



SLOVENSKÁ
SPOLOČNOSŤ
ÚDRŽBY

ÚDRŽBA

MAINTENANCE - INSTANDHALTUNG

VYDÁVA SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY



ÚDRŽBA 1/2025

OBSAH

Šéfredaktor: doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.

Redakčná rada: Ing. Martin Bukovinský
Ing. Peter Darvaši
Ing. Gabriel Dravecký, PhD.
Ing. Branislav Krajčo
Ing. Branislav Kyseľ
Ing. Ladislav Máťaš
Prof. Ing. Róbert Olšiak, PhD.
prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.
Ing. Soňa Sopóci

Vydavateľ: Slovenská spoločnosť údržby
Kocel'ova 15
815 94 Bratislava

Využití online diagnostiky pro detekci poškození valivých ložisek Ladislav Chalánek	1
Trikrát áno pre nové funkcie jednotiek úpravy stlačeného vzduchu Andrej Hrubý, Stanislav Slaminka	7
Meranie a mapovanie korózie pod izoláciou Jan Vytřísal	13
Využitie kombinácie akustickej diagnostiky s 3D metrológiou v údržbe Ján Ďungel, Michal Podolinský	21
Návrh autonómnej údržby robotickej lakovacej linky železničných vozňov Pavol Dzurik	27

Elektronický časopis

Ročník vydania: XXV

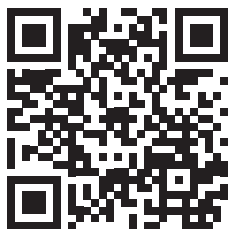
Periodicita nepravidelná

ISSN 2729-8396



Autá by tankovali **kvalitné palivá** od ORLEN. Doprajte im zážitok z jazdy.

Stahuj apku
pre viac výhod



Spoločne na ceste vpred.

orlen.sk

VYUŽITÍ ONLINE DIAGNOSTIKY PRO DETEKCI POŠKOZENÍ VALIVÝCH LOŽISEK

Ladislav CHALÁNEK

Anotace

Vibrační diagnostika je jedna z možností multiparametrické diagnostiky, jak odhalovat poškození na strojních komponentech. Informace a výsledky analýzy vibračních dat pomáhají údržbě se bezpečně připravit na plánovanou odstávku a zamezit, tak velmi drahým a neplánovaným odstávkám. Specialisté disponující znalostmi analýzy vibračních dat dokážou odhalit například mechanické problémy spojené s nevyvážeností rotorů, nesouosostí hřídelů, mechanické uvolnění základů či kotevních šroubů apod. speciální metody měření dokonce zachytí problémy s mazáním či počínající poškození valivého ložiska a přesně specifikovat a kterou část ložiska se jedná.

1 Úvod

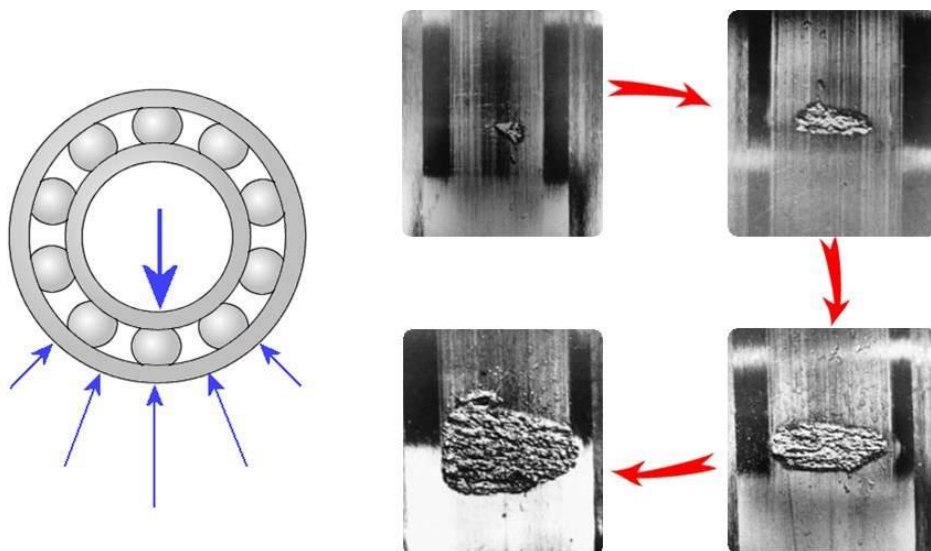
Valivá ložiska patří k nejdůležitějším součástem většiny strojů a navíc musí splňovat vysoké nároky na únosnost a spolehlivost. Z toho důvodu byl valivým ložiskům zcela právem přiznán jejich význam a v průběhu let se staly předmětem rozsáhlých výzkumů. Vznikl samostatný vědní obor zaměřený na valivá ložiska.

Jedním z výsledků tohoto výzkumu je možnost vypočítat trvanlivost s poměrně vysokou přesností, což umožňuje přizpůsobit trvanlivost ložiska životnosti stroje. Mají-li valivá ložiska fungovat spolehlivě, musí být adekvátně mazána, aby se zabránilo styku kovu s kovem mezi valivými prvky, dráhami a klecí. Separace povrchů ložiska je primární funkcí maziva, které musí také inhibovat opotřebení a chránit ložiskové plochy před korozí. v některých aplikacích se mazivo používá k přenášení tepla.

Proto je důležitá volba vhodného maziva a způsobu mazání pro každé jednotlivé použití ložiska, stejně jako správná údržba. Skutečná volba maziva závisí především na provozních podmínkách, tj. na teplotním rozsahu, rychlostech a vlivu okolí. Nejvýhodnější provozní teploty bude dosaženo, když minimální množství maziva potřebné pro spolehlivé mazání ložisek je zajištěno.

2 Životnost a trvanlivost ložiska

Valivé ložisko nemůže v zásadě pracovat neomezeně dlouho. Pokud nejsou ideální provozní podmínky a v případě, že je dosaženo mezního únavového zatížení, se dříve nebo později projeví únava materiálu. Doba, která uplyne, než se projeví první příznaky únavy materiálu, závisí na počtu otáček ložiska a velikosti zatížení. Únava materiálu je výsledkem působení smykových napětí, která opakovaně vznikají těsně pod zatěžovaným povrchem. Po určité době vyvolá napětí trhlinky, které se postupně šíří směrem k povrchu. Při odvalování valivých těles přes trhlinky se odlamují částice materiálu.



Obr. 1 Postupný rozvoj defektu valivého ložiska

Tento jev se nazývá odlupování. Poškozená plocha se progresivně zvětšuje a nakonec je ložisko poškozeno v takovém rozsahu, že je nepoužitelné. Trvanlivost ložiska je definována jako počet otáček, které ložisko dokončí, než dojde k odlupování materiálu. To však neznamená, že ložisko už nemůže být používáno. Odlupování je poměrně dlouhý proces, který se projevuje vzrůstající hlučností a vibracemi ložiska. Provozovatel má tedy zpravidla dostatek času, aby se mohl připravit na výměnu ložiska.

