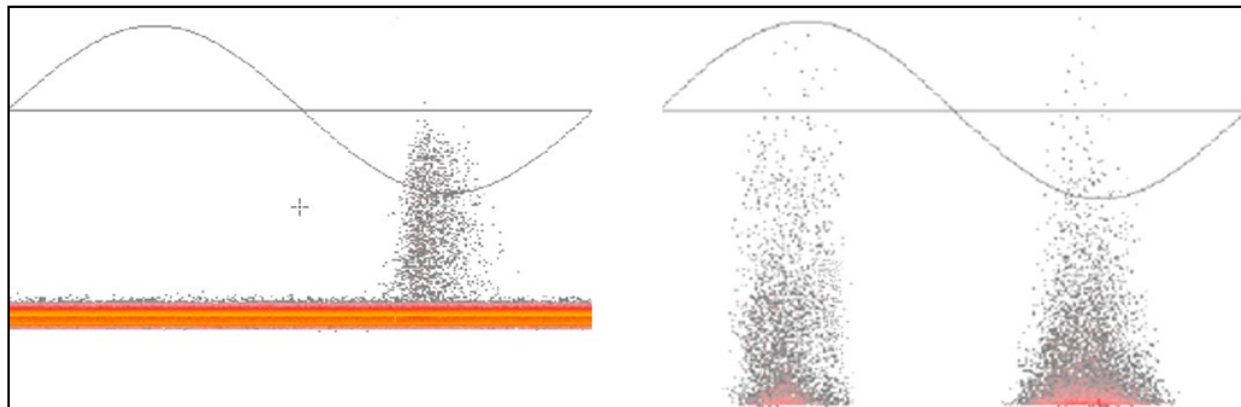


Obr.24, 25 a 26 Typická odezva volných částic v GIS

Volné částice se obvykle do GIS dostanou v rámci montáže (respektive tam po montáži zůstanou). Do pohybu jsou uvedeny polem a následně způsobují výboje při přiblížení k vodiči anebo naopak k izolátorů. Jejich projev je vázán vždy na aktuální velikost pole - proto při nižších napětích nemusí mít žádný projev. Mezi jejich vlastnosti můžeme i počítat jejich možnou časovou nestálost - průběhem doby mohou zmizet

7.3 Výčnělky a hrany

Mezi další příčiny způsobující výbojovou aktivitu můžeme počítat přítomnost výčnělků, hran, či hrotů, jako je na obrázku 27.



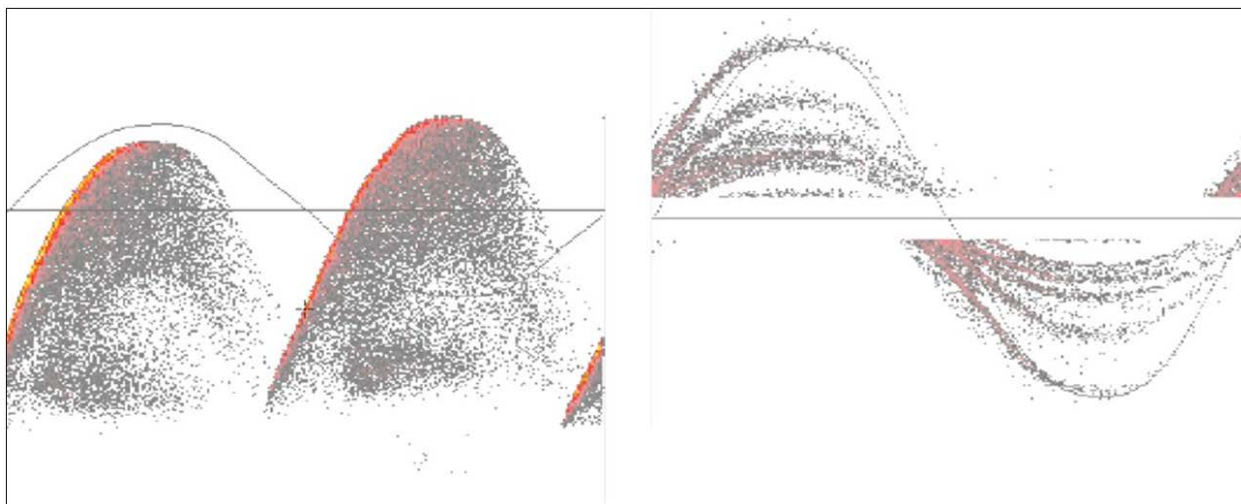
Obr.27 Fázově rozložená odezva výčnělků či hran

Taková odezva je obvykle detekována již při FAT testech a příčina následně odstraněna. Nelze tedy konstatovat, že by se jednalo o typický „provozní“ jev, nicméně nelze to vyloučit. Příčinou bývá lokální mechanické poškození při montáži či její nedostatečná úroveň. Jsou charakterizovány jednou, nebo dvěma poměrně úzkými oblastmi. Podle toho, zda se odezva vyskytuje pouze v záporné půlperiodě, nebo v obou rozlišujeme, zda se jedná o problém způsobený na straně potenciálu nebo izolátoru. Tvar rozložení se může s průběhem času měnit v závislosti na tom, jak se výbojovou aktivitou mění povrch v místě vzniku.

7.4 Dutinky

Posledním z popisovaných jevů je výskyt dutinek v izolátorech či oddělovacích prvcích. Fázové rozložení se odlišuje od předchozích jevů, jak je možno vidět na obrázku číslo 28.

Můžeme vidět průběh s charakteristickou náběžnou hranou. Vyplněnost plochy výboji závisí na tvaru dutinky a intenzitě výboje. Podmínkou vzniku je dostatek startovacích elektronů. Tak jako bylo uvedeno v případě výčnělků a hran (že jsou obvykle detekovány v rámci FAT), tak dutinky je velmi obtížné v rámci akceptačních zkoušek odhalit metodou částečných výbojů. Pokud se je výrobci snaží odhalit, tak obvykle pomocí metod založených na RTG. Problematika dutinek je jednoznačně svázána s postupnou degradací izolačních prvků.



Obr.28 Fázově rozložená odezva dutinek

8 Závěr

Tento materiál neměl ambici být detailním popisem monitoring GIS, či manuálem k jeho použití či interpretaci výstupů. Hlavním cílem bylo tuto problematiku nastínit a přiblížit.

Monitoring jako takový má nezastupitelnou úlohu v rámci asset managementu a zajišťování spolehlivosti provozu. Stejně tak je díky monitoringu možno bezpečně využít zbytkovou životnost monitorovaných prvků.

Autoři jsou si vědomi rozsáhlosti této problematiky, v případě potřeby rádi zkonzultují Vaše požadavky na upřesnění či aplikaci.

Literatura:

- [1] CIGRE, brochure 513, Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment, Part 5
- [2] CIGRE, TBA 654, UHF partial discharges detection systems for GIS: Application guide for sensitivity verification

KVANTITATIVNÍ TERMOGRAFIE JEVŮ S VELKOU DYNAMIKOU

QUANTITATIVE THERMOGRAPHY OF HIGH DYNAMIC PHENOMENAS

Václav STRAKA, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ¹

Jiří SVOBODA, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ²

David KUBOŠ, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ³

Pavel PETRÁŇ, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ⁴

Mikoláš CHOURA, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ⁵

Pavel ZÍTEK, "TMV SS" spol. s r.o., Praha ⁶

Anotace:

Jak v rámci aplikací spadajících do oblasti prediktivní údržby, tak vědeckovýzkumných aplikací, se vyskytují scénáře zahrnující jevy s velkou dynamikou. Tato dynamika může být chápána jako velké změny teplot objektu v krátké časovém úseku. Příspěvek je věnován právě těmto dynamickým jevům a problematice kvantifikace zdánlivých teplot.

Annotation:

Both predictive maintenance and scientific research applications involve scenarios covering high dynamic phenomenas. These dynamics can be understood as large changes in the temperature of an object in a short period of time. The paper is devoted to these dynamic phenomena and the issue of quantification of apparent temperatures.

1 Úvod

V oblasti kvantitativní termografie bývají jako klíčové parametry pro korektní výpočet zdánlivých teplot zmiňovány správná kalibrace kamery, vhodná optika s dostatečným IFOV či MFOV, korektní nastavení parametrů objektu (emisivita) či okolních vlivů jako je odražená zdánlivá teplota, parametry atmosféry společně se vzdáleností, případně korektní zaostření. Velmi často však bývají opomíjeny další konstrukční vlastnosti termokamery a detektoru. Současně často nebývá brán v potaz vlastní charakter experimentu, zejména jeho dynamika. Existují experimenty, kdy je zapotřebí analyzovat nikoliv jeden statický termogram, ale sekvenci zobrazující jev s vývojem, který může být

¹ Ing. Václav Straka, CTD

"TMV SS" spol. s r.o.

Studánková 395, 149 00 Praha 4 - Újezd

tel.: +420 272 942 720, fax: +420 272 942 722, e-mail: vaclav.straka@tmvss.cz, <https://www.tmvss.cz/>

² Ing. Jiří Svoboda, CTD

e-mail: jiri.svoboda@tmvss.cz

³ Ing. David Kuboš, CTD

e-mail: david.kubos@tmvss.cz

⁴ Pavel Petrání, CTD

e-mail: pavel.petrani@tmvss.cz

⁵ Bc. Mikoláš Choura, CTD

e-mail: mikolas.choura@tmvss.cz

⁶ Pavel Zítek, CTD

e-mail: pavel.zitek@tmvss.cz

buď rychlý, nebo s velkým rozsahem zdánlivých teplot. Na toto téma je zaměřen následující materiál.

Dynamiku experimentu můžeme chápat následovně:

- a) dynamika rozsahu zdánlivých teplot objektu,
- b) dynamika rozsahu zdánlivých teplot přesahující nastavení optické soustavy,
- c) velmi krátké časové konstanty teplotních jevů.

2 Dynamika rozsahu zdánlivých teplot objektu

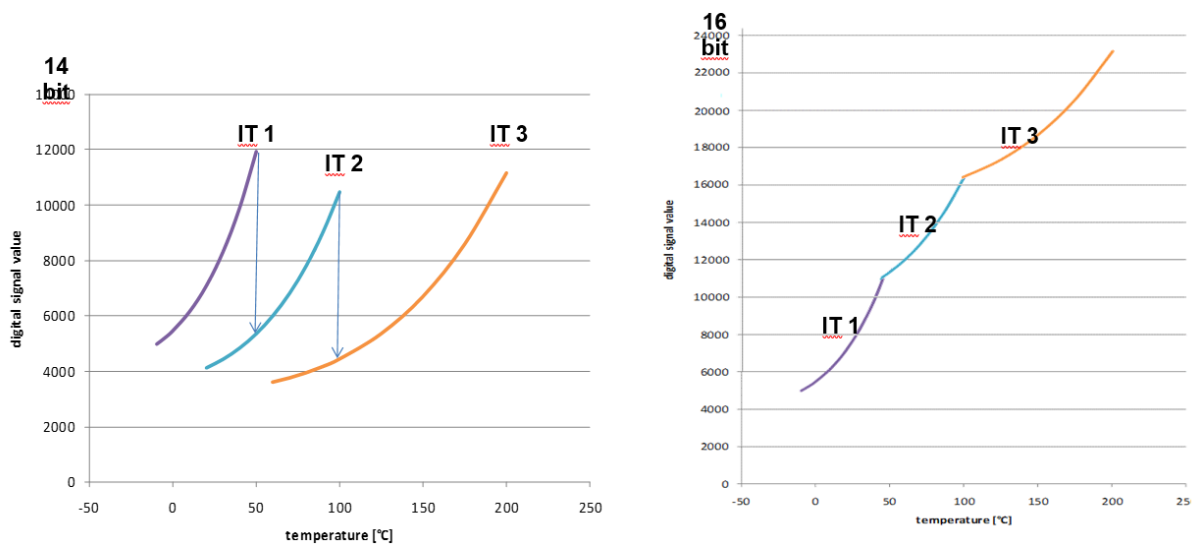
Standardně před započítím vlastního experimentu (předpokládejme že uživatel zvolí termokameru s vhodnými optickými parametry a s rozsahem kvantifikovatelných zdánlivých teplot s rozsahem alespoň pokrývajícím zdánlivé teploty předpokládané při experimentu) je zapotřebí na termokameře zvolit vhodný teplotní rozsah. Pokud pomineme termokamery s jediným teplotním rozsahem, obvykle volíme rozsah vhodně pokrývajícím experiment.

Pro aplikace v oblasti prediktivní údržby bývají používány nejčastěji termokamery s mikrobolometrickým detektorem, u nichž jsou běžné rozsahy vypočítávaných teplot v současnosti mezi -30 až +2.000 °C, někdy i s rozsahem větším. U nich zpravidla volba vyššího teplotního rozsahu (obvykle zdánlivé teploty nad 600 ÷ 8.000 °C) je doplněna implementací optického prvku (štěrbina, šedý filtr) limitujícím intenzitu radiačního toku dopadajícího na detektor. Pokud by tento optický prvek mezi sledovaný objekt nebyl zařazen, došlo by k přesaturování detektoru radiačním tokem emitovaným objektem společně s významným rizikem jeho poškození či zkrácení životnosti. Tento optický prvek může být interní nebo ve formě předsádky. Obecně lze říci, že obsluha termokamery musí ve velké části případů zvolit teplotní rozsah a následně pracovat v rámci zvoleného teplotního rozsahu. Pokud je termokamera vybavena automatickým přepínáním a aplikací optického prvku, tak časová prodleva přepnutí je v řádech jednotek sekund, což může narušit například sledování vývoje zdánlivých teplot objektu.

Obdobná situace týkající se šedých filtrů či štěrbin platí i u termokamer vybavených kvantovými detektory (někdy nazývanými „chlazené“). I tam se tyto prvky používají pro zeslabení radiačního toku, stejně tak se volí vhodný rozsah zdánlivých teplot. Nicméně zásadní rozdíl tkví ve schopnosti kvantových detektorů být řízeny z hlediska integračního času. Pokud tedy provádíme experiment, kde scéna má velký rozsah teplot, nicméně nemá až tak rychlý vývoj z hlediska časové osy, je možnost využít složení jednotlivých kalibračních křivek do jedné společné a tím vytvořit křivku přesahující jeden kalibrovaný rozsah s příslušným integračním časem.

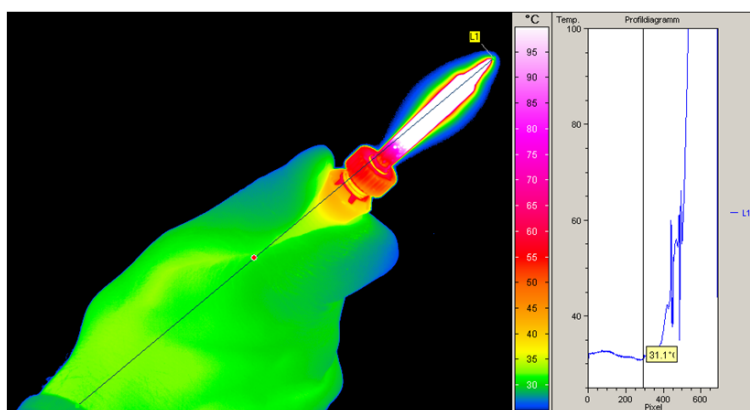
Podmínkou jsou následující omezení:

- součet integračních časů nesmí být roven nebo větší než čas odpovídající zvolené záznamové frekvenci $f = 1/t$,
- jednotlivé kalibrační křivky by měly mít vzájemné přesahy,
- výsledná kalibrační křivka musí respektovat uspořádání optické cesty z hlediska štěrbin nebo šedých filtrů, tzn. musí být použit pouze jedno uspořádání.

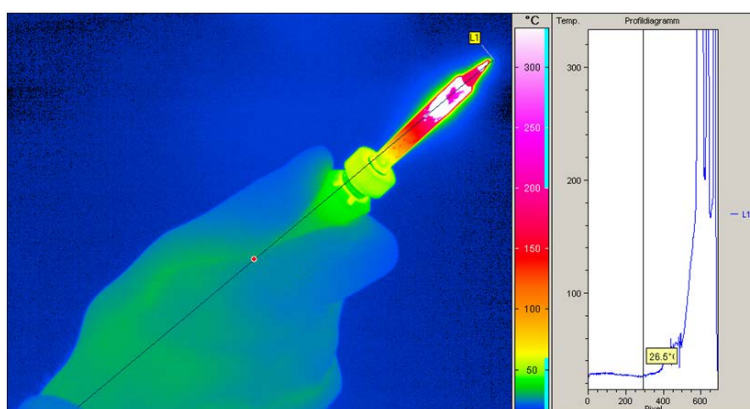


Obr.1 Vytvoření složené kalibrační křivky

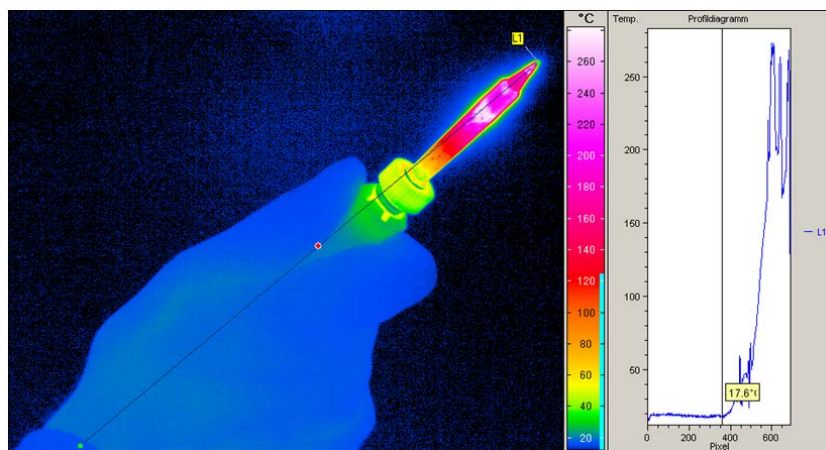
Následně jsou pořízeny jednotlivé termogramy pro dané úseky kalibrační křivky:



Obr.2 Integrační čas 500 μ s, rozsah 20 ... 100 °C

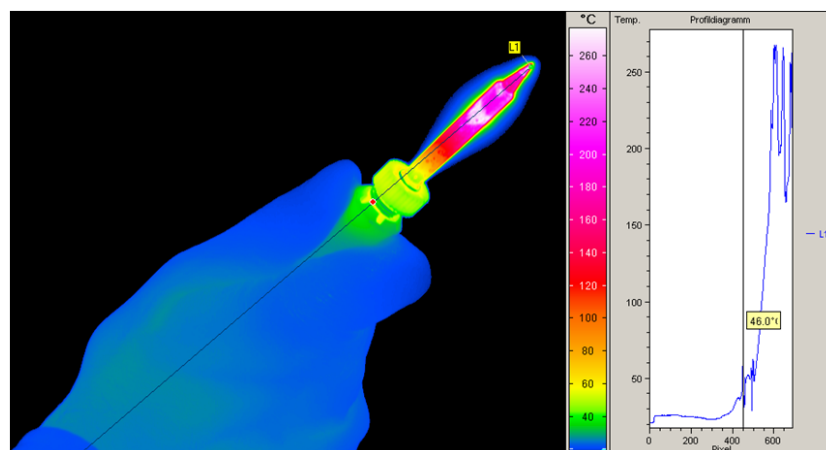


Obr.3 Integrační čas 100 μ s, rozsah 60 ... 200 °C



Obr.4 Integrační čas 30 μ s, rozsah 120 ... 300 °C

Na jednotlivých termogramech je možno pozorovat oblasti, které jsou přesaturovány, nebo naopak vykazují známky šumu způsobené krátkým integračním časem. Nicméně následným složením termogramů lze získat výsledný termogram na obrázku 5.