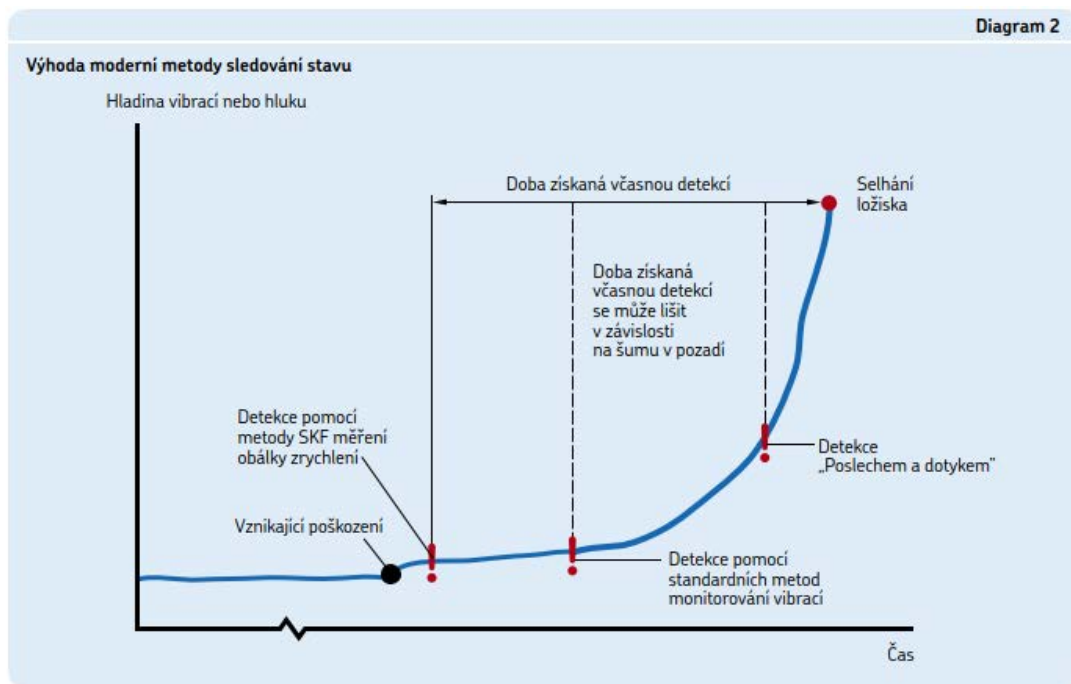
Provozní trvanlivost, což je skutečná trvanlivost ložiska v reálných provozních podmínkách do doby selhání ložiska (nebo kdy není schopno provozu), závisí na mnoha faktorech, jakými např. jsou mazání, míra znečištění prostředí ložiska, nesouost, správná montáž, a dále záleží na provozních podmínkách jako zatížení, teplota a úroveň vibrací. SKF důrazně doporučuje brát tyto faktory do úvahy a provádět výpočty trvanlivosti podle SKF, nikoli pouze základní výpočtové trvanlivosti.

3 Včasná indikace poškození valivých ložisek

Obecně je přijímáno, že měření a analýza vibrací je nejvhodnější metodou monitorování a hodnocení technického stavu rotačních strojů. Vibrace jsou v tomto případě symptomem (tj. nosičem informací) technického stavu, a ne problémem samotným, jak je často uvažováno z hlediska provozní praxe.

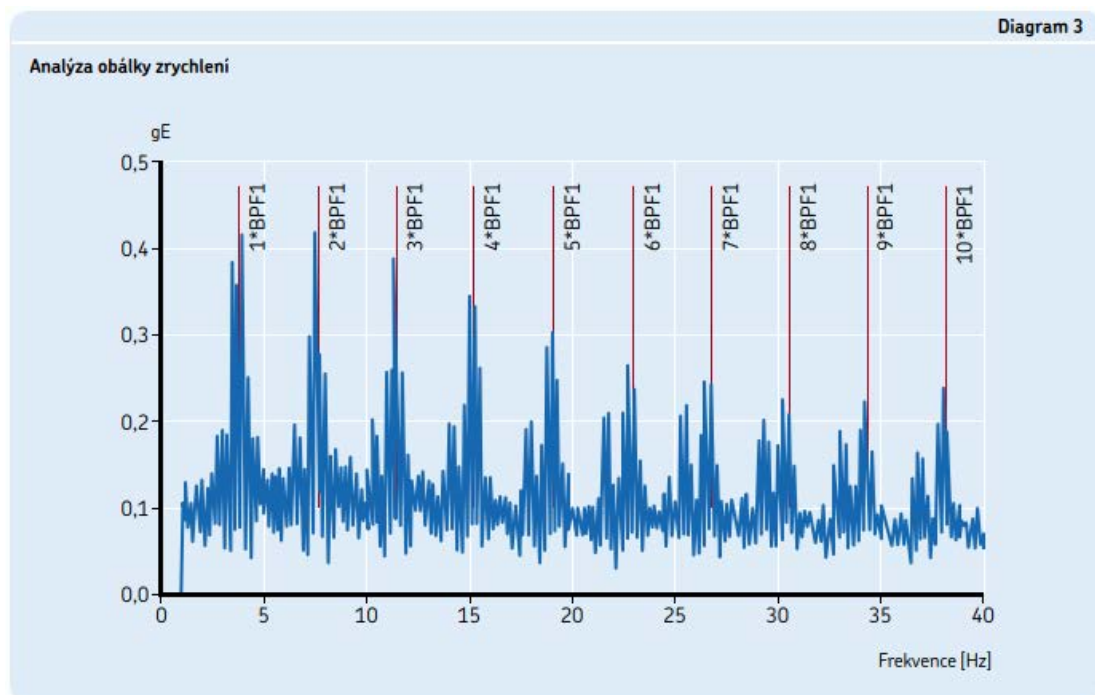
Zvýšení vibrací znamená, že ve stroji se vyskytuje problém a analýzou signálu vibrací lze získat užitečné informace pro zjištění kořenové příčiny problému. Pokud známe příčinu problému lze navrhnout optimální řešení problému stroje, jakož i navrhnout nápravné akce.

Ložiska jsou zpravidla nejdůležitější částí všech typů rotačních zařízení. V této souvislosti je vhodné poznamenat, že i když monitorování stavu valivých ložisek je založeno na měření vibrací, diagnostika jejich technického stavu vyžaduje použití speciálních metod úpravy vibračního.



Obr. 2 Vývoj poškození ložiska v čase

Každé ložisko vydává nízkofrekvenční signál. Frekvence signálu závisí na počtu a velikosti valivých těles, stykovém úhlu ložiska a na roztečném průměru valivých těles. Pokaždé, když se valivá tělesa převalí přes vadu, vzniká vysokofrekvenční signál a amplituda signálu dosahuje špičky (maxima). Míra výskytu těchto špiček závisí na rychlosti otáčení, místě defektu v ložisku i na vnitřní geometrii ložiska. Ke sledování stavu ložiska se používá metoda nazvaná obálka zrychlení. Obálka zrychlení odděluje vysokofrekvenční signál vydávaný vadou od jiných rotačních či konstrukčních frekvencí přirozeně vznikajících uvnitř stroje obr. 3.