Obr.5 Výsledný termogram

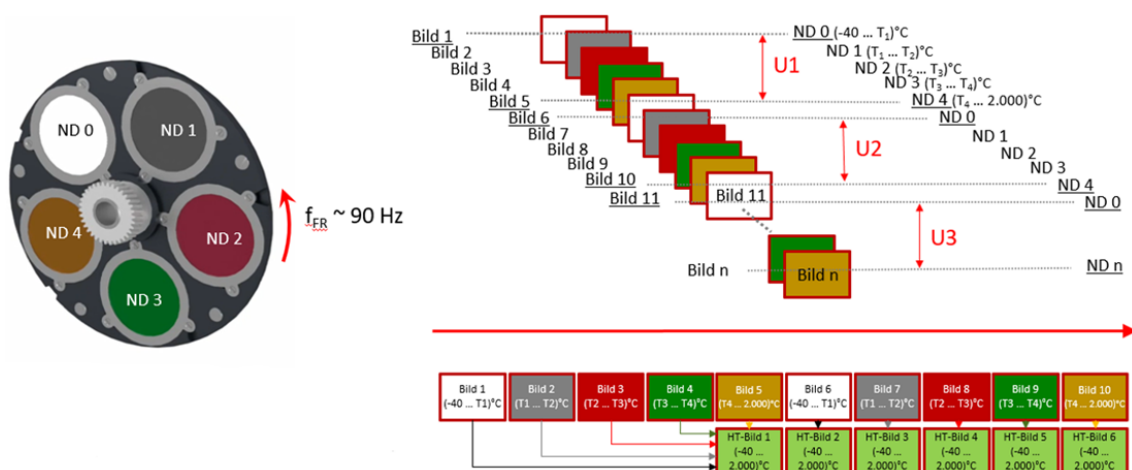
Tento termogram je korektně saturován ve všech svých částech a je možno jej korektně analyzovat jak v oblastech nižších, tak vyšších zdánlivých teplot. Zatímco jednotlivé termogramy měly 14 bitovou hloubku, výsledný termogram složený ze třech těchto termogramů má bitovou hloubku 16 bit. Toto je excelentní způsob, jak bez ztráty rozlišení pro okrajové teploty, získat termogramy vhodné pro pokročilou analýzu u scén s velkým rozsahem teplot. Jedná se o plnohodnotný termogram, nikoliv jen „obrázek“.

3 Dynamika rozsahu zdánlivých teplot přesahující nastavení optické soustavy

V praxi se vše můžeme setkat s experimenty obzvláště velkých teplotních rozsahů v rámci jedné scény, případně scéna má velmi dynamický teplotní vývoj přesahující konkrétní uspořádání optické osy (šedé filtry, štěrby).

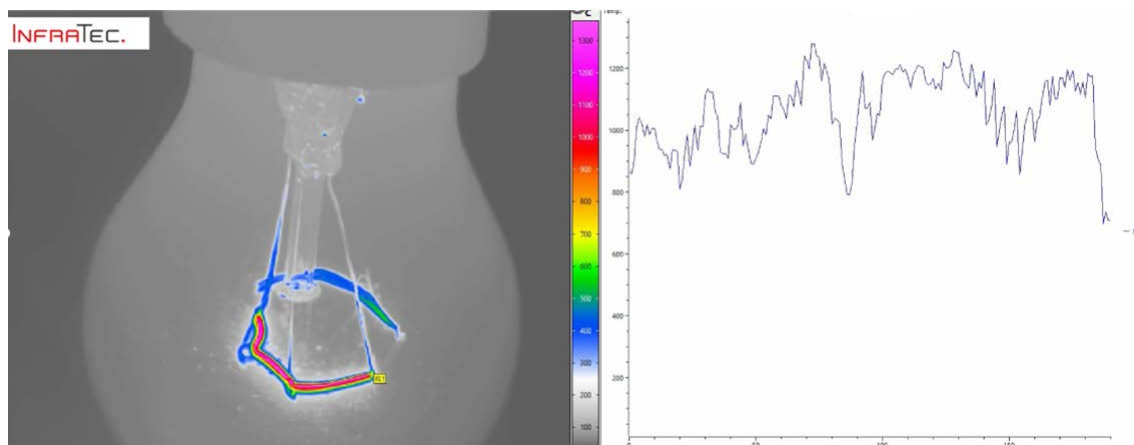
Oproti kapitole 2 v tomto případě rozsah scény není v jednotlivých stovkách °C, ale je možno dosáhnout rozsahu až v jednotkách tisíc °C. Autoři mají osobně odzkoušen rozsah cca 2.000 °C, nicméně je možné toto činit prakticky v celém kalibrovaném rozsahu termokamery, který u kamer s kvantovým detektorem může být standardně až 3.000 °C.

Také v tomto případě je vytvořena složená kalibrační křivka jako v kapitole 2, avšak s rozdílem - není zde omezení týkající se jediné pozice štěrbin nebo filtrů. Tyto prvky jsou instalovány do rotujícího karuselu a jeho pohyb je synchronizován se snímkováním detektorem. Obecně snímkovací frekvence může být i nadále ve stovkách Hz pro plné rozlišení („full frame“). Následně je použita tato složená křivka a termokamera automaticky synchronizuje rotaci karuselu se snímkováním. Princip je zobrazen na obrázku 6.



Obr.6 Schéma posunu teplotních filtrů

Výsledný termogram je opět složen (s příslušným navýšením bitové hloubky výsledného termogramu). Výsledek je možno vidět na obrázku 7.



Obr.7 Výsledný termogram (v rámci prezentace bude jako video)

V tomto případě bylo úlohou měření teplotní dynamiky vlákna žárovky při zapnutí a následném vypnutí. Optická cesta byla doplněna o spektrální filtr určený pro měření skrz sklo. V tomto případě byl použit „bandpass“ filtr 3,4 μ m. uvedená scéna měla rozsah zdánlivých teplot v rozsahu 20 ÷ 1.350 °C a byla zaznamenána snímkovací frekvencí cca 300 Hz full frame.

Využití rychlých karuselů osazených filtry tedy umožňuje kvantifikaci jevů s velkým rozsahem teplot. Nicméně tento přístup je aktuálně možný pouze u malé skupiny termokamer s kvantovými detektory. Použití tohoto principu u kamer s mikrobolometrickými detektory není autorům známo.

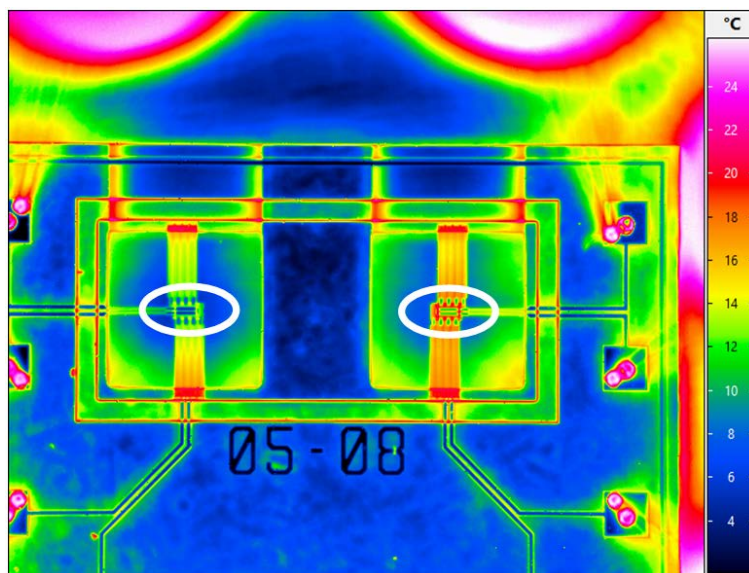
4 Velmi krátké časové konstanty teplotních jevů

V potaz je nutno vzít i jevy s velmi krátkou časovou konstantou. Můžeme si je představit jako velmi krátké pulzy, jevy s velkou strmostí, či jevy které jsou díky mechanickému uspořádání soustavy viditelné (a kvantifikovatelné) jen krátce. Při těchto experimentech je zapotřebí být obeznámen s funkčními principy termokamer.

Jako demonstrační objekt by zvolen MEMS obsahující 2 topná tělíska. Základní parametry objektu jsou:

- velikost 150 x 75 μm se vzdáleností cca 1,2 mm,
- elektrický odpor cca 1 k Ω ,
- tepelná časová konstanta 5 ms (66% max teplotní difference),
- příkon 5 mW,
- oteplení cca 70 K oproti okolní teplotě.

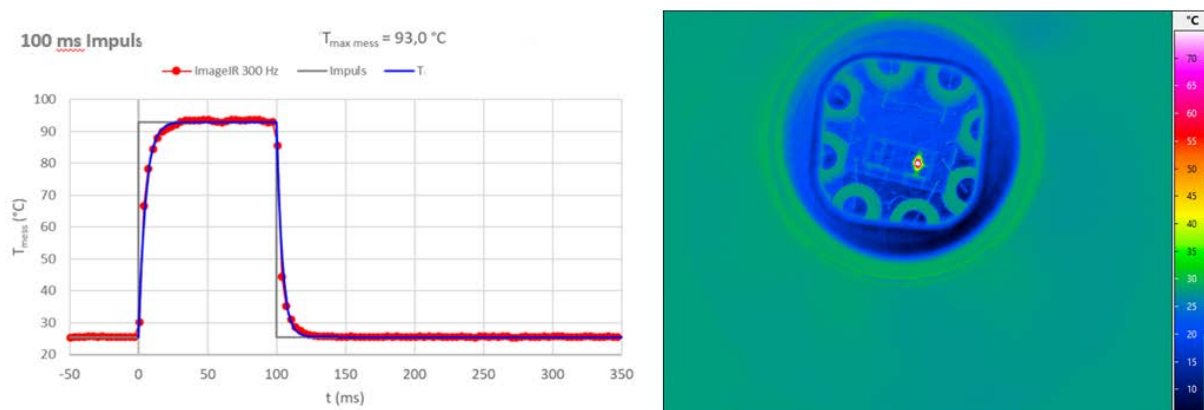
Tento objekt byl zvolen s ohledem na malou tepelnou kapacitu a rychlost odezvy umožňující pracovat s krátkými pulzy



Obr.8 Pokusný objekt - MEMS

Objekt umožňoval kontaktní měření teploty, které bylo použito v rámci experimentů po porovnání se zdánlivými teplotami vypočtenými termokamerou či obslužným SW.

Chování objektu bylo ověřen pulzem o délce 100 ms, v rámci kterého byla zaznamenána kontaktně změřená teplota a zaznamenány vypočtené zdánlivé teploty. Současně byla ověřena časová konstanta prvku.



Obr.9 Ověření chování pokusného objektu

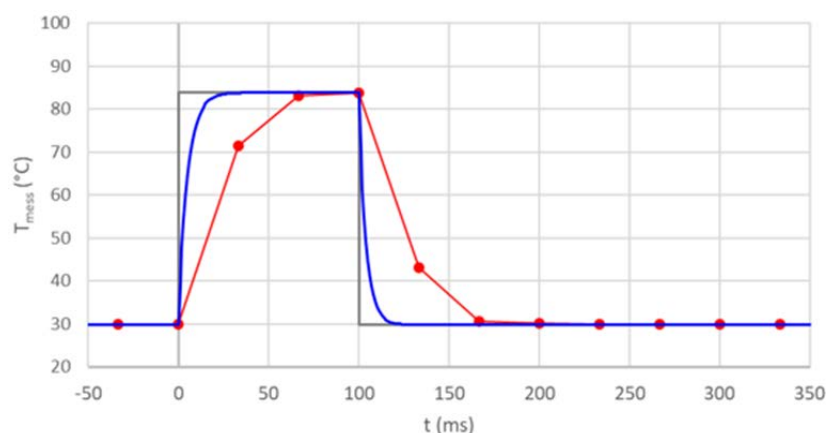
Legenda: šedivá - excitační pulz, modrá - kontaktně změřená teplota, červená - vypočtená zdánlivá teplota - termokamera

Použitá termokamera:

- MWIR 640*512 px,
- FOV 17*14 mm, pracovní vzdálenost 65 mm,
- IFOV 28 μm , MFOV 84 μm ,
- záznamová frekvence 1.200 Hz.

4.1 Ověření chování - mikrobolometrický detektor

Pokud bychom ponechali délku excitačního pulzu na 100ms, výsledek by vypadal následovně:



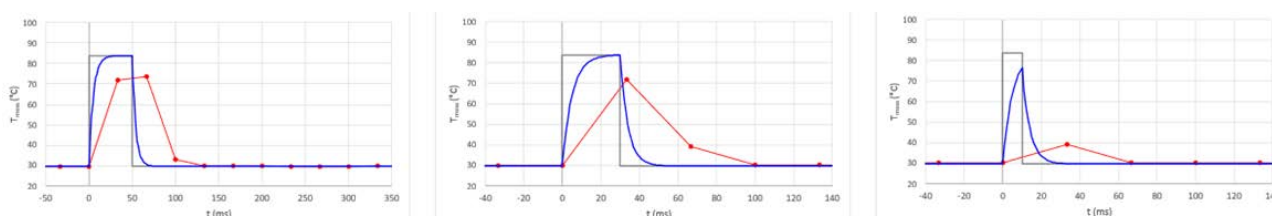
Obr.10 Vypočtené zdánlivé teploty, μB detektor, legenda jako na obr.9

Použitá termokamera:

- LWIR 1024*768 px,
- záznamová frekvence 30 Hz,
- termokamera jako „Master“ pro trigovací pulz využitý pro spuštění excitace.

Na záznamu je možno pozorovat jednoznačný vliv časové konstanty mikrobolometru a jeho chování, kdy se začíná přibližovat skutečné teplotě objektu v čase cca 70 ms, stabilní hodnota je dosažena v čase 100 ms. Shoda změřené a vypočtené zdánlivé teploty v čase 100 ms potvrzuje dostatečné MFOV termokamery. Obecně se dá říci, že kamera s mikrobolometrickým detektorem začne vypočítávat realistické zdánlivé teploty v čase odpovídající $8 \div 10$ násobku své vlastní časové konstanty. Tato hodnota je závislá na skutečné časové konstantě. (v tomto případě byl použit detektor, který byl ještě v polovině roku 2025 považován za absolutní špičku ve své kategorii).

Pokud bychom zkrátili délku časového pulzu, výsledek by vypadal následovně:



Obr.11 μ B, vypočtené zdánlivé teploty při různých délkách pulzu

Legenda: šedivá - excitační pulz, modrá - kontaktně změřená teplota, červená - vypočtená zdánlivá teplota - termokamera s μ B detektorem

Pokud bychom shrnuli v tabulkové podobě:

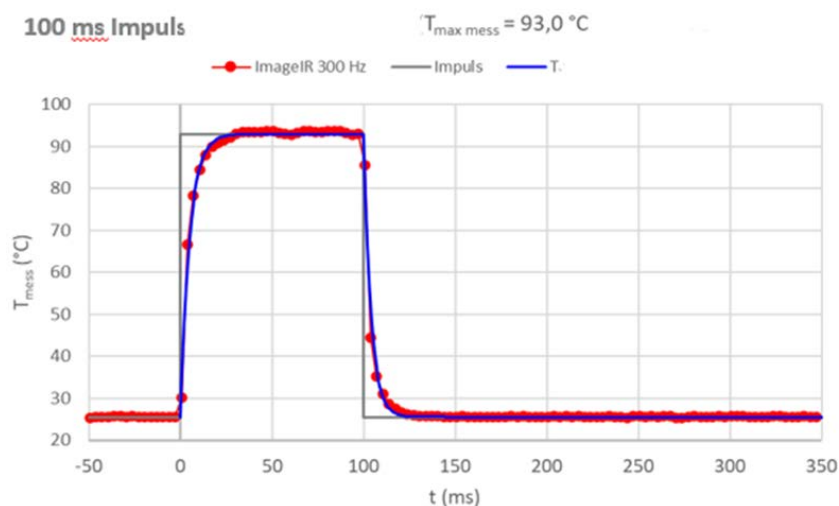
Tab.1 Porovnání změřených a vypočtených zdánlivých teplot při různé délce pulzu

délka pulzu [ms]	změřená T [°C]	vypočtená max. T [°C]	ΔT [°C]
50	83,8	73,6	10,2
30	83,7	71,8	11,9
10	76,5	39,1	37,4

Z měření jednoznačně vyplývá nedostatečnost kamer s mikrobolometrickými detektory pro kvantifikaci jevů s krátkými časovými konstantami.