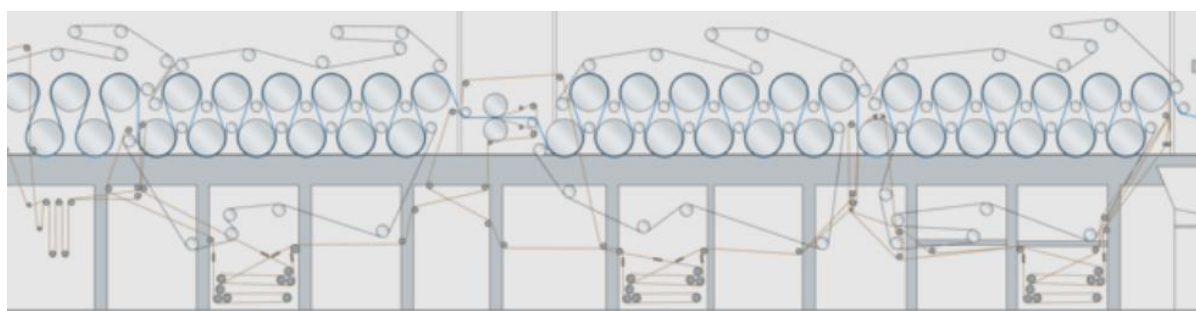


Obr.3 Spektrum obálky signálu zrychlení s viditelným poškozením ložiska

4 Využití online monitoringu pro detekci poškození valivého ložiska sušícího válce

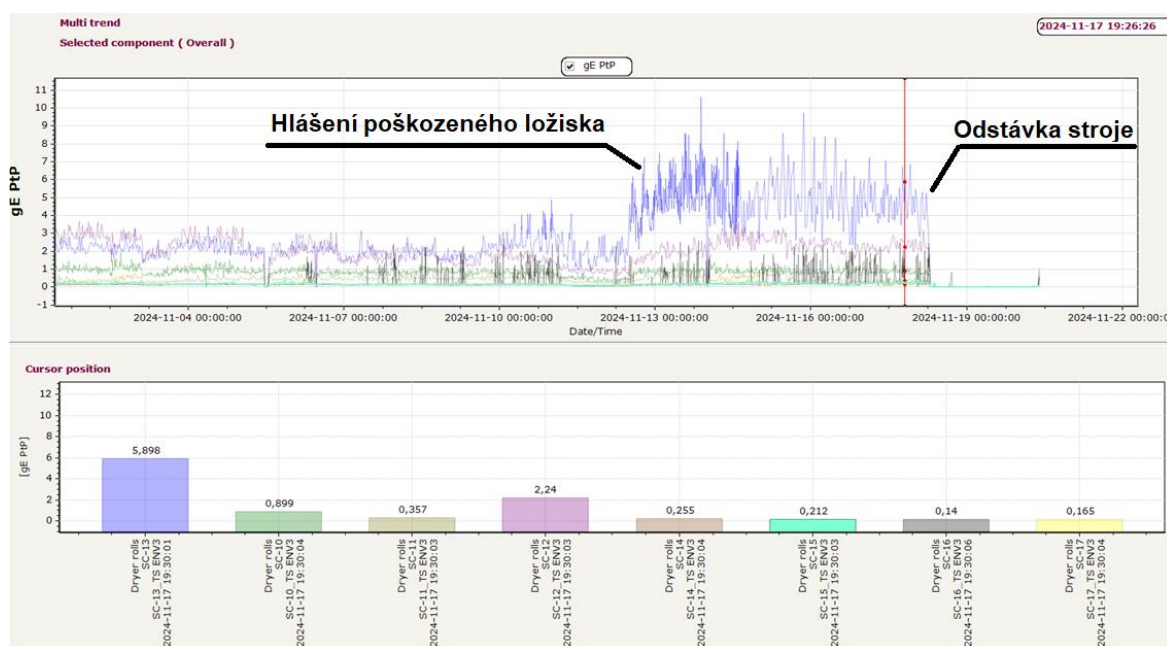
Významnou roli hraje online monitoring při odhalování poškození kritických strojních komponentů v papírenském průmyslu. Poškození ložiska, povrchu hřídele válce, popřípadě ložiskového tělesa jsou scénáře, ke kterým dochází, pokud není poškozené ložisko vyměněno ve správný čas. V tomto kontextu roste význam online monitoringu, který spočívá v tom, že diagnostici dokážou monitorovat a vyhodnocovat celkový technický stav všech ložisek v reálném čase a odhalit počáteční poškození valivého ložiska.

Následující případ z praxe popisuje proces práce s online monitorovanými daty od počátku nárůstu trendu až po výměnu ložiska. Jedná se o konstrukci párou vyhřívaného válce o pracovních otáčkách 100 – 130 ot/min. Válec je uložen na soudečkových ložiscích s centrálním olejovým mazacím systémem.



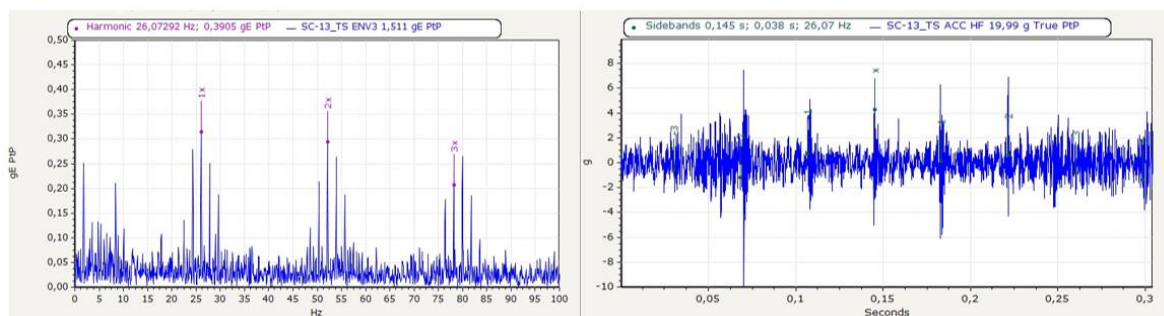
Obr.4 Grafický příklad Sušící sekce papírenského stroj

Multi trendová analýza umožňuje rychlou detekci problémových pozic, na základě porovnání trendů a změn nárůstů celkových hodnot monitorovaných parametrů. Na obr.5 je vyobrazen Multi trend obálky signálu zrychlení sušících válců. Z prvního pohledu je patrný nárůst a výrazně vyšší celková trendová hodnota válce č.13.



Obr.5 Multi trendová analýza obálky signálu zrychlení

Pro přesné zjištění odůvodnění rostoucího trendu a identifikaci problému byla použita analýza spektra obálky signálu zrychlení a časového záznamu zrychlení. Ve spektru byly viditelné poruchové frekvence vnitřního kroužku ložiska. Poruchová frekvence byla detekována i za pomoci analýzy časového záznamu zrychlení, kde jsou viditelné rázy projevující se stejnou frekvencí, jako ve spektru obálky signálu zrychlení, a to 26,07 Hz (14,81XRPM) obr.6.



Obr.6 Spektrum obálky signálu zrychlení a časový záznam zrychlení



Obr.7 Poškození vnitřního kroužku ložiska (příčná prasklina kroužku)

Tento úspěšně vyřešený případ za pomoci online monitoringu poukazuje na význam včasné detekce přes nahlášení problému zákazníkovi až po samotnou výměnu ložiska v plánované odstávce. Celkový interval mezi nahlášením nárůstu trendu až po výměnou ložiska byl 6 dnů. Během této doby byl zákazník informován o aktuálním vývoji trendu.

5 Závěr

Online monitoring je významný nástroj pro zvyšování provozní spolehlivosti výrobních strojů. Pokročilé možnosti trendové analýzy přinášejí detailní přehled nad kondicí měřeného stroje a v případě vznikajícího problému dostává zákazník varování s dostatečným časovým předstihem. Hlavní uplatnění je primárně pro stroje s vysokou kritičností, kde je požadavek na minimum odstávek, popřípadě pro případy řešení problémů tzv. troubleshooting. Méně viditelnou výhodou, ale o to důležitější je pokrytí měřících míst, které nejde z důvodu bezpečnosti práce za standardního provozu měřit. Komplexně monitorovaný stroj a data vyhodnocovaná zkušeným týmem diagnostiků zamezuje zbytečným finančním škodám v podobě odstaveného stroje.

Literatura:

Interní zdroje SKF

Autor:

Ing. Ladislav Chalánek
Predictive maintenance specialist
SKF Česko
Technologická 374/6
708 00 Ostrava-Pustkovec
Česká republika
Tel.: +420 603 489 261
E-mail: ladislav.chalanek@skf.com

GENERÁLNE OPRAVY PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV V INDUSTRY 4.0

Andrej HRUBÝ, Stanislav SLAMINKA

Anotácia

Príspevok sa venuje problematike generálnych opráv priemyselných robotov v kontexte Industry 4.0. Opisuje význam generálnych opráv ako nástroja na predĺženie životnosti zariadení, optimalizáciu investičných nákladov a zabezpečenie stability výrobných procesov. Na konkrétnych prípadových štúdiách z praxe sú prezentované prínosy včasne realizovaných opráv, ako aj dôsledky zanedbanej údržby. Súčasťou príspevku sú odporúčania pre plánovanie a realizáciu generálnych opráv s dôrazom na využitie moderných nástrojov prediktívnej údržby.

Kľúčové slová: generálna oprava, priemyselné roboty, údržba, Industry 4.0, prediktívna údržba

Úvod

Priemyselné roboty predstavujú jeden z kľúčových prvkov automatizácie výrobných procesov a patria medzi základné stavebné kamene konceptu Industry 4.0. Ich nasadenie zvyšuje produktivitu, opakovateľnosť a kvalitu výroby, pričom zároveň znižuje nároky na obsluhu a riziko chýb. S narastajúcim počtom robotizovaných pracovísk rastie aj potreba systematického prístupu k údržbe a predlžovaniu životnosti robotických zariadení.

Jednou z možností, ako maximalizovať návratnosť investícií do robotickej techniky, je realizácia generálnych opráv (GO). Tie predstavujú rozsiahly zásah do technického stavu robota s cieľom obnoviť jeho pôvodné parametre, predĺžiť jeho životný cyklus a minimalizovať výpadky vo výrobe. V prostredí Industry 4.0, kde sa kladie dôraz na prepojenosť, zber dát a prediktívne riadenie procesov, však získavajú generálne opravy nový rozmer.

Tento príspevok sa venuje problematike generálnych opráv priemyselných robotov v kontexte Industry 4.0. Cieľom je poukázať na technické a organizačné aspekty týchto zásahov, predstaviť nové možnosti sledovania stavu robotov a identifikovať prínosy pre podniky, ktoré sa rozhodnú zaradiť generálne opravy do svojej údržbovej stratégie.

Charakteristika generálnych opráv

Generálna oprava (GO) priemyselného robota predstavuje komplexný zásah zameraný na obnovenie jeho technického stavu do úrovne zodpovedajúcej novému zariadeniu alebo jeho plne funkčnému stavu. Ide o plánovaný servisný zásah, ktorý zahŕňa demontáž, kontrolu, výmenu opotrebovaných komponentov, znovuzloženie, kalibráciu a finálne testovanie robota.

Rozsah generálnej opravy sa môže líšiť v závislosti od výrobcu, typu robota a jeho prevádzkového zaťaženia. Vo väčšine prípadov však oprava zahŕňa:

- výmenu alebo repasovanie pohonných jednotiek (servomotorov),
- kontrolu a prípadnú výmenu prevodoviek,
- výmenu ložísk a tesnení,
- premazanie alebo výmenu mazacích systémov,
- kontrolu a opravu káblových zväzkov (napr. v tele robota osí A1 až A6),
- kalibráciu polohovacej presnosti a opakovateľnosti.

V tradičnom prostredí je rozhodovanie o potrebe generálnej opravy založené prevažne na čase prevádzky, subjektívnom hodnotení obsluhy alebo reakcii na poruchu. Tento reaktívny prístup však môže viesť k neplánovaným prestojom a vyšším nákladom na núdzové opravy. S nástupom konceptu Industry 4.0 sa otvárajú nové možnosti pre prediktívne plánovanie opráv na základe reálnych dát z prevádzky robota.

Pre správne naplánovanie GO je nevyhnutné mať k dispozícii:

- aktuálne dáta o zaťažení a opotrebení komponentov,
- informácie o histórii porúch a servisných zásahov,
- a prístup k náhradným dielom či servisným súpravám odporúčaných výrobcom.

Generálne opravy predstavujú ekonomicky výhodnú alternatívu k nákupu nových robotov, najmä v prípadoch, kde sa roboty nachádzajú v aplikáciách s vysokou mechanickou záťažou, no zároveň nemajú zastaraný riadiaci systém alebo rozhrania. Včasne naplánovaná a kvalitne realizovaná GO dokáže robota predĺžiť životnosť o niekoľko rokov a v mnohých prípadoch dosiahnuť znovu pôvodné parametre presnosti a spoľahlivosti.

Životný cyklus priemyselného robota a plánovanie generálnej opravy

Priemyselný robot, rovnako ako každé technické zariadenie, prechádza počas svojej prevádzky viacerými fázami životného cyklu – od nasadenia do výroby, cez plnú prevádzku, až po útlm, generálnu opravu alebo vyradenie. Porozumenie týmto fázam je kľúčové pre efektívne plánovanie údržby a optimalizáciu celkových prevádzkových nákladov (TCO – Total Cost of Ownership).

Životný cyklus robota možno rozdeliť na nasledujúce etapy:

1. Inštalácia a nábeh – fáza nastavovania, programovania a integrácie do výrobného procesu.
2. Plná prevádzka – robot pracuje v bežnom cykle, vykonáva úlohy v rámci svojho nasadenia.
3. Fáza opotrebovania – začínajú sa prejavovať známky mechanického opotrebenia (napr. vôľa v prevodovkách, vyššie vibrácie, zvýšená spotreba elektrickej energie).
4. Zásadný servisný zásah alebo GO – realizuje sa, keď robot prestáva plniť požiadavky na presnosť, spoľahlivosť alebo už predstavuje riziko pre plynulý chod výroby.
5. Opätovné nasadenie alebo vyradenie – robot sa po GO znovu začlení do výroby alebo je nahradený novým zariadením.

Jedným z hlavných parametrov ovplyvňujúcich plánovanie GO je MTBF (Mean Time Between Failures) – priemerný čas medzi poruchami. Tento ukazovateľ, ak je systematicky sledovaný, môže významne prispieť k predikcii opotrebenia a určiť vhodný moment na preventívnu výmenu komponentov alebo realizáciu GO.

Plánovanie GO by malo byť založené nielen na prevádzkových hodinách, ale aj na:

- počte cyklov osí (najmä pre osi s vysokým dynamickým zaťažením, ako je A1 alebo A6),
- nameraných vibráciách alebo hlučnosti,
- diagnostike z riadiaceho systému (napr. teplota motorov, spotreba prúdu),
- sledovaní mazacích cyklov a spotreby maziva.

Moderné robotické systémy čoraz častejšie umožňujú zber a analýzu týchto dát, pričom niektorí výrobcovia (napr. KUKA, ABB, FANUC) poskytujú aj prediktívne diagnostické nástroje ako súčasť svojho softvérového balíka. Tieto nástroje umožňujú lepšie plánovanie GO v súlade s reálnym stavom robota a minimalizáciu neplánovaných prestojov. Medzi takéto nástroje patria napríklad KUKA iiQoT, ABB Ability Connected Services alebo FANUC ZDT, ktoré umožňujú včasné odhalenie abnormalít v správaní robotov. Tieto nástroje zvyčajne fungujú na princípe online pripojenia robota k serveru výrobcu alebo ku cloudovým platformám, čo umožňuje vzdialené monitorovanie stavu zariadení [1].

V praxi však nie všetky firmy akceptujú takéto riešenie z dôvodu obáv o kybernetickú bezpečnosť alebo interných bezpečnostných politík, a preto sa vo väčšine prípadov preferuje lokálne monitorovanie bez externého prístupu.

Industry 4.0 a jeho dopad na údržbu a generálne opravy

Koncept Industry 4.0 prináša zásadnú transformáciu v oblasti údržby výrobných technológií vrátane priemyselných robotov. Kým tradičný prístup k údržbe sa opieral o pevne stanovené intervaly alebo reakciu na poruchu, súčasné technológie umožňujú prejsť na stavovo riadenú (condition-based) a prediktívnu údržbu (predictive maintenance). To má významný vplyv aj na plánovanie a realizáciu generálnych opráv.

Základom tejto zmeny je:

- senzorika (napr. meranie vibrácií, teploty, prúdu, tlaku),
- zber a analýza prevádzkových dát,
- integrované softvérové nástroje pre diagnostiku a predikciu porúch.

Senzorika a monitoring

Moderné robotické systémy umožňujú nepretržité sledovanie kľúčových komponentov, ako sú prevodovky, ložiská a pohony. Napríklad:

- zvýšené vibrácie môžu indikovať opotrebenie ložísk alebo nesymetriu v pohone,
- nárast teploty v osi A1 môže signalizovať zhoršené mazanie alebo blížiacu sa zlyhanie motora,
- spotreba elektrického prúdu sa môže zvyšovať pri mechanickom odpore v prevodovke.

Tieto dáta je možné spracovať pomocou algoritmov strojového učenia, ktoré sa postupne naučia identifikovať odchýlky od normálneho správania a včas upozorniť na potrebu zásahu.