4.2 Ověření chování - kvantový detektor („chlazená termokamera“)

Pro porovnání chování použijeme identický demonstrační objekt:

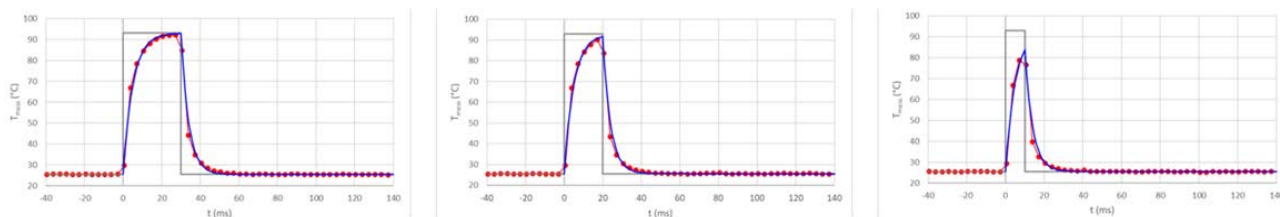


Obr.12 Ověření chování pokusného objektu

Použitá termokamera:

- MWIR 640*512 px,
- FOV 17*14 mm, pracovní vzdálenost 65 mm,
- IFOV 28 μm , MFOV 84 μm ,
- Záznamová frekvence 300 Hz (na obr.12 $f = 1.200 \text{ Hz}$).

Pokud bychom zkrátili délku časového pulzu, výsledek by vypadal následovně:



Obr.13 Kvantový detektor, vypočtené zdánlivé teploty při různých délkách pulzu

Legenda: šedivá - excitační pulz, modrá - kontaktně změřená teplota, červená - vypočtená zdánlivá teplota - termokamera s kvantovým detektorem

Pokud bychom shrnuli v tabulkové podobě:

Tab.2 Porovnání změřených a vypočtených zdánlivých teplot při různé délce pulzu

délka pulzu [ms]	změřená T [°C]	vypočtená max. T [°C]	ΔT [°C]
30	92,0	92,0	0,0
20	91,1	90,1	1,0
10	83,8	78,7	5,1

Třebaže je možno identifikovat rozdíly mezi zdánlivými vypočtenými teplotami a teplotami měřenými, z obrázků vyplývá, že to je způsobeno časovou konstantou prvku a nesynchronním záznamem, který by vzorkoval na hranách excitačního pulzu. Jednotlivé body se téměř ideálně shodují s průběhem kontaktně měřené teploty.

Lze oprávněně konstatovat, že pokud je objektem zájmu jev s krátkými časovými konstantami či velmi strmými směnicemi teplot, jediným vhodným řešením je termokamera s kvantovým detektorem a případnou synchronizací s excitačním pulzem.

5 Závěr

Cílem materiálu bylo poukázat na nutnost znalosti chování experimentů současně s funkčními principy jednotlivých druhů termokamer a detektorů. Přesto že jsou kamery s mikrobolometrickými detektory velmi vyspělé a produkují poměrně kvalitní termogramy, na jisté typy experimentů nejsou zcela vhodné a mohou produkovat zavádějící výstupy. V materiálu byly popsány tři různé scénáře s popisy možných řešení.

Materiál není míněn jak kritika případných nedostatků termokamer vybavených mikrobolometrickými detektory, ale upozornění na souvislosti mezi některými vlastnostmi termokamer s mikrobolometrickými detektory a potřebami kvantitativní termografie. Při některých aplikacích je potřeba vzít jednoznačně v potaz technologická omezení termokamer s mikrobolometrickými detektory či zvážit využití termokamer vybavených kvantovými detektory a jejich schopností řádově kratších integračních časů, vyšších záznamových frekvencí či možnosti skutečně synchronizovat akvizici dat s externím signálem či jevem.

Tento materiál neměl za cíl komplexní porovnání mezi termokamerami vybavenými mikrobolometrickými a kvantovými detektory. Limitních vlastností je celý souhrn a takový materiál by výrazně přesáhl vymezený rozsah. Cílem bylo upozornit pouze na některé z nich včetně způsobu, jak je eliminovat či se s nimi vyrovnat.

Celý materiál byl koncipován úmyslně naprosto nekomerčně, jednotlivé popisované jevy nejsou spojeny s konkrétními výrobci, případně údaje jsou anonymizovány. Autoři jsou připraveni poskytnout zájemcům bližší informace, či konzultovat dotazy a požadavky vzešlé z tohoto materiálu.

Literatura:

- [1] ČSN EN 16714-3 Nedestruktivní zkoušení - Termografické zkoušení - Část 3: Termíny a definice
- [2] Infratec GmbH, Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden: Manual of infrared camera VarioCAM® HD
- [3] OIML R 141 2008
- [4] Interní materiály "TMV SS" s.r.o.

MODERNÍ PŘÍSTUPY K TECHNICKÉ DIAGNOSTICE S VYUŽITÍM ANALYZÁTORŮ CRYSTAL INSTRUMENTS

MODERN APPROACHES TO TECHNICAL DIAGNOSTICS USING ANALYZERS CRYSTAL INSTRUMENTS

Ondřej SŮSA, SVMTech s.r.o., Praha ¹

Anotace:

Příspěvek představuje možnosti moderní technické diagnostiky s využitím přenosných analyzátorů a systémů Crystal Instruments. Zaměřuje se na pochůzková měření, pokročilé spektrální a časové analýzy, identifikaci poruch, práci s frekvenčními přenosovými funkcemi, řádovou analýzou, demodulací a automatizovaným vyhodnocováním trendů. Součástí je také ukázka softwarových nástrojů EDM a Vibration Diagnosis System, které umožňují efektivní správu dat a podporují prediktivní údržbu.

Annotation:

The presentation discusses modern approaches to technical diagnostics using portable analyzers and measurement systems from Crystal Instruments. It focuses on route-based data collection, advanced spectral and time-domain analyses, fault identification, frequency response measurements, order analysis, demodulation techniques, and automated trend evaluation. The paper also introduces selected functions of the EDM and Vibration Diagnosis System software for efficient data management and predictive maintenance.

1 Úvod

Technická diagnostika je jedním z klíčových pilířů údržby moderních výrobních zařízení. Včasná identifikace poruch, analýza trendů a průběžné monitorování stavu strojů umožňují minimalizovat odstávky, snížit náklady na údržbu a zvýšit celkovou provozní spolehlivost. Pokročilé přenosné analyzátoři, jako je řada CoCo a Spider od společnosti Crystal Instruments, přináší širokou škálu analytických nástrojů přímo do terénu a umožňují rychlou a přesnou evaluaci dynamického chování strojů.

2 Přenosné analyzátoři Crystal Instruments a jejich využití

Řada analyzátorů CoCo, konkrétně modely CoCo-70X, CoCo-80X a CoCo-90X, je navržena pro technickou diagnostiku, pochůzková měření i pokročilé testování. Umožňuje sběr vícekanálových dat, vysoké vzorkovací frekvence (až 102,4 kHz), široký dynamický rozsah 150 dBFS a podporu pro IEPE/ICP senzory včetně čtení TEDS.

¹ Mgr. Ondřej Sůsa

SVMTech s.r.o.

Počernická 96, 108 00 Praha 10

tel.: +420 296 411 900, mobil: +420 601 587 136, e-mail: ondrej.susa@svmtech.cz, <https://svmtech.cz/>

Pro diagnostiku jsou klíčové tyto funkce:

- FFT analýza a autospektrum,
- frekvenční přenosové funkce (FRF) a koherence,
- řádová analýza pro rotační stroje,
- demodulační (obálková) analýza pro detekci ložiskových poruch,
- nízko- i vysokofrekvenční analýzy pro specifické aplikace,
- časový záznam (RAW data) pro dodatečné zpracování.

Přínosem je také možnost vytvářet definované pochůzky (Route Data Collection), které standardizují diagnostické postupy a zvyšují konzistenci měření.



Obr.1 Přenosný analyzátor CoCo 80X

3 Softwarová podpora EDM a Vibration Diagnosis Systém

Crystal Instruments nabízí komplexní softwarové řešení EDM (Engineering Data Management), které slouží nejen k přenosu dat, ale i k jejich pokročilé interpretaci. Modul Vibration Diagnosis System umožňuje hierarchické ukládání dat dle budovy, stroje a měřicího bodu, vytváření trendů, porovnávání historických dat a automatizovanou diagnostiku. Systém podporuje tvorbu pravidel, která dokážou upozornit na odchylky ve frekvenčních pásmech, změny amplitud nebo vzorce typické pro vznikající poruchy. To výrazně zrychluje vyhodnocování a usnadňuje zavádění prediktivní údržby.

4 Výhody moderní diagnostiky v praxi

Použití analyzátorů Crystal Instruments v technické diagnostice přináší:

- vyšší přesnost měření díky širokému dynamickému rozsahu a kvalitnímu A/D převodu,
- rychlejší identifikaci poruch díky pokročilým analytickým nástrojům,
- lepší přehled o historii a vývoji stavu stroje díky automatizovaným trendům,
- flexibilitu terénního měření bez nutnosti složitého nastavení,
- integraci všech dat do jednotného softwarového prostředí umožňujícího efektivní správu a export.

5 Závěr

Moderní technická diagnostika staví na rychlé dostupnosti kvalitních dat, pokročilých analytických metodách a schopnosti efektivně vyhodnocovat trendy. Systémy Crystal Instruments představují komplexní řešení, které umožňuje provádět diagnostiku strojů přímo v terénu i v laboratorních podmínkách. Jejich nasazení vede ke zvýšení spolehlivosti výrobních zařízení a podpoře prediktivní údržby.

A MULTISTAGE STEAM TURBINE SHAFT ALIGNMENT MEASUREMENT USING THE LASER INSTRUMENT AND DIAL GAUGES, INCLUDING THE RESULTS COMPARISON

Anotace:

Annotation:

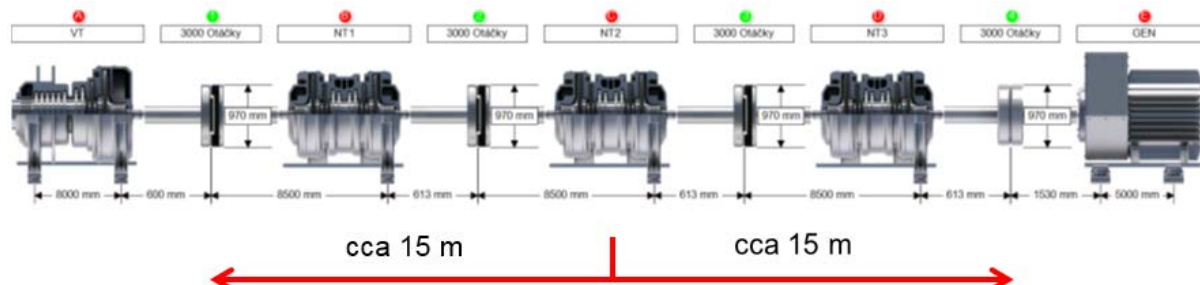
The correct alignment of a big multistage steam turbine is one of the key preconditions of its reliable operation. It is quite common until today to use the dial indicators for the shaft alignment measurement of this type of machines. Hence it is interesting to compare the measurement results obtained in the simultaneous measurements by the dial indicators and the laser instrument on the couplings with the diameter of nearly 1 meter.

1 Úvod

Měření souososti na 4 spojkách:

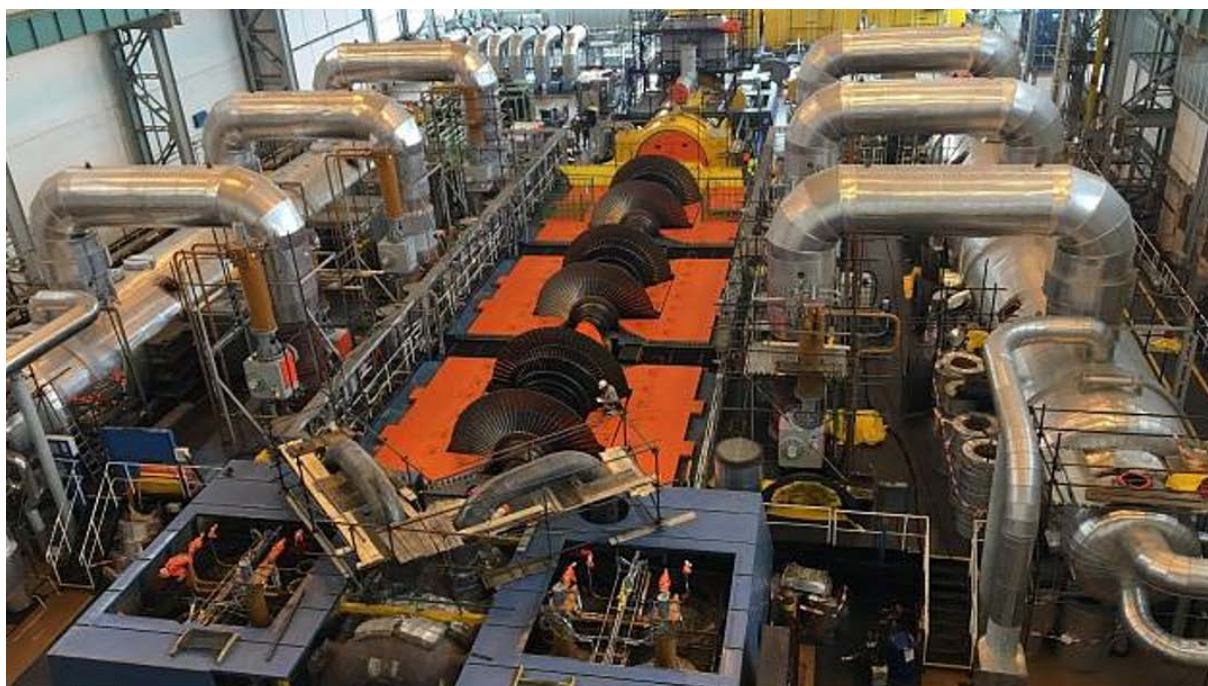
Tvrzení: SOUČASNĚ měření na více spojkách je u běžných strojů vyzkoušené a praktikované.

Úvaha 1: Bude ale SOUČASNĚ měření na více spojkách fungovat také u velmi velkých strojů?



¹ Mgr. Marek Šeremeta, CTD
LAMI KAPPA, spol. s r.o.
Vladislavova 3142, 415 01 Teplice
tel.: +420 417 534 542, mobil: +420 602 624 925, e-mail: marek.seremeta@lamikappa.cz
<http://www.lamikappa.cz/>

Úvaha 2: Bude ale SOUČASNĚ měření na více spojkách fungovat až budou lasery a detektory hluboko v dolní úvrati uvnitř turbíny?

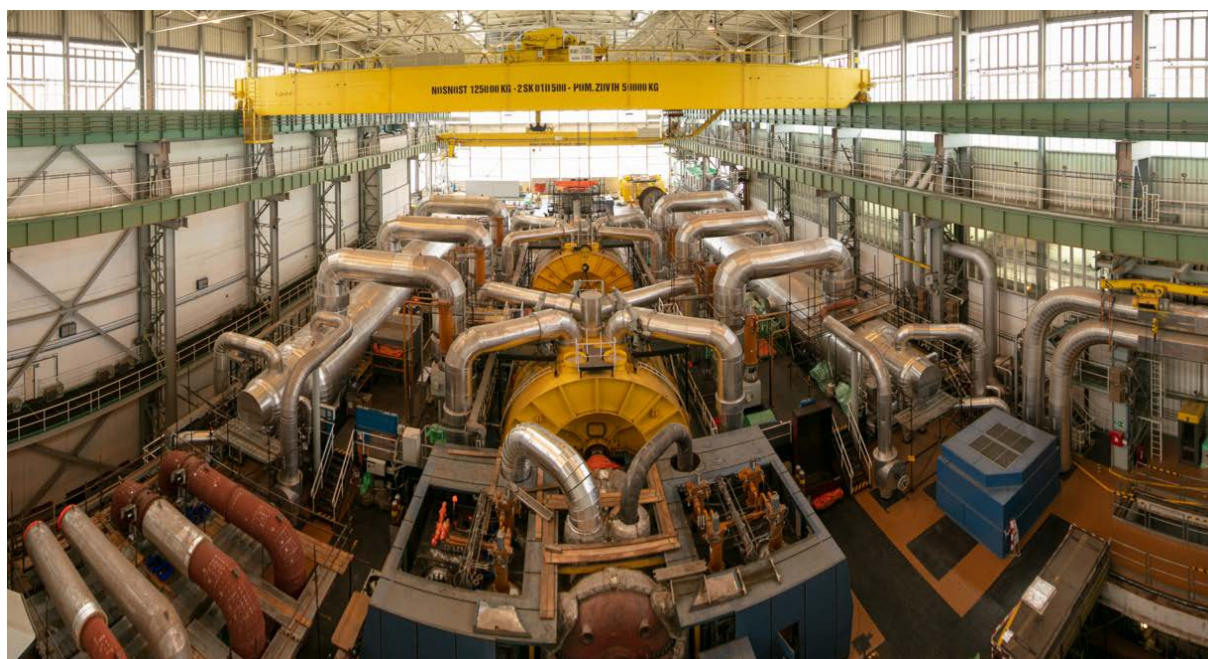


Fakt: Průměr spojek cca 1 metr ...

Realizace: Přenos dat ze všech 4 detektorů do přístroje pomocí Bluetooth ...