Smart údržba v praxi

Niektorí výrobcovia už implementujú proaktívne servisné protokoly, ktoré navrhujú konkrétny časový horizont pre GO na základe agregovaných dát z flotily robotov. Tento prístup umožňuje výrobcovi plánovať GO tak, aby sa minimalizoval dopad na výrobný plán a zároveň sa predchádzalo nákladným haváriám.

Industry 4.0 tak prináša do oblasti generálnych opráv nový rozmer – opravy sa stávajú súčasťou optimalizovaného výrobného reťazca, nie nevyhnutným zlom vo výrobe. To vedie k efektívnejšiemu využívaniu robotov, znižovaniu nákladov na neplánované odstávky a predĺženiu životného cyklu zariadení.

Príklady z praxe: Generálne opravy priemyselných robotov

Praktická realizácia generálnych opráv priemyselných robotov potvrdzuje ich významné prínosy pre výrobu aj údržbu. V nasledujúcich príkladoch sú predstavené skúsenosti so servisom robotov.

Prípadová štúdia 1: Generálna oprava robota KUKA Quantec KR150 R3100 prime

V jednej spoločnosti na výrobu dielov pre automobilový priemysel prebiehalo rozhodovanie medzi použitím staršej generácie robota, dostupného z predošlého projektu a novým robotom druhej, teda najnovšej generácie typu KUKA Quantec. Robot mal za sebou viac ako 35 000 prevádzkových hodín a vykazoval zvýšené vôle na prevodovke osi A1 a osi A6.. Tým pádom by pri nasadení do novej výroby vznikali nepresnosti pri polohovaní dielu v procese nitovania matíc do presného otvoru. Okrem toho boli na robotovi viditeľné odery a kozmetické vady spôsobené predchádzajúcou prevádzkou, čo by novému pracovnému miestu uberalo na vizuálnej dokonalosti.

Po zhodnotení investičných nákladov sa podnik rozhodol pre realizáciu generálnej opravy. Proces zahŕňal:

- výmenu prevodovky osi A1 a osi A6,
- kontrolu všetkých ostatných prevodoviek,
- preventívnu výmenu ložísk a tesnení v zápästí robota,
- preventívnu výmenu ložiska vyvažovacieho valca osi A2,
- lakovanie robota,
- kalibráciu presnosti.

Výsledkom bolo obnovenie plnej funkčnosti robota, predĺženie jeho životnosti o ďalších 20 000 až 25 000 prevádzkových hodín a nákladová úspora približne 60 % v porovnaní s nákupom nového robota.

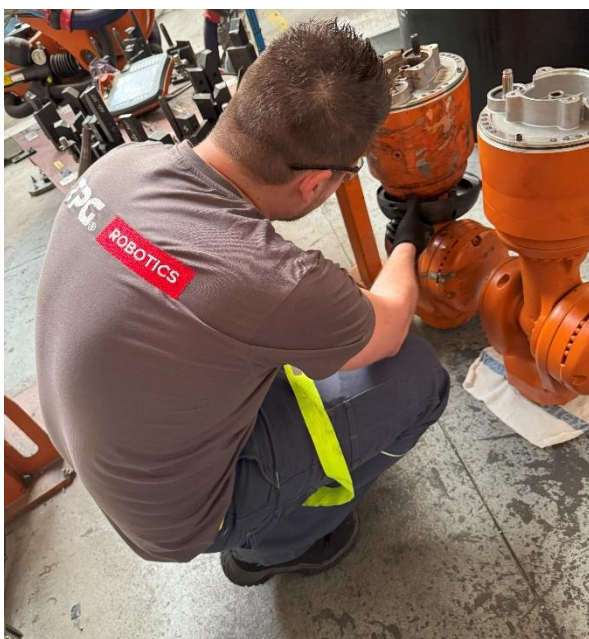
Prípadová štúdia 2: Zanedbanie včasnej generálnej opravy robota KUKA Quantec KR210 R2700 extra

Rovnako v spoločnosti zameranej na automobilový priemysel bol v prevádzke robot, ktorý počas celej svojej služby manipuloval veľké diely pomocou ťažkého chápadla. Robot mal zanedbanú preventívnu údržbu a nedisponoval systémom na monitorovanie parametrov prediktívnej údržby [2]. Počas nočnej smeny došlo k deštrukcii ozubení na prepojovacom hriadeľi osi A5, čo spôsobilo, že servomotor pracoval naprázdno. Následkom tejto situácie bol:

- nekontrolovaný a nebezpečný pohyb osi A5 počas trajektórie robota,
- náraz nástroja do prípravku v odoberacej pozícii,
- vznik materiálnych škôd na nástroji a prípravku,
- prestoj vo výrobe,
- náklady na servis a opravu poškodených častí výrobnéj linky.



Obr. 1 Poškodené ozubenie hriadeľa



Obr. 2 Výmena poškodeného zápästia robota



Obr. 3 Robot po servisnom zásahu

Pri servisnom zásahu bolo zistené, že zápästie robota fungovalo bez oleja, ktorý vytiekol cez poškodené tesnenie. To viedlo k nadmernému zaťaženiu ozubení hriadeľov prenášajúcich krútiaci moment zo servomotorov až došlo k úplnej deštrukcii tisíchrnu.

Záver a odporúčania

Generálne opravy priemyselných robotov predstavujú v prostredí Industry 4.0 efektívny nástroj na predĺženie životnosti zariadení, optimalizáciu investičných nákladov a zvýšenie udržateľnosti výrobných procesov.

Prípadové štúdie ukazujú, že včasná realizácia generálnych opráv môže výrazne predchádzať neplánovaným odstávkam, znížiť riziko nehôd a zároveň dosiahnuť významné finančné úspory v porovnaní s nákupom nových robotov.

Kľúčovými faktormi úspešnej implementácie generálnych opráv sú:

- pravidelné monitorovanie technického stavu robotov pomocou nástrojov prediktívnej údržby,
- plánovanie preventívnej údržby a generálnych opráv v súlade s prevádzkovými cyklami,
- kvalifikované vykonávanie opráv v súlade s technickými špecifikáciami výrobcu.

Pre maximálnu efektivitu sa odporúča:

- včas identifikovať roboty vhodné na generálnu opravu podľa prevádzkových hodín, mechanického stavu a nárokov výrobného procesu,
- zapojiť do procesu plánovania údržby aj odborníkov na robotiku a servisné firmy,
- neodkladať opravy pri zistení začínajúcich porúch, aby sa minimalizovali riziká väčších škôd.

V kontexte Industry 4.0, kde sa kladie dôraz na flexibilitu, efektivitu a dlhodobú udržateľnosť, sa generálne opravy priemyselných robotov stávajú neoddeliteľnou súčasťou modernej údržbovej stratégie. Ich správna implementácia významne prispieva k rozvoju inteligentnej výroby budúcnosti.

Použitá literatúra:

- [1] MÜLLER, Peter – Maintenance Strategies for Robotic Systems in Industry 4.0
- [2] KUKA Deutschland GmbH, MA KR QUANTEC extra V12

Autor:

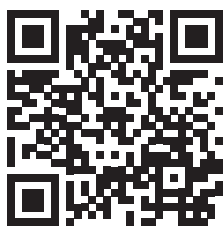
Ing. Stanislav Slaminka
Robotics manager
TPG – strojársky veľkoobchod s.r.o.
Nová Rožňavská 134/A
831 04, Bratislava
Tel.: +421 949 282 768

E-mail: slaminka@tpg.sk

Bodujte s ORLEN apkou



Užite si odmeny za body, ktoré sa sypú,
či už tankujete, alebo nakupujete.



Stiahni si apkú tu



orlen.sk

MERANIE A MAPOVANIE KORÓZIE POD IZOLÁCIOU

Jan VYTŘÍŠAL

Anotácia

Korózia pod izoláciou (CUI – Corrosion Under Insulation) je proces korózie, ktorému je veľmi ťažké zabrániť a predstavuje riziko pre bezpečnosť priemyselných procesov, najmä v zariadeniach vystavených vysokým teplotám a tlakom. Dôvodom je to, že voda bez ohľadu na prijaté opatrenia väčšinou vsiakne do izolácie, ktorá keď sa dostane do styku s oceľovým materiálom začne spôsobovať koróziu. Keďže táto korózia je skrytá pod izoláciou, väčšinou sa na ňu príde až keď dôjde k poškodeniu plášťa, alebo až k úniku produktu.

Demontáž izolácie, kontrola a opätovná inštalácia izolácie po kontrole je nákladný proces a preto metóda merania poľa pulzných vírivých prúdov (PECA™, PEC) je výbornou alternatívou pre meranie a mapovanie korózie bez nutnosti odstránenia izolácie. Táto metóda využíva elektromagnetické pole na detekciu zníženej hrúbky materiálu spôsobenej koróziou.

Výhodou tejto metódy je jej aplikácia pri meraní cez rôzne izolačné vrstvy, ako aj typické prípady použitia, vrátane monitorovania korózie urýchlenej prúdením. Metódou PECA™ je možné merať koróziu pod izoláciou za prevádzky, pri vysokých teplotách a v rôznych priemyselných podmienkach.

Kľúčové slová: diagnostika, NDT, meranie korózie, korózia pod izoláciou

1 Korózia pod izoláciou (CUI – Corrosion Under Insulation)

Korózia pod izoláciou je jednou z najzávažnejších a súčasne najčastejších príčin porúch tlakových a tepelných systémov, ktorá sa vyskytuje naprieč rôznymi priemyselnými odvetviami od energetiky, petrochemického a chemického priemyslu až po spracovanie potravín a farmaceutickú výrobu. Izolácia síce chráni pred stratami tepla, no zároveň zadržiava vlhkosť, ktorá v kontakte s oceľou spúšťa elektrochemickú koróziu (viď. obr. 1), pričom tieto poškodenia sa často zistia až v pokročilom štádiu, keď dochádza k únikom médií alebo k haváriám.

Ak by korózia spôsobila zlyhanie vysokotlakového alebo vysokoteplotného systému, dôsledky by mohli byť katastrofálne podľa toho, aký produkt by unikol. Pretože však ku korózii dochádza pod izoláciou, prítomnosť korózie nie je navonok zrejmá. Ak by sa vysokotlakové alebo vysokoteplotné zariadenie (nádoba, nádrž, potrubie a pod.) pravidelne nekontrolovalo, korózia by mohla konštrukciu narušiť až to takej miery, že by produkt po tlakom začal unikať von do okolitého priestoru. Aby sa zabránilo takémuto stavu, je potrebná pravidelná údržba a kontrola týchto zariadení.

Tradičné metódy detekcie korózie pod izoláciou si vyžadujú demontáž opláštenia a tepelnej izolácie, čo je spojené s vysokými nákladmi, predĺženým časom odstávky a zvýšeným rizikom poškodenia izolácie. Moderné nedeštruktívne metódy, ako sú technológie Pulsed Eddy Current (PEC) a Pulsed Eddy Current Array (PECA™), predstavujú efektívne riešenie, ktoré umožňuje bezkontaktné meranie zostatkovej hrúbky stien pod izoláciou, bez potreby jej odstraňovania.



Obr. 1 Typické príklady korózie pod izoláciou

Existuje množstvo detekčných metód, ktoré na detekciu korózie využívajú rôzne fyzikálne prístupy. Každá takáto defektoskopická metóda má však jedinečné výhody a nevýhody, na ktoré je nutné si dávať pozor, aby sa pre kontrolu vybrala správna metóda.

2 Meranie poľa pulzných vírivých prúdov (PECA™)

Metóda merania poľa pulzných vírivých prúdov PEC - Pulsed Eddy Current (resp. PECA™) je elektromagnetická metóda pre stanovenie zostatkovej hrúbky steny elektricky (magneticky) vodivých materiálov. Je to elektromagnetická metóda, ktorá zmenou elektromagnetického poľa vybudeneho v meranom materiáli identifikuje zmenu jeho hrúbky steny.

Operátor umiestni sondu na povrch vonkajšej izolácie potrubia alebo nádoby, resp. priamo na povrch meraného miesta a vyšle elektromagnetický impulz (viď. obr. 2 a 3).

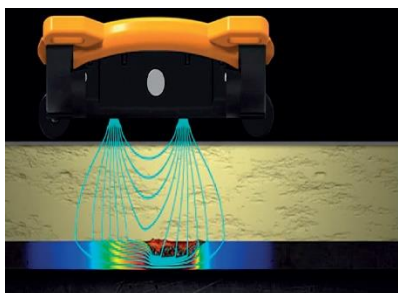


Obr. 2 Plošná 6 kanálová sonda PECA™ pre plošné meranie o šírke pásu 457mm



Obr. 3 Ručná sonda (PECA™, PEC) s vyššími presnosťami (Hi-Res) na prípadné domeranie zistených indikácií

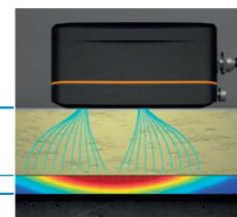
Magnetické pole je vytvárané elektrickým prúdom vo vysielačnej cievke sondy. Toto pole preniká cez izoláciu (obklad) a magnetizuje stenu potrubia (viď. obr. 4). Po zmagnetizovaní sa vypne elektrický prúd v prenosovej cievke, čo spôsobí náhly pokles magnetického poľa. V dôsledku elektromagnetickej indukcie sa v stene potrubia vygenerujú vírivé prúdy, ktoré vytvoria sekundárne magnetické pole, ktoré sa postupne v meranom materiáli rozptýli. Sonda sníma čas rozpadu tohto sekundárneho magnetického poľa a následne pomocou špecifických algoritmov stanoví hrúbku steny meraného materiálu.



Obr. 4 Vybudenie magnetického poľa

Hrúbka tepelnej izolácie = „Liftoff“
(vzdialenosť od meranej konštrukcie)

Hrúbka steny meranej konštrukcie = Hr

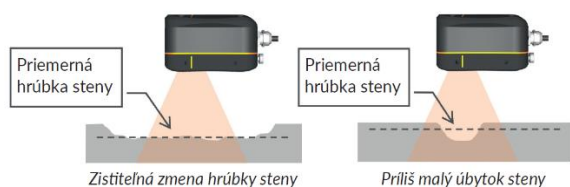


Obr. 5 Hrúbka tepelnej izolácie tzv. „Liftoff“

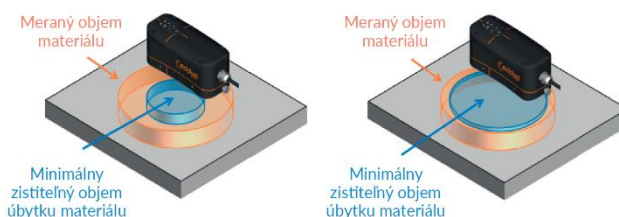
Namerané hodnoty sú relatívne a reprezentujú záznam zmeny hrúbky steny (resp. úbytok materiálu) kontrolovanej konštrukcie v porovnaní s referenčnou (známou) hodnotou z miesta v ktorom bola sonda kalibrovaná. Čím je stena hrubšia, tým dlhšie trvá, kým sa vírivé prúdy rozpadnú tzv. „na nulu“. Vzhľadom k tomu, že metóda pulzných vírivých prúdov využíva k meraniu zmeny elektromagnetického poľa, je táto metóda závislá nie len na hrúbke steny, ale aj na jeho konduktivite (schopnosti viesť elektrický prúd) a permeabilite (miere, resp. schopnosti magnetizácie meraného materiálu).

Metóda merania poľa pulzných vírivých prúdov PEC (resp. PECA™) určí priemernú hrúbku steny v meranom mieste (viď. obr. 6) , ktorá zodpovedá účinnej ploche snímača sondy (tzv. „Footprint“ – viď. obr. 7). V dôsledku toho je táto metóda vhodná najmä na plošnú koróziu, pričom izolované (samostatné) drobné bodové korózne jamky, alebo aj kompletne prederavenie steny nemôžu byť detegované. Presnosť merania závisí najmä od zvoleného typu sondy, hrúbky steny meranej konštrukcie, jej zostatkovej hrúbky, plochy úbytku a od vzdialenosti sondy od meraného materiálu (tzv. „Liftoff “ – viď. obr. 5).