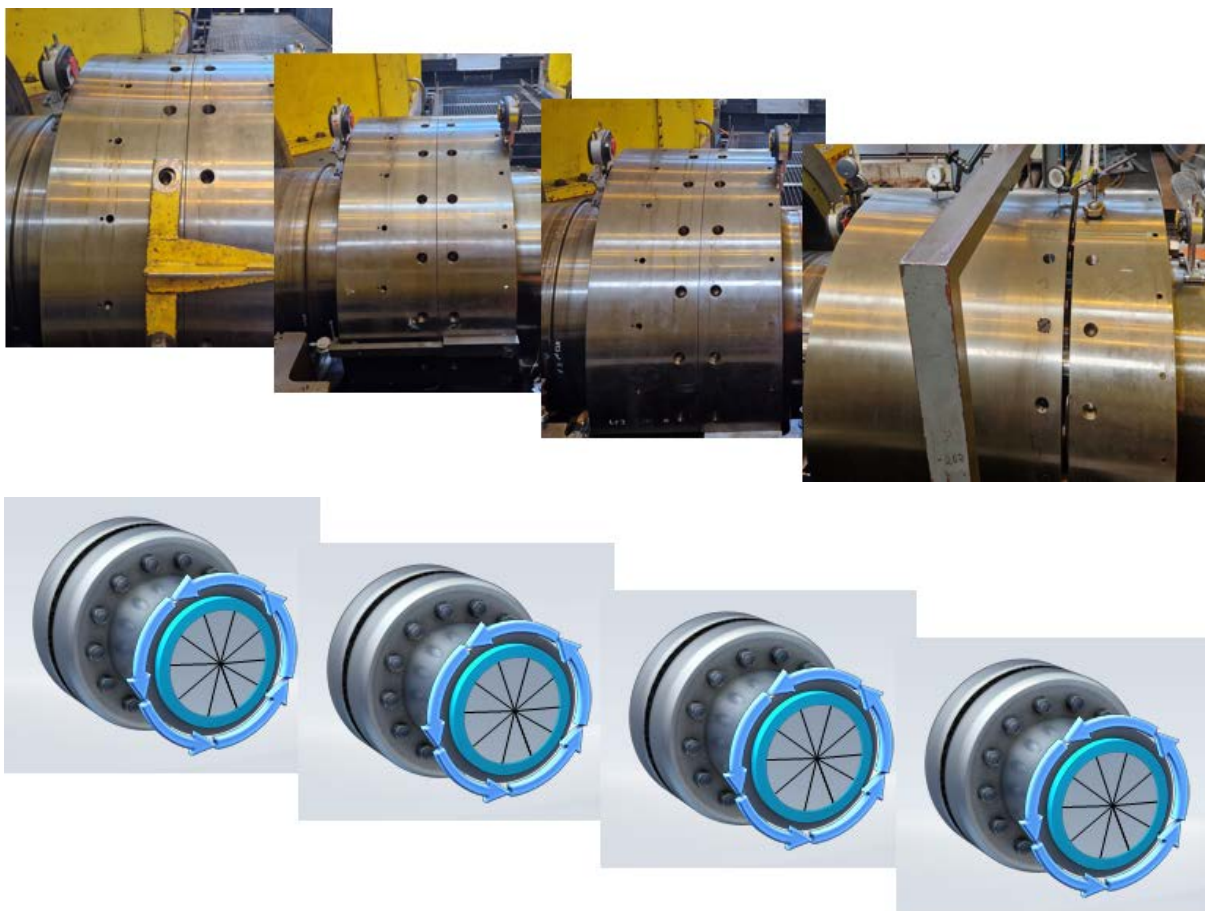
Toto měření se **nedá dopředu vyzkoušet a 100% ověřit ...**

Prostředí je navíc „**technologicky**“ zahuštěné.



2 Měření souososti na 4 spojkách

Nezbude tedy, než vše ověřit skutečným měřením ...



Kontrola opakovatelnosti na všech 4 spojkách:

Tabulka měření

Typ	V Gap [mm]	H Gap [mm]	SD	FK [%]	Datum / Čas
☐ Multipoint	-0,072	0,035	0,003 mm	100	19.9.2023 8:01:15
☒ Multipoint	-0,071	0,035	0,002 mm	100	19.9.2023 8:17:05
☒ Multipoint	-0,073	0,035	0,002 mm	100	19.9.2023 8:24:36
☐ Plynulé měření	-0,071	0,039	0,002 mm	100	19.9.2023 8:32:46

Tabulka měření

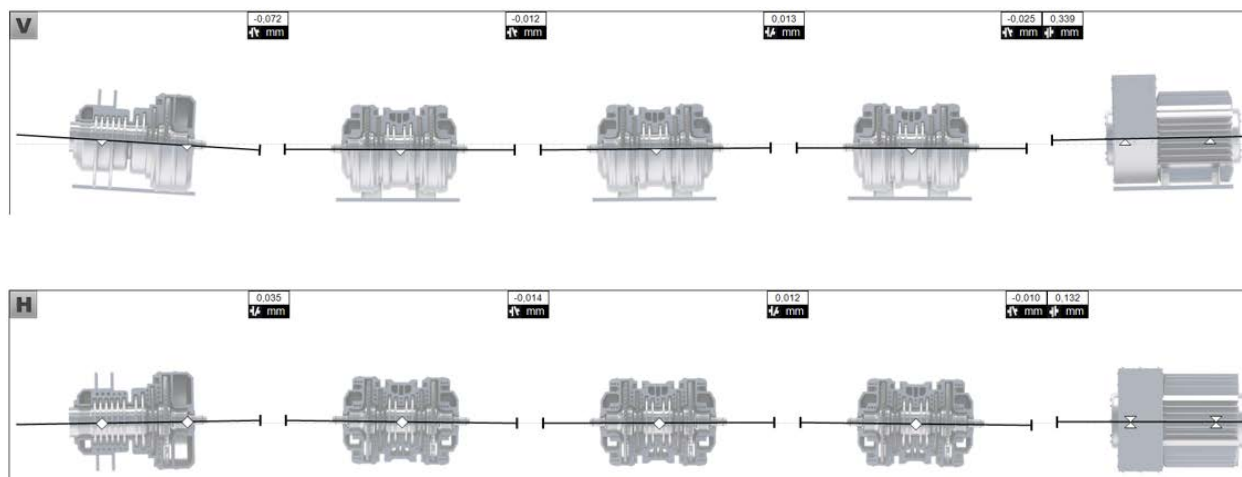
Typ	V Gap [mm]	H Gap [mm]	SD	FK [%]	Datum / Čas
☐ Multipoint	-0,012	-0,015	0,001 mm	100	19.9.2023 8:01:15
☒ Multipoint	-0,013	-0,015	0,005 mm	100	19.9.2023 8:17:06
☒ Multipoint	-0,012	-0,013	0,004 mm	100	19.9.2023 8:24:37
☐ Plynulé měření	-0,013	-0,012	0,004 mm	100	19.9.2023 8:32:46

Tabulka měření

Typ	V Gap [mm]	H Gap [mm]	SD	FK [%]	Datum / Čas
☐ Multipoint	0,014	0,008	0,002 mm	100	19.9.2023 8:01:16
☒ Multipoint	0,013	0,011	0,005 mm	100	19.9.2023 8:17:06
☒ Multipoint	0,013	0,012	0,005 mm	100	19.9.2023 8:24:37
☐ Plynulé měření	0,012	0,015	0,004 mm	100	19.9.2023 8:32:47

Tabulka měření							
Typ	V Gap [mm]	V Přesazení [...]	H Gap [mm]	H Přesazení [mm]	SD	FK [%]	Datum / Čas
☐ Multipoint	-0,030	0,337	-0,007	0,133	0,004 mm	100	19.9.2023 8:01:16
☒ Multipoint	-0,026	0,338	-0,010	0,132	0,003 mm	100	19.9.2023 8:17:06
☒ Multipoint	-0,023	0,340	-0,011	0,133	0,003 mm	100	19.9.2023 8:24:37
☐ Plynulé měření	-0,026	0,341	-0,008	0,137	0,005 mm	100	19.9.2023 8:32:47

Zobrazení (ne)souososti celého soustrojí ve V a H rovině:



Závěr I:

- bylo prokázáno, že měření souososti celého soustrojí **na všech spojkách SOUČASNĚ** je pomocí laserového přístroje **ROTALIGN** technicky možné,
- současný Bluetooth přenos dat během měření byl ze všech 4 spojek plynulý a bez přerušení,
- opakovatelnost měření provedených režimem Multipoint - 4 pozice, Multipoint - 10 pozic a Plynulé otáčení je dobrá,
- opakovatelnost dvou měření Multipoint - 10 pozic je výborná,
- souosost celého soustrojí** (čtyři sady měření na všech 4 spojkách) byla změřena během cca 30 minut.

3 Měření souososti laser vs „hodinky“

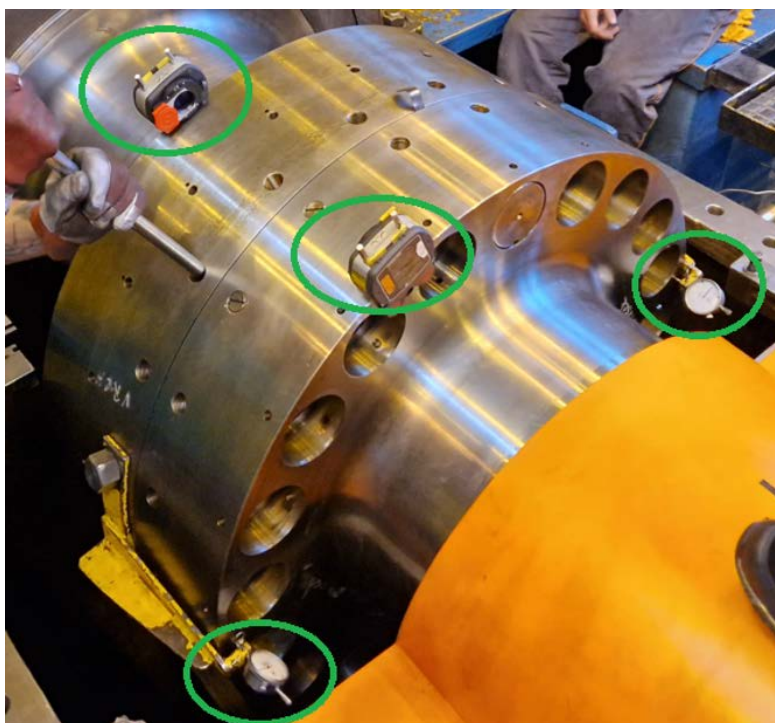


Pro měření souososti velkých turbosoustrojí se dosud často používají číselníkové úchylkoměry („hodinky“).

Měření „hodinkami“ = spolupráce několika lidí, vyčítání a záznam hodnot „manuálně“, jedna spojka po druhé ...



Opakovaná možnost porovnat hodnoty naměřené laserem a hodinkami při SOUČASNÉM měření.

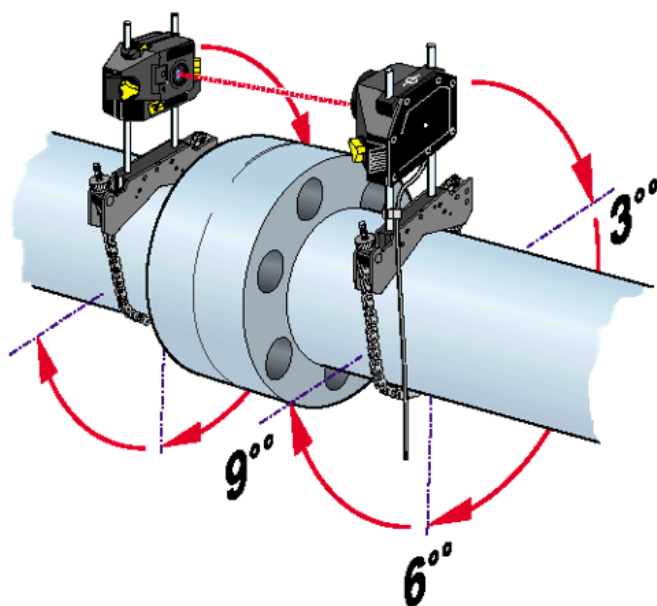


Cílem bylo ověřit, zda-li obě metody poskytnou srovnatelné výsledky.

Jednalo se o spojky průměru téměř 1 000 mm; požadovaná záměrná nesouosost byla cca $0,02 \div 0,03$ mm axiálního přesazení (rozevření) na celý průměr spojky.

Převáděno na průměr spojky 100 mm (jak je zvykem uvádět) se jedná o hodnoty v řádu pouhých několika tisícín mm!

Měření bylo prováděno ve 4 polohách během rotace 360° tak, jak je požadováno při měření hodinkami, tzn. 0-3-6-9:



Každé měření (laserem i „hodinkami“) bylo prováděno 2x a výsledky poté zprůměrovány.

Porovnání výsledků laser vs „hodinky“ - měřeno ve 2 různých dnech:

	Laserový přístroj		Číselníkové úchylkoměry	
	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení
Spojka	-0,005	-0,026	-0,005	-0,020
Směr otevření	Dolů	Vpravo	Dolů	Vpravo
Spojka	-0,022	+0,017	-0,015	+0,015
Směr otevření	Dolů	Vlevo	Dolů	Vlevo
Spojka	-0,033	+0,010	-0,025	+0,005
Směr otevření	Dolů	Vlevo	Dolů	Vlevo

	Laserový přístroj		Číselníkové úchylkoměry	
	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení
Spojka	-0,030	-0,031	-0,025	-0,033
Směr otevření	Dolů	Vpravo	Dolů	Vpravo
Spojka	-0,029	+0,043	-0,030	+0,036
Směr otevření	Dolů	Vlevo	Dolů	Vlevo
Spojka	-0,028	+0,010	-0,033	+0,016
Směr otevření	Dolů	Vlevo	Dolů	Vlevo

Rozdíly naměřených hodnot laser vs „hodinky“ - měřeno ve dvou různých dnech:

	Rozdíl laser vs úchylkoměry	
	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení
Spojka	0,000	0,006
Spojka	0,007	0,002
Spojka	0,008	0,005

	Rozdíl laser vs úchylkoměry	
	Vertikální axiální přesazení	Horizontální axiální přesazení
Spojka	0,005	0,002
Spojka	0,001	0,007
Spojka	0,005	0,006

Závěr II:

SOUČASNÁ měření prováděná laserem a „hodinkami“ prokázala, že naměřené výsledky jsou srovnatelné.

Závěr III - u měření laserem několik výhod:

- výsledky k dispozici okamžitě po ukončení měření,
- minimalizace vlivu lidského faktoru,
- vyloučení jiných vlivů (hystereze „hodinek“, průhyb držáků ...),
- lze měřit na více spojkách najednou = úspora času,
- lze měřit ve více než 4 polohách = potenciál dalšího zpřesnění.

POKROK V KVANTITATIVNÍM VYHODNOCENÍ FLASH-PULZNÍ TERMOGRAFICKÉ INSPEKCE POVÝSTŘELOVÝCH ZPLODIN

PROGRESS IN QUANTITATIVE EVALUATION OF GUNSHOT RESIDUE PATTERNS DETECTED BY FLASH-PULSE THERMOGRAPHY INSPECTION

Michal ŠVANTNER, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ¹

Alexey MOSKOVCHENKO, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ²

Lukáš MUZIKA, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ³

Martin VALENTA, Kriminální ústav Policie České republiky ⁴

Rudolf VÁVRA, Kriminální ústav Policie České republiky ⁵

Milan HONNER, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ⁶

Anotace:

Příspěvek se zabývá detekcí povýstřelových zplodin (GSR) na textiliích v okolí průstřelu pomocí metody flash-pulzní termografie. Analýza GSR představuje jeden z významných forenzních postupů pro odhad vzdálenosti střelby. Výstupem flash-pulzní termografické inspekce je obrazec indikací v okolí průstřelu, které představují částice povýstřelových zplodin a jejichž počet a prostorové rozložení závisí na vzdálenosti výstřelu. Předchozí výzkum byl zaměřen především na postupy inspekce, vizualizaci obrazců a možnosti kvantifikace povýstřelových zplodin. Tato studie navazuje na tyto práce a představuje optimalizované postupy flash-pulzní termografie a kvantitativního vyhodnocení termografických dat. Statistická analýza výsledků flash-pulzní termografické inspekce ukazuje, že některé statistické charakteristiky vykazují silnou korelaci se vzdáleností střelby. Studie se dále zabývá opakovatelností, reprodukovatelností a validací měření ve spolupráci s partnery v oblasti forenzních analýz. Dále jsou naznačeny následné kroky, které budou zaměřeny zejména na automatizaci segmentace a klasifikace obrazců povýstřelových zplodin s využitím pokročilých metod zpracování obrazu a strojového učení. Očekává se, že tyto postupy podpoří zavedení metod termografické inspekce do praktických aplikací forenzní analýzy povýstřelových zplodin.

¹ Ing. Michal Švantner, Ph.D., CTD

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - výzkumné centrum

Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

tel.: +420 377 634 721, mobil: +420 737 914 978, e-mail: msvantne@ntc.zcu.cz, <https://www.ntc.zcu.cz/cs/>

² Mgr. Alexey Moskovchenko

e-mail: alexeym@ntc.zcu.cz

³ Ing. Lukáš Muzika, Ph.D., CTD

tel.: +420 377 634 822, e-mail: muzika@ntc.zcu.cz

⁴ Ing. Martin Valenta

Kriminální ústav Policie České republiky

Strojnická 27, 170 89 Praha

e-mail: martin.valenta@pcr.cz

⁵ Ing. Rudolf Vávra

e-mail: rudolf.vavra@pcr.cz

⁶ prof. Ing. Milan Honner, Ph.D., CTD

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - výzkumné centrum

tel.: +420 377 634 720, mobil: +420 606 522 406, e-mail: honner@ntc.zcu.cz

Tato práce je realizována v rámci projektu č. VK01010037 "Metodika rychlé bezkontaktní a nedestruktivní detekce zplodin výstřelu", podporovaného Ministerstvem vnitra České republiky v rámci programu OPSEC (01/2023-12/2025).

Annotation:

This study addresses the detection of gunshot residue (GSR) on a fabric around a bullet hole using the flash-pulse thermography method. GSR analysis is one of the key forensic procedures for estimating the firing distance. The result of such an inspection is a pattern of indications distributed around the hole, which are attributed to GSR particles. Their number and spatial distribution depend on the firing distance. Building upon previous research primarily focused on the qualitative visualization of GSR patterns on textile targets, the current study introduces optimized flash-pulse thermography procedures and quantitative evaluation of thermographic data. Statistical analysis of flash-pulse thermography inspection results demonstrates that several statistical descriptors exhibit strong correlations with the shooting distance. The study also addresses repeatability, reproducibility, and validation in cooperation with forensic partners. Future work will focus on automating GSR pattern segmentation and classification using advanced image-processing and machine-learning techniques. These improvements are expected to support the implementation of IRNDI methods in practical forensic applications.

This work is conducted as part of project No. VK01010037 "Methodology of Fast Non-Contact and Non-Destructive Detection of Gunshot Residue", supported by the Ministry of the Interior of the Czech Republic under the OPSEC programme (01/2023-12/2025).

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference, téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

KAM SMĚŘUJE TRIBODIAGNOSTIKA?

WHERE IS TRIBODIAGNOSTICS HEADING?