Pás 6 sond technológie PECA™ (viď. obr. 2) predstavuje rozšírenie klasickej PEC technológie o sadu viacerých snímačov, čo umožňuje rýchlejšie a podrobnejšie skenovanie väčších plôch. Táto verzia je obzvlášť užitočná pri plošnej korózii alebo pri monitorovaní rozsiahlych úsekoch potrubí. Výsledkom je mapa zostatkovej hrúbky steny, ktorá zobrazuje úbytky materiálu v relatívnom porovnaní s referenčným bodom v mieste kalibrácie.



Obr. 6 Spriemerovanie hrúbky steny



Obr. 7 Účinná plocha snímača „Footprint“

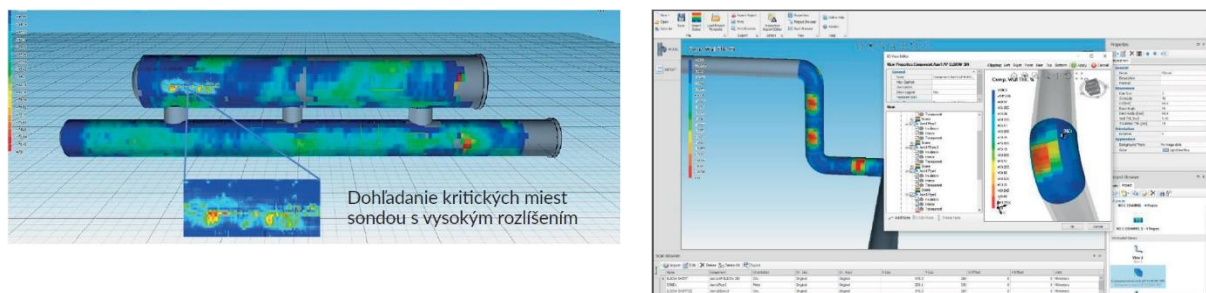
3 Výsledky merania

Výsledky meraní sú vyhodnotené v správe, ktorá obsahuje namerané výsledky zostatkových hrúbok stien v mm, resp. v % zostatkovej hrúbky steny spolu s mapou úbytkov materiálu (korózie). Dáta sú vizualizované vo forme farebnej mapy, ktorá zobrazuje intenzitu úbytku hrúbky v jednotlivých

miestach. Tieto údaje umožňujú technikom určiť kritické oblasti, plánovať preventívne zásahy a optimalizovať plánovanie odstávok.

Pre zobrazenie mapy korózie (úbytkov materiálu, resp. zostatkových hrúbok stien) používame vizualizačný software, ktorým vytvoríme model skúšaného zariadenia v 3D (viď. obr. 8), čo umožňuje získať rýchly prehľad k rozhodovaniu o ďalšom postupe.

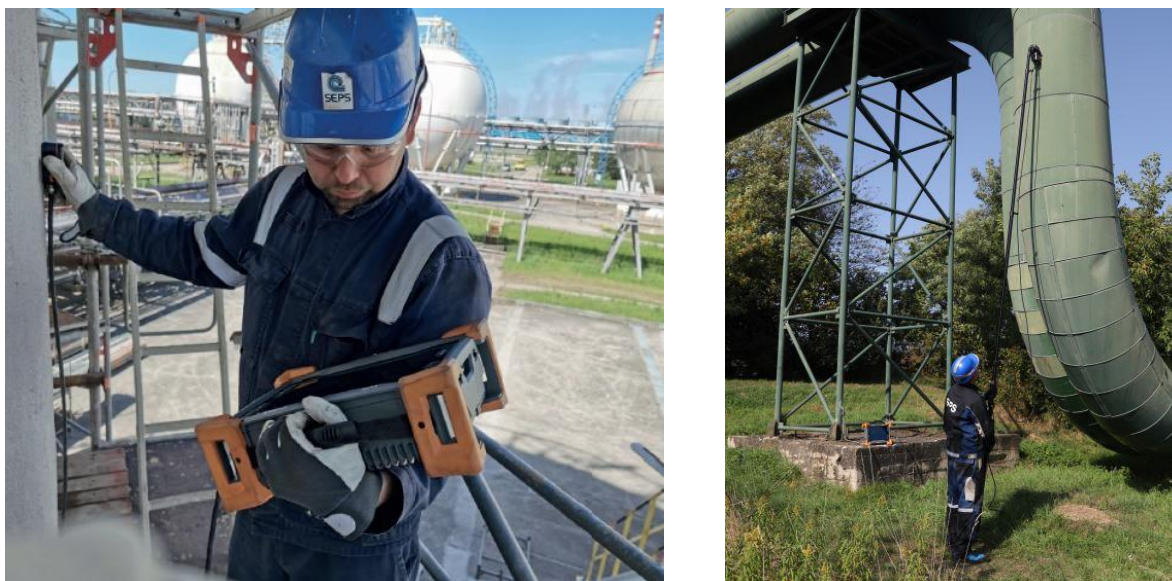
Použitím diagnostického softvéru je možné vytvoriť aj 3D modely kontrolovaných zariadení a realizovať digitálne porovnanie medzi viacerými meraniami v čase, čo umožňuje sledovanie progresie korózie alebo účinnosti aplikovaných ochranných opatrení.



Obr. 8 Príklady výsledkov meraní

4 Typické príklady použitia metódy PECA™ (PEC)

4.1 Meranie zostatkovej hrúbky steny pod izoláciou



Obr. 9 Meranie hrúbky steny pod izoláciou

4.2 Meranie zostatkovej hrúbky steny priamo na stene



Obr. 10 Meranie priamo na stene potrubia



Obr. 11 Meranie priamo na stene zásobníka

4.3 Meranie zostatkovej hrúbky steny veľmi skorodovaných častí

Meranie zostatkovej hrúbky steny veľmi skorodovaných častí, ktoré nie je možné očistiť pre iný typ kontroly s ohľadom na riziko možného prederavenia steny počas čistenia pre iný typ kontroly napr. ultrazvukom.



Obr. 12 Veľmi skorodované časti, ktoré nie je možné očistiť

4.4 Meranie korózie urýchlenej prúdením (FAC – Flow Accelerated Corrosion)

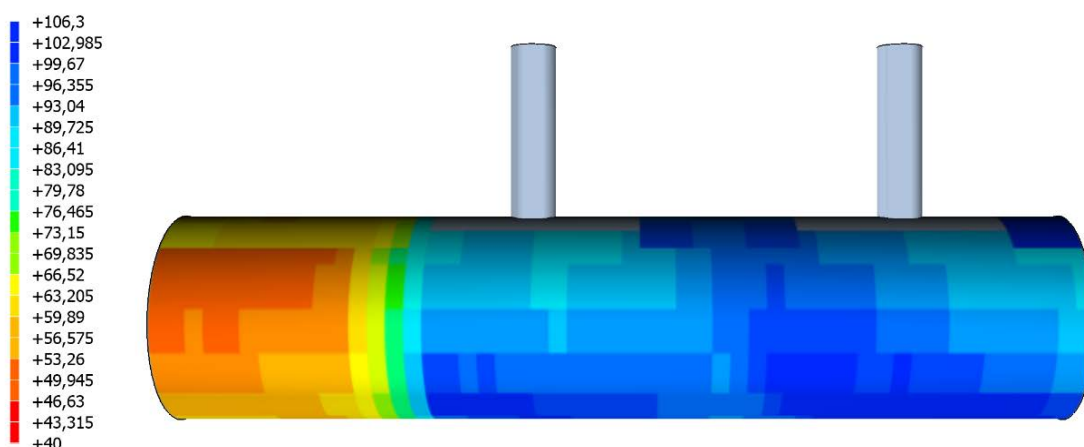


Obr. 13 Meranie korózie urýchlenej prúdením (FAC)

Ku korózii zrýchlenej prúdením (FAC – Flow Accelerated Corrosion) dochádza vtedy, keď sa normálna ochranná vrstva oxidu na vnútornom povrchu nízkoaliovaného ocele a uhlíkového potrubia „rozpustí“ pri zvýšených teplotách vplyvom pudiacej odkysličenej vody. To stenčuje stenu potrubia, čo môže potenciálne spôsobiť rôzne poškodenia od netesností až po katastrofické náhle prasknutia, čo negatívne ovplyvňuje spoľahlivosť a bezpečnosť takýchto prevádzkovaných potrubí.