Ondřej ŠVEC, TRIFOSERVIS s.r.o., Čelákovice ¹

Anotace:

Název přednášky působí filozofickým dojmem, dospěli jsme ale do bodu, kdy bude nutné si tuto otázku čím dál tím více pokládat. Z kritického pohledu dochází k postupnému snižování kvality lidského potenciálu, který je nahrazován automatizací a snahou o implementaci umělé inteligence. Z čistě subjektivního pohledu není tato cesta úplně správná. V rozhodujících momentech se bez lidského potenciálu bohužel neobejdeme. AI moduly v rámci našeho oboru přináší dost často nepravdivé a zavádějící informace. Co si budeme povídat, relevantních zdrojů v prostoru internetu není moc a samotná AI tedy nemá kde čerpat. Problematickým se jeví neustálé přesvědčování laiků o tom, že informace či cesta nastavená pomocí AI není správná. Velká část společnosti (pravděpodobně bohužel většina) vnímá informace od AI jako dogma a odmítá relevantní argumenty odborníků, kteří dané problematice rozumí. Z mého pohledu se jedná o „cestu do pekla“. Ztrácíme kritické myšlení, odborníci jsou zpochybňováni na základě generovaných, dost často nepravdivých či zavádějících informací, od Chatbotů z AI prostředí. Z hlediska chybovosti se toto „usnadňování“ práce podepisuje na degradaci lidského materiálu v tribodiagnostice. Ze statistického hlediska, prováděných analýz společností TRIFOSERVIS s.r.o., byla lidská chybovost v roce 2015 menší než 10%. Pokud si projdeme realizované zakázky a protokoly v roce 2025, stojí faktor lidské chyby za více než 70% problémů! Když už problém v rámci zanedbání tribotechnických principů nastane, je pravděpodobnost, že za chybu může člověk, zhruba 7x větší než před deseti lety! Otázkou je, zda nám v našem oboru umělá inteligence pomáhá? Z mého subjektivního pohledu nikoliv. Naopak ničí lidský potenciál, likviduje kritické myšlení a dělá z odborníků pouze textové operátory náhodně generovaných „zkušeností“ umělé inteligence.

Annotation:

The title of the lecture sounds philosophical, but we have reached a point where it will be necessary to ask this question more and more. From a critical point of view, there is a gradual decrease in the quality of human potential, which is being replaced by automation and efforts to implement artificial intelligence. From a purely subjective point of view, this path is not entirely correct. Unfortunately, we cannot do without human potential at crucial moments. AI modules within our field often provide false and misleading information. Let's face it, there are not many relevant sources on the internet, and AI itself has nowhere to draw. The constant persuasion of laypeople that the information or path set by AI is not correct seems problematic. A large part of society (probably, unfortunately, the majority) perceives information from AI as dogma and rejects relevant arguments from ex-

¹ Ondřej Švec, DiS., CTD
prezident ATD ČR, z.s.
TRIFOSERVIS s.r.o.
Sokolovská 1644, 250 88 Čelákovice
tel.: +420 603 265 565, mobil: +420 737 388 729, e-mail: info@trifoservis.cz, <http://www.trifoservis.cz/>

perts who understand the issue. From my point of view, this is a "path to hell". We are losing critical thinking, experts are questioned on the basis of generated, quite often false or misleading information, from Chatbots from the AI environment. In terms of error rate, this "facilitation" of work is reflected in the degradation of human material in tribodiagnostics. From a statistical point of view, according to analyses conducted by TRIFOSERVIS s.r.o., the human error rate in 2015 was less than 10%. If we review completed orders and protocols in 2025, the human error factor is responsible for more than 70% of problems! When a problem occurs due to neglect of tribotechnical principles, the probability that a person is responsible for the error is approximately 7 times greater than ten years ago! The question is whether artificial intelligence helps us in our field? From my subjective point of view, no. On the contrary, it destroys human potential, eliminates critical thinking and turns experts into mere text operators of randomly generated "experiences" of artificial intelligence.

1 Jaký je vývoj tribodiagnostiky v současnosti?

Z celkového hlediska je tribodiagnostika, i přes nové výzvy, v celkem dobré kondici. Projevuje se to zejména nárůstem zájmu o tento obor v širším spektru provozů. Průmyslové podniky pomalu přichází na to, že technická diagnostika může ušetřit v rámci provozu nemalé peníze. Zájem o benefity technické diagnostiky tedy v globálním kontextu roste i v naší republice.

2 Na co si dát pozor?

Celkový důraz by měl být kladen na vzdělávání pracovníků v oboru. Je sice hezké, že spoustu informací si můžeme díky vyhledávačům a umělé inteligenci najít, nicméně zatím bude vždy potřeba kvalifikovaná osoba, která provede odborné vyhodnocení a navrhne další postup. Faktor lidské chybovosti postupem času narůstá, pravděpodobně za tím bude „naše pohodlnost“ a zjednodušování si práce. Proto je důležité klást důraz na vzdělávání pracovníků a budování kritického myšlení. V tribodiagnostice se totiž může stát, že času na rozhodování není příliš a je potřeba jednat velmi operativně na základě zkušeností z předchozích tribodiagnostických úkolů. Digitální stránka může být sice nápomocná, není ale „samospásná“.

3 AI jako pracovní nástroj?

Ano, z mého pohledu je nutné k AI přistupovat jako k pracovnímu nástroji, který nám může být nápomocen. Nicméně zejména v oboru tribodiagnostiky nedoporučuji brát vše, co vygeneruje AI jako stoprocentní doporučení. Výsledky vyhledávání pomocí AI mohou být v oboru tribodiagnostiky dost zavádějící, protože neexistuje dostatečné množství relevantních zdrojů. Některé výsledky vyhledávání jsou dokonce „zcela mimo“. Na konci informačního řetězce tedy vždy musí stát člověk, který bude schopen s informacemi správně nakládat a bude schopen filtrovat nepravdivé výroky či zavádějící informace.



4 Výhled do budoucna

Musíme si uvědomit, že obor tribodiagnostiky je specifický a většina vědomostí „přežívá“ v jednotlivcích, kteří se dané tématice věnují již delší dobu. Všechny moderní postupy a principy mohou být nápomocné, je ale nutné s informacemi odborně pracovat. Což nás opět vede k myšlence, že lidský „materiál“ má v oboru stále neochvějné místo!

APLIKACE ANALÝZ OPTICKO-TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ A IR TERMODIAGNOSTIKY V TECHNOLOGII 3D TISKU KOVŮ

APPLICATION OF PHOTO-THERMAL PROPERTIES ANALYSES AND IR TERMODIAGNOSTICS IN METAL 3D PRINTING TECHNOLOGY

Zdeněk VESELÝ, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ¹

Jiří TESAŘ, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ²

Michal MATĚJKA, Západočeská univerzita v Plzni, NTC ³

Anotace:

Aditivní technologie je velmi vhodná pro výrobu kovových prototypových dílů a zejména pro výrobu dílů se složitou geometrií, které je velmi obtížné nebo téměř nemožné vyrobit jiným způsobem. Monitorování teploty během 3D tisku je velmi důležité pro udržení kvality a optimalizaci tiskového procesu. To může odhalit oblasti s nestandardním tiskovým procesem, které mohou indikovat potenciální vady a následné riziko selhání komponenty během provozu. Bezkontaktní metoda měření teploty je využita pro analýzu teplot během tisku metodou DMLS (Direct metal laser sintering). Nezbytnými kroky je vyhodnocení efektivní emisivity tiskového práškového materiálu a tištěné součásti, stejně jako efektivní propustnost IR okna pro použité infračervené kamery. Měření teploty během tiskového procesu je prováděno pomocí dvou infračervených kamer s různými technickými parametry. K vyhodnocení měření infračervenými kamerami jsou využívány standardní a HoldMax termogramy, a dále časové průběhy teploty ve vybraných oblastech tištěného dílu. Prezentované výsledky ukazují možnosti infračervených kamer pro analýzu tiskového procesu. Použité infračervené kamery se vhodným způsobem doplňují a společně poskytují základní informace o průběhu tiskového procesu.

Annotation:

Additive technology is very suitable for the production of metal prototype parts and especially for the production of parts with complicated geometry, which is very difficult or nearly impossible to produce in another way. Temperature monitoring during the 3D printing process is very important to maintain the quality and optimize the printing process. This can reveal areas with a non-standard printing process that can indicate potential defects and the consequent risk of component failure during operation. The non-contact method of temperature measurement is used for the analysis of temperatures during the printing by the DMLS (Direct metal laser sintering) method. The evaluation of effective emissivity of the printing powder material and printed component, as well as effective transmittance of the IR window for the used infrared cameras are the necessary steps. Temperatu-

¹ Ing. Zdeněk Veselý, Ph.D., CTD

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - výzkumné centrum

Univerzitní 8, 301 00 Plzeň

tel.: +420 377 634 832, mobil: +420 605 987 635, e-mail: zvesely@ntc.zcu.cz, <https://irt.zcu.cz/cs/>

² Ing. Jiří Tesař, Ph.D., CTD

tel.: +420 377 634 828, e-mail: tesar@ntc.zcu.cz

³ Ing. Michal Matějka

re measurement during the printing process is performed using two infrared cameras with different technical parameters. The evaluation of infrared camera measurements is carried out using standard and HoldMax thermograms, and time courses of the temperature in selected areas of the printed part. The presented results show the possibilities of infrared cameras for the analysis of the printing process. The utilized infrared cameras complement each other in a suitable way and together they provide essential information about the course of the printing process.

(autoři si nepřejí zveřejnění úplného textu příspěvku ve sborníku konference,
téma je zařazeno do programu konference a bude autory předneseno)

VYBRANÉ DIAGNOSTICKÉ METÓDY VYUŽÍVANÉ V STROJÁRSTVE

SELECTED DIAGNOSTIC METHODS USED IN MECHANICAL ENGINEERING

Zoltán ZÁLEŽÁK, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ¹

Rastislav BERNÁT, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ²

Norbert KECSKÉS, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, FEM ³

Martin KOTUS, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, TF ⁴

Miroslav ČURGALI, DT Transport, s.r.o., Nitra, Slovensko ⁵

Anotácia:

Diagnosticke metódy sú neoddeliteľnou súčasťou pri zisťovaní technického stavu a následnej údržbe jednotlivých častí strojov. Predstavený experiment popisuje využitie vybraných diagnostických metód pri vykonávaní pravidelnej inšpekcie na strojnom zariadení. V experimente sa využívala diagnostika motorom ovládaných armatúr na monitorovanie vlnovcovej armatúry A 10823-0040/250-32, ktorá prebiehala pred a po generálnej oprave. Prostredníctvom vybranej diagnostickej metódy sa zistilo nesprávne nastavenie časovania koncových polôh. Táto skutočnosť bola zistená pred generálnou opravou, a preto bola nevyhnutná jej oprava. Nakoľko elektromotor fungoval len na dve fázy, bolo potrebné vykonať nápravné opatrenie, aby jeho následná činnosť prebiehala na tri fázy.

Annotation:

Diagnostic methods are an integral part of determining the technical condition and subsequent maintenance of individual machine parts. The presented experiment describes the use of selected diagnostic methods when performing regular inspections on machinery. The experiment used diagnostics of motor-operated valves to monitor the bellows valve A 10823-0040/250-32, which was carried out before and after a general repair. The selected diagnostic method revealed incorrect timing of the end positions. This fact was discovered before the general repair, and therefore its repair was necessary. Since the elect-

¹ Ing. Zoltán Záležák, PhD.

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta, Ústav konštruovania a stroj. technológií
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

tel.: +421 37 641 5796, +421 37 641 5686, e-mail: zoltan.zalezak@uniag.sk, <https://uniag.sk/sk/>

² Ing. Rastislav Bernát, PhD. IWE

tel.: +421 37 641 5796, +421 37 641 5688, e-mail: rastislav.bernat@uniag.sk

³ Mgr. Norbert Kecskés, PhD.

Fakulta ekonomiky a manažmentu, Ústav štatistiky, operačného výskumu a matematiky

tel.: +421 37 641 4634, e-mail: norbert.kecskes@uniag.sk

⁴ doc. Ing. Martin Kotus, PhD.

Ústav konštruovania a strojárskych technológií

tel.: +421 37 641 5689, +421 37 641 5698, e-mail: martin.kotus@uniag.sk

⁵ Ing. Miroslav Čurgali, PhD.

DT Transport, s.r.o.

Štefánikova Trieda 74/50, 949 01 Nitra, Slovenská republika

tel.: +421 903 284 934, e-mail: miroslav.curgali@transdev.com

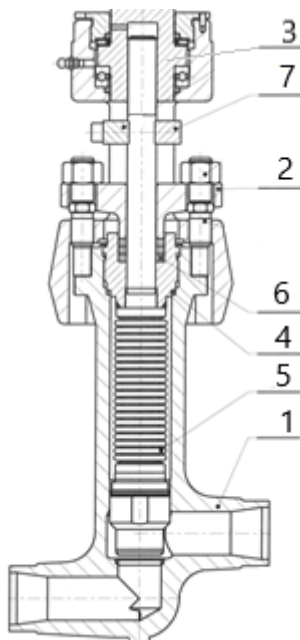
ric motor operated on only two phases, it was necessary to take corrective action so that its subsequent operation would be carried out on three phases.

1 Úvod

Diagnostika, ako je už známe, je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá metódami, postupmi a prostriedkami bez demontážneho a nedeštruktívneho zisťovania technického stavu objektu. Diagnostické prostriedky predstavujú súbor technických zariadení a pracovných postupov pre analýzu a vyhodnotenie stavu diagnostikovaného objektu [6]. Nová technológia diagnostiky motorom ovládaných armatúr (MOV), ktorá slúži na hodnotenie stavu servopohonov a armatúr a dokáže analyzovať aj stupeň degradácie zariadenia, a tým prispieva k vyššej spoľahlivosti v rámci EQR. Pomocou diagnostiky MOV je možné monitorovať mechanické, časové a elektrické veličiny. Prínosom tejto diagnostiky je preukázanie funkčnej spôsobilosti po časovej jednotke prevádzky zariadenia, po údržbe zariadenia vykonávanej ako bežnú alebo generálnu opravu. Rovnako dôležité je aj vyhodnotenie úspešnosti údržby a opravy, ktoré vplývajú na zariadenie. Každé zariadenie v procese degraduje, to znamená, že pravidelným používaním sa znižuje jeho schopnosť spoľahlivo pracovať [7]. Samotný systém udržiavania, ktorý sa uvedeným zaoberá, sa nazýva INPO AP 913.

2 Materiál a metódy

Pozorovaným objektom je elektricky servomotorom ovládaná vlnovcová armatúra typu A 10823-0040/250-32. (obr.1), ktorá je súčasťou jadrovej elektrárne Mochovce. Tieto servomotory sú priamo určené na diaľkové ovládanie armatúr, ktoré sú umiestnené v obsluhovacích priestoroch jadrových elektrární s reaktormi VVER.



Obr.1 Vlnovcová armatúra A 10823-0040/250-32

Legenda: 1 - teleso, 2 - upchávkové veko, 3 - vretenová matica, 4 - tesniaci krúžok, 5 - vlnovcový komplet, 6 - upchávka, 7 - ukazovateľ polohy

Servomotory MOA sú konštruované pre priamu montáž na armatúru a ich spojenie je realizované pomocou obruby podľa ISO 5210 a spojky podľa DIN 3210. Samotný elektromotor je vybavený svorkovnicou a samostatnou káblovou vývodkou.

Vlnovcové armatúry typu A 10823-0040/250-32 sú určené ako uzatváracie armatúry pre primárne okruhy a na nenaväzujúce okruhy v jadrových elektrárnach. Materiál vlnovcových armatúr, z ktorého sa vyrábajú, je austenitická oceľ 08X18H20T.

K vykonaniu samotného diagnostického merania predchádza príprava merania, ktorá pozostáva z nasledovných krokov:

- kontrola pripravenosti na realizovanie diagnostického merania v súlade s pokynmi pracoviska,
- kontrola a zabezpečenie funkčnosti a prevádzkyschopnosti meracích prístrojov,
- zabezpečenie techniky pre komunikáciu so zodpovedným pracovníkom počas merania,
- oboznámenie vedúceho reaktorového bloku o plánovanej diagnostike,
- oboznámenia pracovníkov o plánovanom diagnostickom meraní a informovať o možných vplyvoch a rizíkach tohto merania.



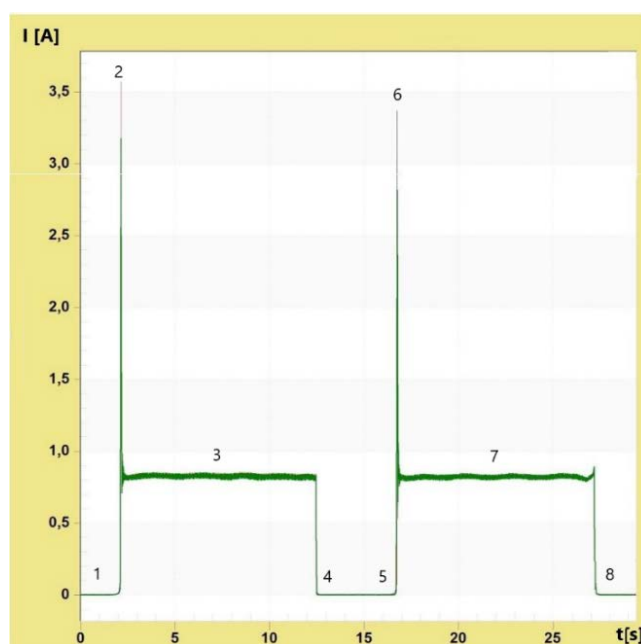
Obr.2 Diagnostický reťazec

Diagnostika elektroarmatúry podľa zvolenej metódy musí taktiež obsahovať a spĺňať pracovný postup, ktorý obsahuje:

- inštalácia meracích snímačov a pripojovacích káblov diagnostického systému,
- pripojenie diagnostického systému,

- zabezpečenie správneho umiestnenia meracích snímačov, prúdových a napäťových na silovú časť elektromotora,
- zabezpečenie správneho umiestnenia snímačov otvárania a zatvárania na ovládaciú časť servopohonu,
- pri vykonaní kompletného merania potrebná komunikácia s pracovníkom, aby nedošlo k manipulácii s elektroarmatúrou,
- po odňatí snímačov merania a pripojovacích káblov oznámiť ukončenie diagnostického merania.

Diagnostika elektroarmatúry je nevyhnutná pred vykonávaním generálnej opravy. Tento proces zahŕňa meranie a zaznamenanie počiatočných elektrických parametrov. Zistené hodnoty sú kľúčové pre nasledujúce zásahy údržby. Pred každým meraním je potrebné zadať do programu povinné údaje, ktoré slúžia k správne vyhodnoteniu stavu elektrického servopohonu a armatúry. Medzi takéto údaje je možné zahrnúť hodnotu prevádzkového prúdu v ampéroch. Dodatočné údaje sa do programu zadávajú do kolónky nepovinných údajov, tie môžu byť napríklad názov a miesto umiestnenia zariadenia, typ elektroarmatúry a pod. Po zapnutí programu diagnostického zariadenia nasleduje uvedenie armatúry do otvoreného stavu a zaznamenanie nameraných hodnôt v tomto stave (obr.3).

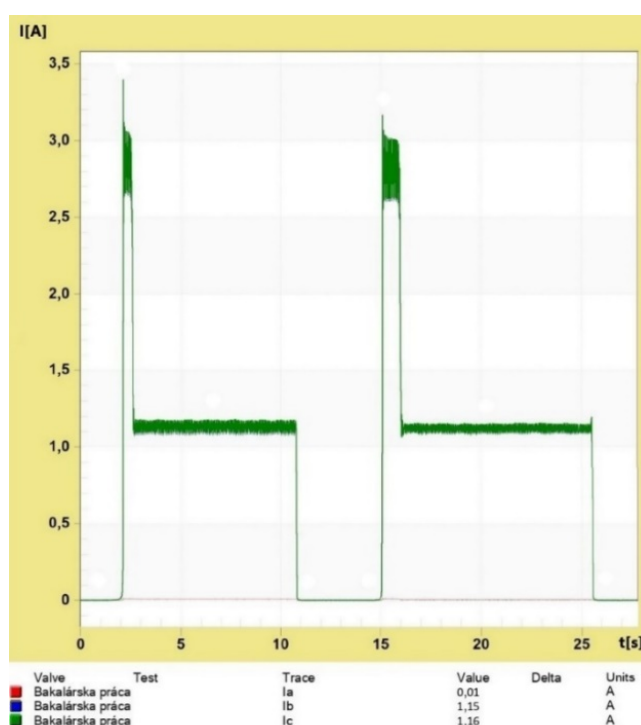


Obr.3 Priebeh otvorenia a zatvorenia armatúry

Z uvedeného grafického zobrazenia je možné vidieť ako motor (1) dostáva impulz na otvorenie a začína sa otvárať, pričom nábehový prúd (2) dosiahne hodnotu až na úroveň 3,5 A, následne sa ustáli a prechádza do nominálnej prevádzky (3). K otvoreniu koncovej polohy (4) dochádza po 9. sekundách. Záznam zatvorenia začína v dolnej polohe (5), pričom servopohon vtedy dostáva impulz do zatvorenia, kde sa začína zatvárať nábehový prúd (6), pri hodnote 3,4 A. Aj tento priebeh zatvárania trvá približne 9 sekúnd,

čo dokazuje minimálne zvýšenie a následný pokles prúdu a ustálenie sa na koncovej polohe (8).

Cieľom analýzy elektrických veličín asynchrónneho motora je preveriť funkčnosť motora pred generálnou opravou. Na obr. 4 je možné vidieť že motor je napájaný iba z fáz L2 a L3. Fáza L1 (prúdová zložka) nevykazuje takmer žiadnu aktivitu a nameraná hodnota prúdu vo fáze L1 dosahuje hodnotu iba 0,01 A, čo indikuje prerušenie napájania alebo vnútornú poruchu vinutia vo fáze L1. Na druhej strane fázy L2 a L3 vykazujú abnormálne hodnoty prúdu na úrovni 1,15 A a 1,16 A, čo je nárast o 45 % oproti nominálnej hodnote (0,82 A). Takýto zistený stav predstavuje neštandardnú a nebezpečnú prevádzku motora pretože asynchrónne motory sú navrhované pre symetrické trojfázové napájanie. Táto skutočnosť predstavuje závažnú poruchu s potenciálnymi vážnymi následkami pre samotnú elektroarmatúru. Takýto motor neumožňuje bezpečnú a spoľahlivú prevádzku. Pred opätovným uvedením do prevádzky je nevyhnutné odstrániť príčinu výpadku fázy L1.



Obr.4 Priebeh činnosti motora na dve fázy

3 Záver

Správne zvolené diagnostické metódy sú veľmi dôležité pri zisťovaní prevádzkyschopného stavu strojného zariadenia [6]. Príspevok práve poukazuje aj na tieto skutočnosti a popisuje na základe správne zvolenej diagnostickej metódy analýzu vlnovcovej armatúry typu A 10823-0040/250-32. Práve táto zvolená diagnostická metóda motorom ovládanej vlnovcovej armatúry je užitočnou a praktickou metódou na vykonávanie rýchlej a presnej analýzy. Analýza popisuje presný signálny priebeh otvorenia a zatvorenia vlnovcovej armatúry. Prostredníctvom diagnostiky bolo zistené nesprávne nastavenie časovania koncových polôh, čo môže mať za následok ďalšie zistenie, že ovládací motor ide z troch len na dve fázy. Táto skutočnosť bola zistená pred generálnou opravou, a preto je nevyhnutné jej vykonanie. Meranie pred generálnou opravou má význam pre získanie relevantných parametrov, ktoré možno porovnávať s parametrami

nameranými počas bežnej prevádzky a zistiť ich spôsobilosť, funkčnosť či prípadný stupeň degradácie. Prínosom generálnej opravy by bola výmena motora a správne nastavenie koncových polôh pre ďalšie správne fungovanie zariadenia. Meraniami bolo dokázané, že správne zvolenou, pravidelnou a včasnou diagnostikou vieme predísť poruchám, ktoré by mohli spôsobiť obmedzený chod elektrárne či dokonca haváriu.

PodĎakovanie:

Tento príspevok vznikol v spolupráci s TD Transport s.r.o Nitra ako prepojenie výskumnej činnosti Technickej fakulty SPU v Nitre s opravárenskou praxou v doprave.

Literatura:

- [1] Abrahám, R., Majdan, R., Kollárová, K., Tkáč, Z., Olejár, M., Matejková, E., Kubík, L.. Frequency spectra analysis of drawbar pulls generated by special driving wheels improving tractive performance. In *Sensors*. ISSN 1424-8220, 2021, vol. 21, iss. 19, art. no. 2903 [19] s. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/s21092903>
- [2] Bujna, M., Kangalov, P. G., Nikolov, M. I. Determination of comprehensive durability indicators. In *Agricultural, forest and transport machinery and technologies*. ISSN 2367-5888, 2021, vol. 8, iss. 1, s. 39-44
- [3] Bujna, M., Lee, C. K., Prístavka, M., Nikolov, M. I., Delikostov, T., Gula, A. Determining The Probability of Failure Modes by Fault Tree Analysis. In *Agricultural, forest and transport machinery and technologies*. ISSN 2367-5888, 2023, vol. 10, iss. 1, s. 23-30.
- [4] Cviklovič, V., Mojžiš, M., Majdan, R., Kollárová, K., Tkáč, Z., Abrahám, R., Masarovičová, S. Data acquisition system for on-the-go soil resistance force sensor using soil cutting blades. In *Sensors*. ISSN 1424-3210, 2022, vol. 22, iss. 14, art. no. 5301 [19] s. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/s22145301>.
- [5] Jablonický, J., Tulík, J., Bártová, S., Tkáč, Z., Kosiba, J., Kuchar, P., Čorňák, Š., Kollárová, K., Kaszkowiak, J., Tomic, M., Paumer, M. Influence of Decarbonization on Selected Parameters of ICE. In *Atmosphere*. ISSN 2073-4433, 2023, vol. 14, no. 8, art. no. 1271, [18] s.
- [6] Krilek, J., Kuvik, T., Pexa, M., Aleš, Z., Žarnovský, J., Jobbágy, J., Kováč, J., Krištof, K. *Technická diagnostika*. 1. vyd. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2025. 461 s. ISBN 978-80-228-3479-7.
- [7] Žarnovský, J., Mikuš, R., Kováč, I., Baráth, M., Bojo, L. Analýza spoľahlivosti stroj-
ných zariadení využívaných v kameňolome. In *DIAGO 2025*. 1.vyd. 153 s. ISBN 978-80-248-4787-0. Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení. Ostrava VŠB - Technická univerzita, 2025, s. 137-144.

VIBRODIAGNOSTIKA MECHANICKÝCH SYSTÉMOV S VARIABILNOU TUHOSŤOU

VIBRODIAGNOSTICS OF MECHANICAL SYSTEMS WITH A VARIABLE STIFFNESS

Lucia ŽULOVÁ, Technická univerzita v Košiciach, SF ¹

Robert GREGA, Technická univerzita v Košiciach, SF ²

Anotácia:

Tento článok sa zaoberá problematikou vibrodiagnostiky mechanických systémov využívajúcich mechanizmus cieleného prenosu energie prostredníctvom väzieb s variabilnou tuhosťou. Na rozdiel od konvenčných lineárnych pohlcovačov, systémy s premenlivou tuhosťou vykazujú vysokú mieru adaptability a schopnosť pracovať v širokom frekvenčnom spektre. Hlavným prínosom článku je návrh diagnostickej metodiky založenej na spracovaní vibračných signálov, ktorá umožňuje odlišiť optimálne pracovné stavy systému od vplyvu nežiaducich javov vibrácií na mechanický pohon. Prostredníctvom experimentálnej verifikácie je preukázaná citlivosť navrhnutých diagnostických parametrov na zmeny v tuhosti systému, čo otvára nové možnosti pre prediktívnu údržbu a adaptívne riadenie vibrácií v mechanických pohonoch. Výsledky naznačujú, že precízna vibrodiagnostika je nevyhnutným predpokladom pre plné využitie potenciálu nelineárnych mechanických sústav.

Annotation:

Variable stiffness in mechanical systems is achieved by using a suitable tuner with variable stiffness. This research deals with a pneumatic flexible coupling with variable stiffness applied to a testing device. Its vibrodiagnostics can demonstrate its influence on the magnitude of vibrations of the entire mechanical system.

1 Úvod

Vibrodiagnostika predstavuje jednu z najúčinnějších metód nedeštruktívneho monitorovania technického stavu rotačných strojov. Zatiaľ čo diagnostika systémov s konštantnými parametrami je v literatúre široko popísaná a v praxi úspešne aplikovaná, narastajúca komplexnosť moderných zariadení prináša výzvy v podobe systémov s variabilnou tuhosťou. [1], [2]

Tradičné metódy potláčania vibrácií, založené na lineárnych ladených pohlcovačoch (z angl. TMD - Tuned Mass Damper), vykazujú vysokú účinnosť len v úzkom frekvenčnom pásme, čo obmedzuje ich aplikáciu v systémoch s premenlivými prevádzkovými podmienkami. V posledných rokoch sa preto pozornosť výskumu presúva k fenoménu cieleného prenosu energie (z angl. TET - Targeted Energy Transfer), ktorý umožňuje

¹ Ing. Lucia Žulová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta

Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever, Slovenská republika

tel.: +421 55 602 2354, e-mail: lucia.zulova@tuke.sk, <https://www.tuke.sk/>

² prof. Ing. Robert Grega, PhD.

tel.: +421 55 602 2524, e-mail: robert.grega@tuke.sk, <https://www.tuke.sk/>

pasívny, takmer nevratný prenos energie z primárnej konštrukcie do nelineárneho prídavného systému, známeho ako nelineárny pohlcovač energie (NES / Nonlinear Energy Sink). [3], [4]

Kľúčovým mechanizmom TET je schopnosť NES rezonovať s primárnym systémom v širokom spektre frekvencií vďaka svojej nelinearite, najčastejšie realizovanej prostredníctvom kubickej tuhosti alebo vibro-impaktných mechanizmov. Variabilná tuhosť v týchto systémoch nepredstavuje len konštrukčný parameter, ale je základným predpokladom pre aktiváciu tzv. rezonančného zachytenia. Diagnostika takýchto systémov je však mimoriadne náročná, nakoľko ich dynamická odozva zahŕňa komplexné javy, chaotické oscilácie a náhle prechody medzi rôznymi energetickými hladinami. [5]

Variabilná tuhosť v tomto výskume je v sekundárnom systéme zabezpečená pomocou zmeny tlaku v kompresnom priestore prototypu prídavného zariadenia s variabilnou tuhosťou. Výsledky experimentálnych meraní definujú hranice stability a efektivity prenosu energie, čím prispievajú k spoľahlivejšiemu návrhu a monitorovaniu systémov tlmenia vibrácií novej generácie.

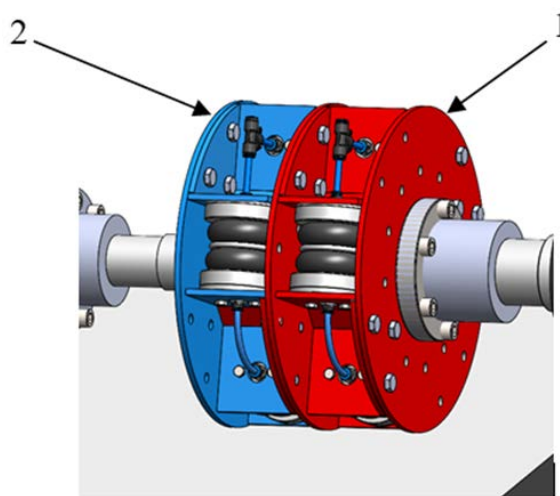
Cieľom predloženého článku je analýza a experimentálne overenie účinnosti cieleného prenosu energie (TET) v mechanických pohonoch s využitím prvkov s variabilnou tuhosťou a návrh diagnostickej metodiky pre monitorovanie tohto procesu v laboratórnych podmienkach.

2 Prídavné zariadenie pre cielený prenos energie s variabilnou tuhosťou

Pre účely cieleného prenosu energie bol vyvinutý prototyp prídavného zariadenia - TET systému s variabilnou tuhosťou - obr.1:

1. Primárny systém (m_1, l_1): mechanický pohon s meniteľnou tuhosťou k_A a tlmičom b_A .
2. Sekundárny systém (m_2, l_2) reprezentujúci samotný TET, naviazaný na primárny systém cez variabilnú tuhosť k_B a tlmenie b_B .

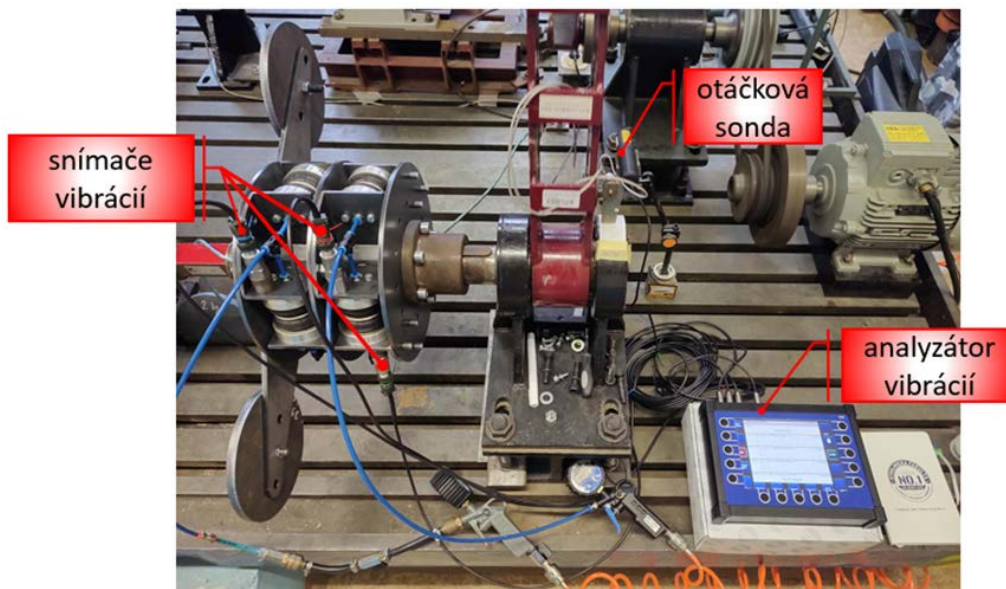
Hlavným cieľom tohto usporiadania je usmernenie a následná disipácia nežiaducej energie z primárneho pohonu do sekundárnej sústavy.



Obr.1 TET s pneumatickou spojkou

3 Metodika pri vibrodiagnostike mechanického systému

Na zber vibrodiagnostických dát počas experimentálnej fázy výskumu bol vytvorený merací reťazec - obr.2. Základom aparatury bol prenosný štvor-kanálový analyzátor vibrácií Adash A4400 VA4 Pro, ktorý poskytuje možnosť synchronného zberu dát s frekvenčným rozsahom až do 90 kHz. Aparatúra bola doplnená o sústavu akcelerometrov (snímačov vibrácií) pre snímanie odozvy v definovaných meracích bodoch a o optickú sondu na presné meranie otáčok a fázovej referencie.



Obr.2 Meracia aparatura

Rozmiestnenie snímačov vibrácií

Pre detailnú analýzu mechanizmu TET a kvantifikáciu toku vibračnej energie bolo navrhnuté trojbodové rozmiestnenie snímačov vibrácií (obr.3). Toto usporiadanie umožňuje sledovať celý prenos energie od zdroja budenia až po miesto jej disipácie:

1. Snímač vstupného budenia (Zdroj vibrácií):

Tento snímač je umiestnený na vstupnej prírubе pneumatickej pružnej spojky, ktorá generuje primárne budenie do celého systému. Meranie v tomto bode slúži ako vstupná referenčná hodnota. Umožňuje nám presne definovať charakteristiku budiacich síl a frekvencií predtým, než vstúpia do systému s variabilnou tuhosťou.

2. Snímač na primárnom systéme (Pneumatická pružná spojka):

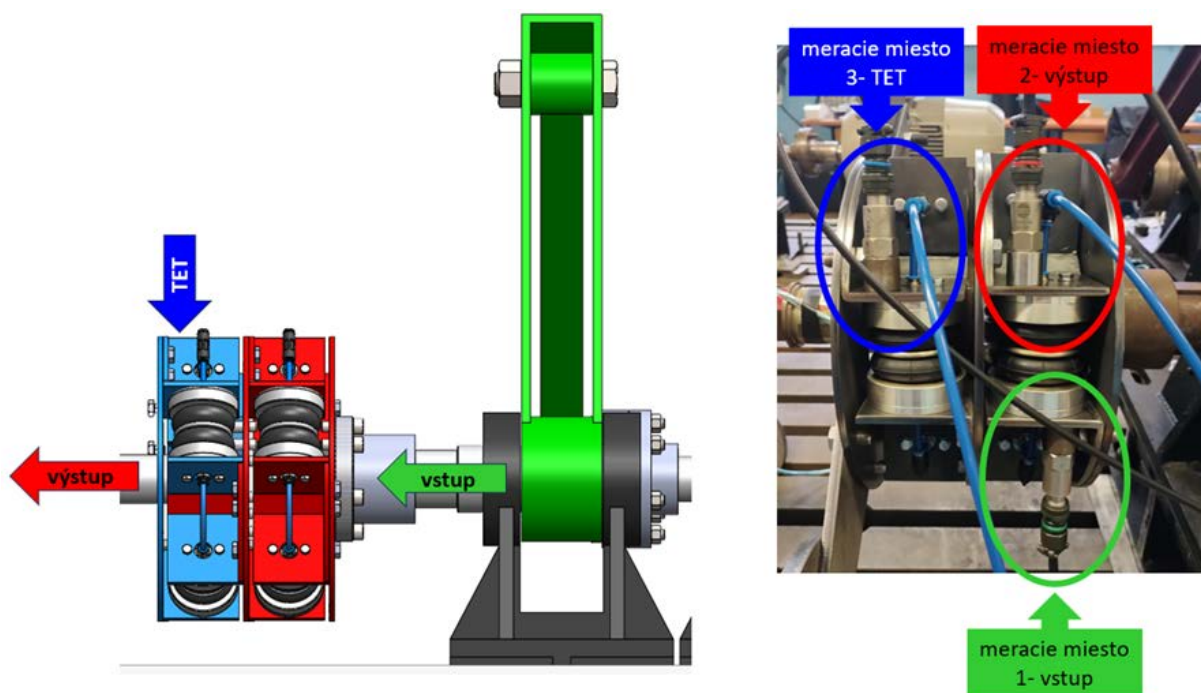
Akcelerometer je osadený na uzle primárnej sústavy, reprezentovanej pneumatickou spojkou. Tento bod je kľúčový pre vibrodiagnostiku, pretože monitoruje vibrácie, ktoré chceme pomocou TET eliminovať. Porovnaním údajov z tohto snímača so vstupným snímačom (bod 1) môžeme posúdiť vplyv variabilnej tuhosti na dynamiku samotnej spojky.

3. Snímač na sekundárnom systéme (Prototyp TET):

Tretí snímač je upevnený na hmotu nelineárneho pohlcovača (sekundárny systém). Údaje z tohto miesta poskytujú priamy dôkaz o aktivácii cieleného prenosu energie.

Vysoké amplitúdy na tomto snímači pri súčasnom poklese amplitúd na snímači primárneho systému (bod 2) potvrdzujú správnu funkciu TET a výskyt režimu rezonančného zachytenia.

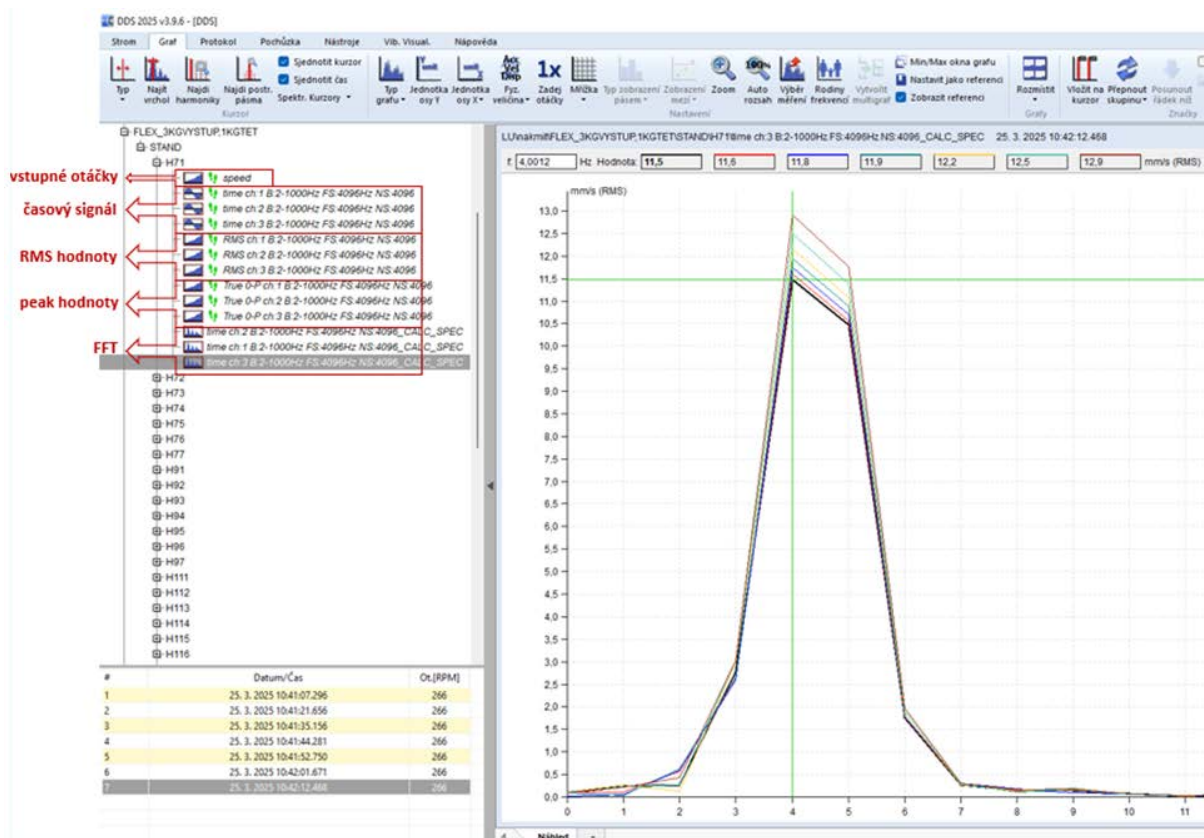
Všetky tri meracie miesta boli snímané synchronne pomocou analyzátora Adash A4400 VA4 Pro, čo umožňuje presnú fázovú analýzu medzi vstupom, spojkou a TET systémom s variabilnou tuhosťou.



Obr.3 Usporiadanie snímačov vibrácií

Softvér a meracie veličiny

Spracovanie a analýza získaných dát boli realizované prostredníctvom diagnostického softvéru DDS Adash, pričom spektrum sledovaných veličín je znázornené na obr.4. V súlade so štandardmi vibrodiagnostiky mechanických sústav [6] bola prioritne sledovaná efektívna hodnota rýchlosti vibrácií (RMS), ktorá je kľúčovým indikátorom celkovej energetickej úrovne kmitania. V prípadoch periodického budenia systému boli pre presnú identifikáciu zdrojových frekvencií využité metódy časového priebehu a frekvenčnej analýzy (FFT), ktoré umožňujú detailnú dekompozíciu vibračného signálu.



Obr.4 Vyhodnocovací softvér DDS

4 Diskusia, záver

Redukcia torzných vibrácií v moderných strojoch a zariadeniach je kritickou požiadavkou pre zvýšenie spoľahlivosti a predĺženie životnosti mechanických súčastí. Vývoj a aplikácia nových metód, ako je cielený prenos energie (TET) s variabilnou tuhosťou, predstavujú aktuálny celosvetový trend, ktorý efektívne prekonáva obmedzenia konvenčných lineárnych tlmičov.

Predložený výskum priniesol nasledujúce kľúčové zistenia, ktoré priamo prepájajú nelineárnu dynamiku s pokročilou vibrodiagnostikou:

- Potvrdenie potenciálu variabilnej tuhosti: Výskum potvrdil, že aplikácia prvkov s variabilnou tuhosťou je efektívnym prostriedkom na širokospektrálne tlmenie vibrácií, čo je výrazná výhoda oproti úzkopásmovým lineárnym riešeniam.
- Integrácia nových vibrodiagnostických metód: Práca zdôraznila nevyhnutnosť aplikácie pokročilých metód spracovania signálov (napr. časovo-frekvenčná analýza) pre spoľahlivú diagnostiku TET systémov. Tieto metódy umožňujú nielen detekciu porúch, ale aj monitorovanie optimálneho režimu prenosu energie.
- Formulácia prevádzkových odporúčaní: Na základe nameraných dát boli navrhnuté špecifické odporúčané prevádzkové režimy mechanických pohonov. Ich dodržiavanie, kontrolované práve prostredníctvom kontinuálnej vibrodiagnostiky, vedie k efektívnej redukcii vibrácií a optimalizácii celého systému.

Záverom možno konštatovať, že úspešná implementácia vibrodiagnostiky v systémoch s variabilnou tuhosťou je kľúčová nielen pre údržbu, ale predovšetkým pre optimalizáciu dynamického správania a zvýšenie energetickej efektivity mechanických zariadení.

PodĎakovanie:

Tento výskum vznikol s podporou projektu VEGA 1/0573/25 a KEGA 037TUKE-4/2024.

Literatura:

- [1] Wang, Y., et al., 2024. Time-frequency Analysis of Non-stationary Vibration Signals for Bearing Fault Diagnosis. Measurement. 228, 114312. ISSN 0263-2241
- [2] Randall, R. B., 2024. Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. 2. vyd. Hoboken: Wiley. ISBN 978-1-119-93124-9
- [3] Chen, X., 2025. Nonlinear targeted energy transfer in mechanical and structural systems. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-824015-0
- [4] Wang, L., et al., 2025. Vibration suppression performance of parallel magnetic nonlinear energy sinks. Mechanical Systems and Signal Processing. 224 (1), 111-130. ISSN 0888-3270
- [5] Zhao, J., et al., 2025. Targeted Energy Transfer with Variable Stiffness - New Perspective in Vibration Reduction. Journal of Vibration and Control. 31 (4), 512-528. ISSN 1077-5463
- [6] Kim, S., et al., 2025. Identification and Evaluation of Vibration Sources from Root Mean Square (RMS). Sensors (MDPI). 25 (22), 8410. ISSN 1424-8220
- [7] Li, Y., et al., 2025. Fault Diagnosis of Mechanical Drive Systems under Variable Operating Conditions using Deep Learning. Mechanical Systems and Signal Processing. 230 (1), 112145. ISSN 0888-3270

Orbit 60 od spoločnosti Bently Nevada

Prezentácia predstavuje systém Orbit 60 od spoločnosti Bently Nevada (Baker Hughes), najmodernejšie riešenie pre ochranu a kontinuálne monitorovanie technického stavu zariadení. Tento systém spája viac ako 60 rokov skúseností s najnovšími inováciami v oblasti strojnej diagnostiky, pričom ponúka vysokú úroveň kybernetickej bezpečnosti, flexibilnú architektúru a integrovaný prístup k monitoringu a ochrane strojov. Orbit 60 poskytuje používateľom možnosť efektívnej diagnostiky, vzdialeného prístupu a vysokú spoľahlivosť, čím napĺňa požiadavky priemyslu 4.0.

Pre celý závod jeden systém

Orbit 60 Séria Ochrany sledovanie stavu poskytuje kontinuálny, online monitorovací systém pre obidva druhy kritické a ostatné aplikácie strojov.

Kybernetická bezpečnosť • Izolácia údajov

Orbit 60 Séria izoláciou údajov vytvára bezpečné priemyselné prostredie pre údaje a je navrhnuté tak, aby spĺňali normu IEC 62443-4-2 so svetovými požiadavkami na sieťový prenos údajov a oddelenie funkcií ochrany a monitorovania.

Modularita • Pružnosť • Rozšíriteľnosť

- Orbit 60 Séria systém je nasaditeľný v akejkoľvek kombinácii - montovaný v skrini alebo distribuovaný hardvér.
- To poskytuje lepšie usporiadanie prístrojov pre sledovanie strojov.

Integrácia vysokorychlostných procesných dát

Architektúra novej generácie umožňuje plné obojsmerné riadenie komunikácia so systémami riadenia závodu cez súbor štandardných protokolov.

Predĺžená dĺžka zapojenia poľa

S distribuovanou architektúrou Orbit 60 Séria:

- Prepojenie viacerých šasi cez mostové moduly.
- Znižuje celkové náklady na elektrickú inštaláciu.
- Znižuje analógové zemné slučky a problémy s šumom, a pohyby klávesov.
- Údržbárske činnosti ďalej od nebezpečných oblastí.

Energomechanika Sp. z o.o.

ul. Czerniakowska 26B/25, 00-714 Warszawa, Polsko

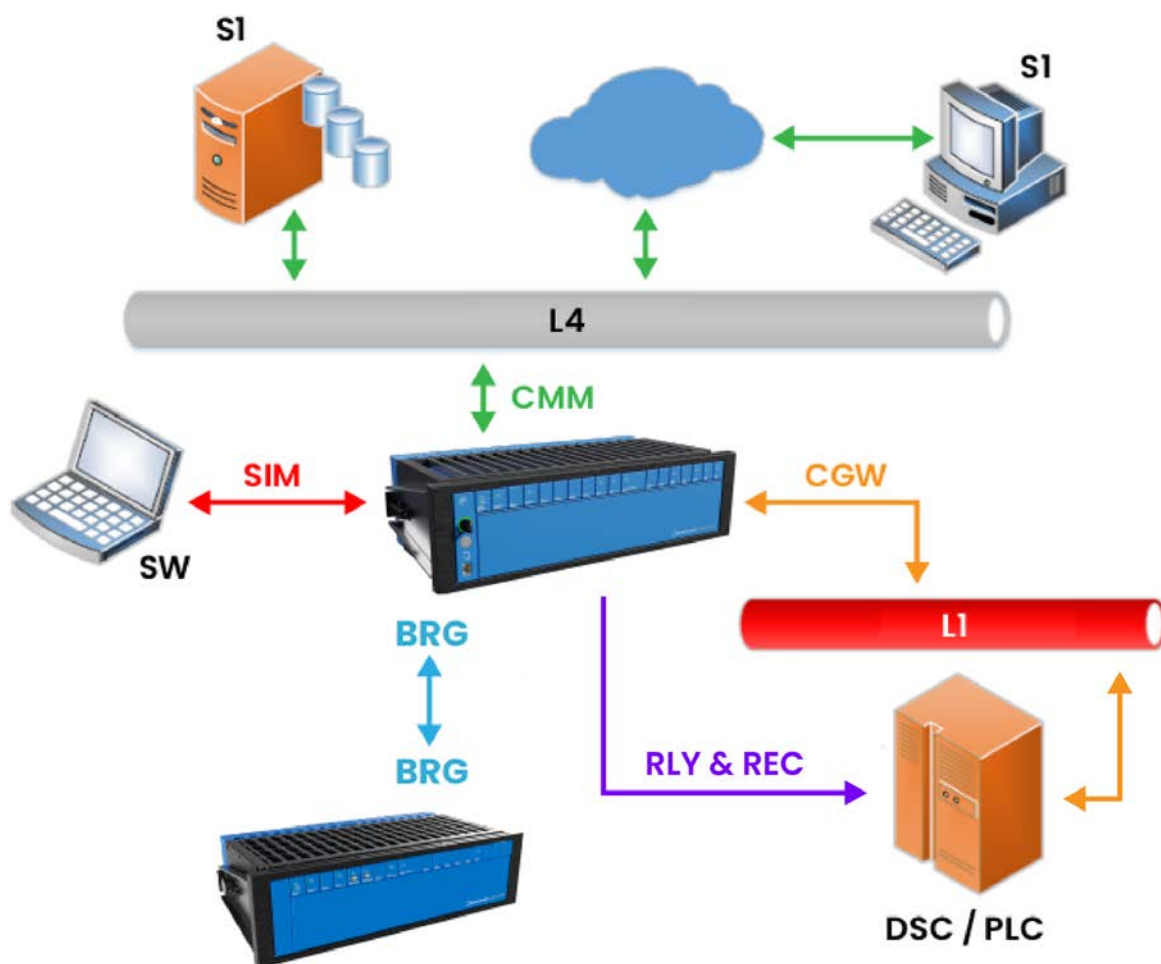
Ing. Jozef Tóth sr.

mobil: +421 905 78 78 41, e-mail: jozef.tothsr@energomechanika.com

<https://www.energomechanika.com/pl/>

Vedúce systémové schopnosti v odvetví

Séria Orbit 60 podporuje monitorovanie jedného alebo viacerých strojových zariadení v jednom nasadení. Jeden systém Interface Module (SIM) definuje každý systém a môže zahŕňať až 68 dynamických kanálov.



Systémový diagram

SIM - System Interface Module

CMM - Condition Monitoring Module

CGW - Comm Gateway Module

RLY & REC - Relay Outputs and/or Recorder Outputs

BRG - Bridge Module

S1 - System 1 Server or Client

CNFG - Orbit Studio Configuration Software

DCS/PLC - Distributed Control Systems/Programmable Logic Controller

L1 - Unit Network

L2 - Control Network

L4 - Business Network

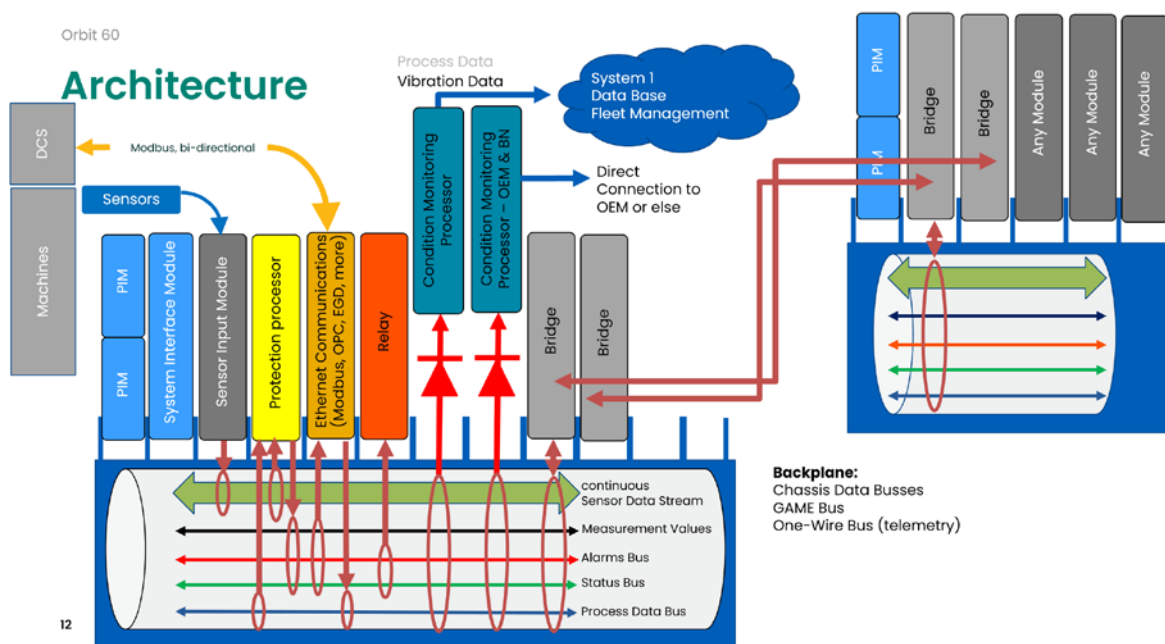
Energomechanika Sp. z o.o.

ul. Czerniakowska 26B/25, 00-714 Warszawa, Polsko

Ing. Jozef Tóth sr.

mobil: +421 905 78 78 41, e-mail: jozef.tothsr@energomechanika.com

<https://www.energomechanika.com/pl/>



Zhodnotenie

Stav 3500 monitorovacieho systému - **Monitorovací systém 3500 je aktuálne vo fáze 3.** Čo to znamená je uvedené ďalej.

Životný cyklus - Prehľad Baker Hughes používa tzv. Program životnosti výrobkov pozostávajúci z **piatich základných fáz**:

- **Fáza 1:** Produkt je vyrobený, hardvér sa predáva s plnou podporou a prebiehajúcim vylepšením, špeciálnymi úpravami, novými náhradnými dielmi a s možnosťou opáv náhradných dielov.
- **Fáza 2:** Zrelý výrobok ako vo fáze 1 okrem nových vylepšení. Špeciálne úpravy stále možné s obmedzením. Upozornenie na kúpu nových systémov oznámené niekoľko mesiacov pred prenosom do fázy 3.
- **Fáza 3: Iba Náhradné diely a opravy. Výrobok už nie je k dispozícii na nové inštalácie** a žiadne nové špeciálne modifikácie. Nové náhradné diely stále k dispozícii podpora a opravy ako vo fáze 1 a 2. Upozornenie na poslednú možnosť kúpy náhradných dielov je typicky vyslané niekoľko mesiacov pred prechodom do fázy 4.
- **Fáza 4: Iba opravy, nie ND.** Obmedzená podpora nových ND ako aj obmedzenie prerábok, (závislé od druhu potrebných komponentov na opravu). Upozornenie na poslednú možnosť opravy vyslané niekoľko mesiacov pred prechodom na fázu 5.
- **Fáza 5: Zastaralé** - výrobok má obmedzenú, alebo žiadnu podporu. Zákazníkom doporučujeme prechod na príslušnú náhradu s asistenciou Bently Nevada technickými špecialistami.

Preto nová informácia o novom výrobku ORBIT 60.

[1] Firemná prezentácia Bently Nevada a Baker Hughes company.2025

[2] Údajové listy Bently Nevada pre špecifikáciu Orbi 60

MĚŘTE NEBEZPEČNÉ STROJE
Z BEPEČNÉ VZDÁLENOSTI



WAVIS

TŘÍOSÝ BEZDRÁTOVÝ SNÍMAČ



KOMPATIBILNÍ S ANALYZÁTOREM VA5



ROZUMÍME ŘEČI VIBRACÍ



VVB30x

JE ČAS TO

POŘÁDNĚ ROZTOČIT!

Náš nový tříosý senzor vibrací VVB30x vám zaručí klid

Robustní kovové pouzdro namontujete v libovolné poloze.

Inteligentní vyhodnocování nepřetržitě detekuje vibrace ve třech osách a navíc měří povrchovou teplotu nerotujících komponent. Spolehlivě a včas tak odhalíte anomálie, opotřebení, poškození ložisek, nedostatečné mazání nebo kavitaci. Můžete reagovat dříve, než dojde k vážným škodám.

Váš vstup do světa prediktivní údržby nikdy nebyl snazší.



ifm.com

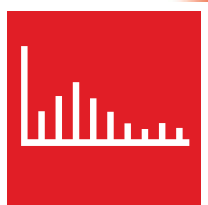
sensors. software. solutions.



ŘEŠENÍ PRO ÚDRŽBU A CONDITION MONITORING

- souosost rotačních strojů
- online condition monitoring
- offline měření vibrací
- provozní vyvažování
- indukční ohřev
- automatické mazání
- de/montáž ložisek

Jsme tu pro Vás už 35 let



TERMOKAMERY, AKUSTICKÉ KAMERY VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY

výroba v EU / USA = žádné čínské kopie, ale 100% originál

TERMOKAMERY, AKUSTICKÉ KAMERY, MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Když potřebujete kvalitní a spolehlivou termokameru, která poskytne nejlepší obraz, přesné měření teplot a dlouhou životnost se zaručeným a profesionálním servisem, určitě se obrátíte na výrobce s dlouhou historií, vlastním vývojem a největšími zkušenostmi. Teledyne FLIR je nejstarším (1958) a největším výrobcem termokamer na světě a díky tomu může nabídnout termokamery a přístroje pro všechny účely - od kapesních modelů, přes ruční a profesionální přenosné modely až po laboratorní vysoce citlivé systémy či speciální termokamery pro bezpečnostní / vojenské složky. Žádný jiný výrobce nenabízí takové portfolio spolu s vysokou kvalitou, odolností a životností, jako Teledyne FLIR.

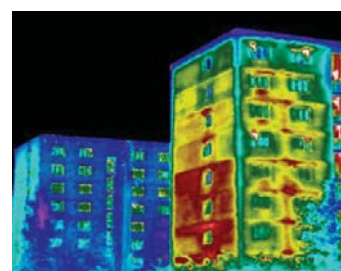
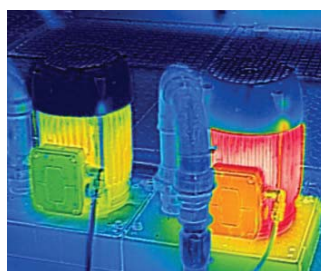
Naše společnost SpektraVision s.r.o. je dlouholetý distributor a PREMIUM Partner Teledyne FLIR a dodává spolu s technickou FLIR profesionální služby jako jsou školení, servis (opravy, kalibrace), pořádání odborných konferencí, což přináší našim zákazníkům bezkonkurenční výhody a spolehlivý provoz.

Přenosné a stacionární termokamery = kvalitní diagnostika a kontrola, automatizace



Přednosti termokamer FLIR:

- rozlišení snímače až 1024 x 768 (2048 x 1536) bodů
- vysoká citlivost < 20 mK, měření teplot až do +2000 °C
- funkce **MSX** a **UltraMax**, dotykové LCD, WiFi, Bluetooth
- bezkonkurenční záruka 10 let na snímač



Příklady využití:

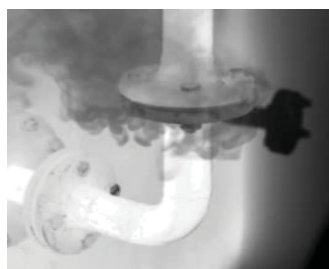
- diagnostika elektrických rozvodů a zařízení
- diagnostika mechanických strojů a zařízení
- diagnostika staveb a detekce vadné izolace
- kontrola teplot a řízení výrobních procesů

Termokamery OGI a akustické kamery = detekce úniků plynů / stlačeného vzduchu



Přednosti termokamer a akustických kamer FLIR:

- vysoké rozlišení snímače až 640 x 480 bodů
- vysoká citlivost až < 10 mK, měření od -40 °C až +1500 °C
- v souladu s EU regulativou proměření úniků metanu
- použití v prostředí s nebezpečím výbuchu - ATEX



Příklady využití:

- detekce výbušných plynů a těkavých látek
- detekce plynů CO, CO₂, SF₆, čpavku a dalších
- kontrola těsnosti chladírenských zařízení
- detekce a kvantifikace úniků stlačeného vzduchu

VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY

Vysokorychlostní kamery jsou nepostradatelným pomocníkem jak v průmyslu, tak zejména při vývoji a testování materiálů. Naše společnost SpektraVision s.r.o. dodává špičkové vysokorychlostní kamery od dvou světových výrobců, a to:

FASTEC Imaging (RDI) – kompaktní přenosné a stacionární vysokorychlostní kamery **FASTEC** určené zejména pro průmyslové využití

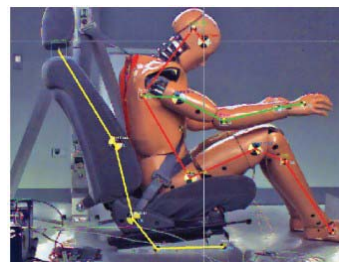
iX Cameras (dříve OLYMPUS) – špičkové laboratorní vysokorychlostní kamery **i-SPEED**, které jsou vzhledem ke svým výjimečným vlastnostem předurčeny pro dosažení nejvyšších videozáznamů v oblasti vývoje a výzkumu materiálů, ultrarychlých dějů, balistiky, crash testů a podobně.

Vysokorychlostní kamery = záznam ultrarychlých dějů ve vysokém rozlišení



FASTEC
an RDI Technologies Company

iX Cameras



Přednosti kamer i-SPEED a FASTEC:

- záznam ve vysokém rozlišení až 2072 x 1536 bodů
- rychlost záznamu až 2 450 000 fps (snímků / s)
- záznam > 12 700 fps v rozlišení full HD (1920 x 1080 bodů)
- vysoká citlivost, vzdálené ovládání, bezkonkurenční funkce

Příklady využití:

- záznam výrobních a obráběcích strojů a procesů
- vizualizace akustických jevů, vývoj nových materiálů
- pevnostní zkoušky a testování materiálů
- testování účinku zbraní, trhavin, balistika, atd.



SLUŽBY

termovizní měření

natáčení vysokorychlostní kamerou

odborná školení a semináře, poradenství, servis

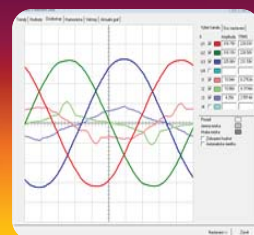


MĚŘICÍ A DIAGNOSTICKÉ PŘÍSTROJE

analýzátory kvality elektrických sítí

vysokorychlostní kamery

termokamery



SpektraVision

„vidíme svět v celém spektru“

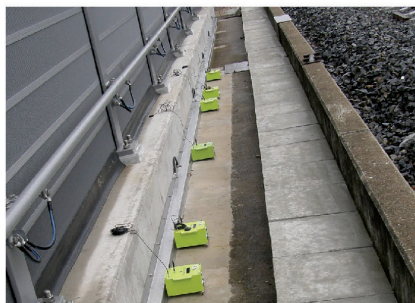
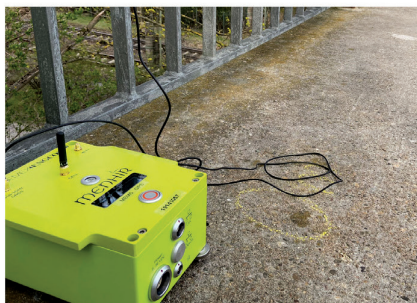
SpektraVision s.r.o.
Kruhová 128
251 01 Nupaky
Česká republika

tel./fax: +420 312 310 258
gsm: +420 608 600 647
e-mail: info@spektravision.cz
web: www.spektravision.cz



Bezobslužné monitorování vibrací

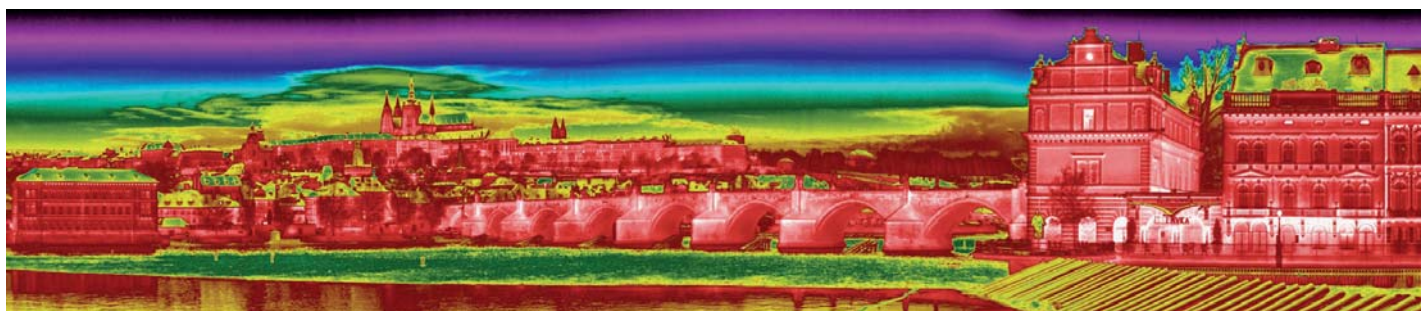
Snadná instalace • Přesné a spolehlivé měření • Autonomní provoz • Online přenos a ukládání dat



Všestranná platforma pro aplikace měření a monitorování vibrací, které vyžadují snadno použitelné, ale robustní a spolehlivé přístrojové řešení.

Jsou určeny k monitorování ve stavebnictví pro kontrolu vibrací a otřesů během stavebních projektů. Pro monitorování životního prostředí, pro řešení a plánování dopravy, monitorování průmyslových strojů, k zajištění bezpečnosti budov, konstrukcí, strojů a i v jiných oblastech.

Měřicí a diagnostické přístroje pro energetiku a průmysl



Již od roku 1991 firma "TMV SS" spol. s r.o. nabízí měřicí techniku pro diagnostiku a monitoring v různých odvětvích průmyslu, včetně energetiky, nebo ve vývoji a výzkumu. K prodané technice je dodán manuál v českém jazyce, je automaticky provedeno zaškolení a zajištěn hotline pro servis.



- » Termokamery InfraTEC a příslušenství pro termografické měření včetně speciálních kamer pro výzkum nebo detekci úniku plynů Opgal
- » Přístroje pro testování elektrických ochran, vypínačů, bateriových systémů firmy MEGGER (dříve PROGRAMMA)
- » Laserové dálkoměry LASER TECHNOLOGY pro všechny oblasti průmyslu
- » Řady přístrojů pro diagnostiku transformátorů firmy MEGGER, jako olejové zkoušečky, převodoměry, ohmmetry nebo testery na diagnostiku přístrojových transformátorů, atd.
- » Vysokorychlostní kamery od společnosti AOS pro výrobu a výzkum, s rychlostí záznamu až 100 tisíc snímků za vteřinu a rozlišením téměř Full HD
- » On-line monitorings výkonových transformátorů a přenosný chromatograf společností GE Grid Solutions a KELMAN
- » Akustické kamery pro detekci a lokalizaci zdrojů akustického signálu (vysokonapěťové výboje, stavebnictví, únik stlačeného plynu apod.)
- » Kamery UViRCO zobrazující koronovou aktivitu
- » Vysokonapěťové zdroje VLF a DC firmy B2 Electronic
- » Přístroje pro on-line a off-line monitoring, diagnostiku UPS a bateriových systémů od firmy JOST Elektrotechnik
- » Měřicí a monitorovací přístroje kvality SF6 od firmy WIKA - G.A.S. Dortmund
- » Termokamery HIKMICRO s unikátním poměrem ceny a výkonu
- » Přístroje pro detekci a kvantifikaci částečných výbojů v koncovech kabelů a v rozvaděčích VN od firmy EA Technology



Obchodní a servisní zastoupení pro ČR a SR:

"TMV SS" spol. s r.o.

Studánková 395, 149 00 Praha 4 - Újezd
tel.: +420 272 942 720, fax: +420 272 942 722
email: info@tmvss.cz, <http://www.tmvss.cz>

POČETNÁ SBÍRKA HISTORICKÝCH MOTOCYKLŮ

Restaurátorská dílna vznikla na Fakultě strojní VŠB-TUO za podpory Moravskoslezského kraje, který v roce 2015 dostal darem početnou sbírku historických motocyklů od akademického sochaře Miroslava Rybičky.

RESTAUROVÁNÍ POMOCÍ MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ

Na restaurování vybraných historických motorek pracují kromě zaměstnanců dílny také studenti, kteří jim co nejšetrněji vrací původní stav a podobu. Využívají při tom moderní technologie reverzního inženýrství, jako jsou aditivní technologie včetně 3D tisku a 3D skenování.

ZAPOJOVÁNÍ STUDENTŮ DO PRAXE

Díky Restaurátorské dílně tak studenti získávají praktické zkušenosti. Restaurátorská činnost se často stává tématem jejich závěrečných prací. Ve fázi příprav je pak otevření unikátní specializace zaměřené na problematiku uchovávání, opravy a udržování historických dopravních prostředků a strojních součástí.

PROPAGACE KRAJE A TECHNICKÉHO VZDĚLÁVÁNÍ

Ročně se v Restaurátorské dílně zrestauruje alespoň jeden historický motocykl, který slouží k propagaci kraje a technického vzdělávání. Díky dlouhodobé spolupráci VŠB – Technické univerzity Ostrava a Moravskoslezského kraje se tak sbírka dokumentuje a zhodnocuje.

A NUMEROUS COLLECTION OF HISTORIC MOTORCYCLES

The Restoration Workshop was established at the Faculty of Mechanical Engineering at VSB-TUO with the support of the Moravian-Silesian Region, which received as a gift a large collection of historic motorcycles from the academic sculptor Miroslav Rybička in 2015.

RESTORATION USING MODERN TECHNOLOGIES

In addition to the workshop employees, students also work on the restoration of selected historic motorcycles, returning them to their original condition and appearance with the utmost care. They use modern reverse engineering technologies, such as additive technologies, including 3D printing and 3D scanning.

INVOLVING STUDENTS IN PRACTICE

Thanks to the Restoration Workshop, students gain practical experience. Restoration activities often become the subject of their final theses. The opening of a unique specialization focused on storage, repair, and maintenance of historic vehicles and machine parts is in the preparation phase.

PROMOTION OF THE REGION AND TECHNICAL EDUCATION

Every year, at least one historic motorcycle is restored in the Restoration Workshop, which serves to promote the region and technical education. Thanks to the long-term cooperation of VSB – Technical University of Ostrava and the Moravian-Silesian Region, the collection is documented, and its value is increasing.



Autor:	Kolektiv autorů
Katedra, institut:	340 - Katedra konstruování
Název:	„DIAGO® 2026“ Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení, sborník 43. mezinárodní vědecké konference
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2026, 1. vydání
Počet stran:	147
Vydala:	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava 17. listopadu 2172/15 708 00 Ostrava - Poruba
Tisk:	VŠB - Technická univerzita Ostrava
Náklad:	on-line
	Neprodejné

ISBN 978-80-248-4844-0 (on-line)