4.5 Zistenie nečakanej zmeny materiálu

Wall Thickness %

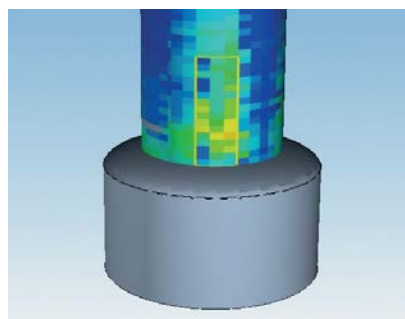


Obr. 14 Zistenie nečakanej zmeny materiálu (zmenou konduktivity a permeability)

4.6 Meranie cez požiarnu obmurovku



Obr. 15 Meranie nôh guľových zásobníkov

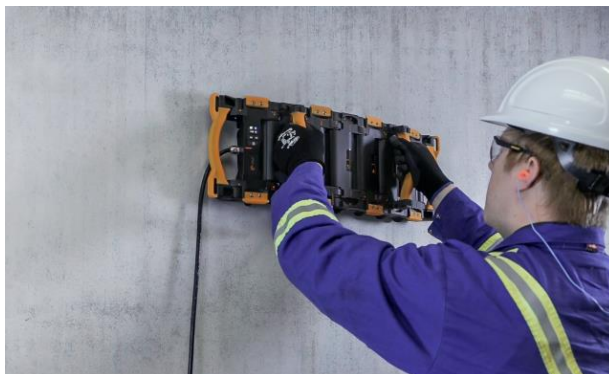


Obr. 16 Zistenie prekorodovania

4.7 Meranie korózie na nádržach



Obr. 17 Meranie obvodového prstenca nádrže



Obr. 18 Meranie priamo na stene nádrže

4.8 Hodnotenie rastu vnútornej korózie pod kompozitnou bandážou počas prevádzky



Obr. 19 Zosilnenie hrúbky steny oslabenej vnútornou koróziou kompozitnou bandážou

Vzhľadom k tomu, že metóda PECA™ nepotrebuje k meraniu hrúbky priamy kontakt s meraným materiálom je ideálnou metódou na meranie zostatkovej hrúbky steny pod kompozitnou bandážou, ktorá je inými metódami veľmi obťažne zistiteľná.

5 Rozsah použitia

- kontrola oceľových konštrukcií vyrobených z uhlíkovej (feromagnetickej) ocele - potrubia, nádoby, nádrže, podpery a podobne,
- hrúbka steny kontrolovaného materiálu 3-100 mm (v závislosti od typu sondy a pomeru hrúbky steny a hrúbky izolácie),
- hrúbka tepelnej izolácie až do 300 mm (podľa typu sondy),
- možnosť merania cez hliníkové, nerezové a galvanizované krycie plechy tepelnej izolácie,
- minimálny priemer potrubia 2" (50mm), maximálny priemer nie je obmedzený,
- meranie cez izoláciu za prevádzky aj pri vysokých teplotách (od -150°C do 500°C).

6 Výhody použitia

Najväčšou výhodou technológie PEC/PECA™ je možnosť bezkontaktného merania cez viacero vrstiev izolácie bez potreby jej odstraňovania alebo úprav povrchu. Okrem toho umožňuje:

- meranie za prevádzky bez jej obmedzenia a bez nutnej prípravy povrchu,
- vysoká rýchlosť skúšania s online vizuálnym výstupom z merania,
- plošné skenovanie vďaka použitiu plošnej kontroly pásom 6 sond PECA™ o šírke 457mm, čo skracuje čas merania,
- rýchla plošná kontrola dlhých úsekov potrubí,
- možnosť merania aj priamo na konštrukcii bez izolácie pre vyhľadávanie vnútornej korózie,
- nie je potrebný priamy kontakt s povrchom kontrolovaného materiálu,
- meranie cez tepelnú izoláciu, požiarnu obmurovku, nástrek, betón, cez asfaltovú izoláciu a pod.,
- možnosť merania postupu korózie a kontroly spevneného potrubia pod kompozitnou bandážou.

1. Záver

Metóda merania pulzných vírivých prúdov (PEC), resp. jej presnejšia alternatíva merania poľa pulzných vírivých prúdov (PECA™) je dobre známa svojou schopnosťou detegovať a hodnotiť koróziu v oblastiach inak nedostupných bez nákladného odstraňovania ochranných izolácií a vrstiev. Tým, že pred meraním nie je nutné odstraňovať izoláciu s oplechovaním a ani špeciálne upravovať povrch meraného miesta, a navyše bez obmedzenia prevádzky, používa sa v stále rastúcom počte rafinérií a chemických závodov po celom svete.

O výhodnosti a spoľahlivosti tejto metódy svedčí aj skutočnosť, že tvorí nedeliteľnú súčasť odporúčaných metód pre kontrolu korózie pod izoláciou (CUI) a pod obmurovkou (CUF) podľa medzinárodných noriem API RP 583-2021 Corrosion Under Insulation and Fireproofing ako aj ASME Boiler & Pressure Vessel Code V-2021 Nondestructive Examinations.

Autor:

Ing. Jan Vytřísal, MBA
generálny riaditeľ
SEPS, a.s.
Pri smaltovni 4, 85101 Bratislava
Tel.: +421 2 68 245 720
Web: www.sepssk.sk
E-mail: office@sepssk.sk

VYUŽITIE KOMBINÁCIE AKUSTICKEJ DIAGNOSTIKY S 3D METROLÓGIOU V ÚDRŽBE

Ján ĎUNGEL, Michal PODOLINSKÝ

Anotácia

Článok sa zaoberá možnosťami kombinácie akustickej diagnostiky a 3D metrológie v údržbe výrobných zariadení. Predstavuje princíp oboch technológií a ich využitie na reálnych prípadových štúdiách, v ktorých sa podarilo pomocou vizualizácie hluku a presného merania geometrie efektívne identifikovať a odstrániť zdroj problému. Kombinácia týchto prístupov výrazne prispieva k znižovaniu nákladov na údržbu, skracovaniu prestojov a zvyšovaniu kvality pracovného prostredia.

Kľúčové slová: akustická kamera, 3D skenovanie, údržba, diagnostika

1 Úvod

Moderná údržba vo výrobe čelí neustále rastúcim nárokom na zvyšovanie spoľahlivosti zariadení, znižovanie prestojov a minimalizáciu prevádzkových nákladov. Kľúčovú úlohu pritom zohrávajú presné a včasné diagnostické nástroje. V posledných rokoch sa do popredia dostáva synergia medzi akustickou diagnostikou a 3D metrológiou, ktorá umožňuje efektívne identifikovať a lokalizovať zdroje problémov, predovšetkým tých, ktoré súvisia s hlučnosťou, vibráciami a geometrickými chybami.

Cieľom tohto článku je predstaviť možnosti tejto kombinácie na príkladoch z praxe a ukázať, aké výhody prináša do oblasti údržby a optimalizácie výrobných procesov.

2 Prístup a technológie

Akustická diagnostika využíva napríklad akustické kamery, ktoré zaznamenávajú priestorovú distribúciu hluku v rôznych frekvenčných pásmach. Tieto nástroje umožňujú identifikovať smer šírenia zvukových vĺn a presne lokalizovať ich zdroj aj v zložitých výrobných priestoroch.

3D metrológia (napr. laserové skenovanie alebo meracie ramená) umožňuje vytvárať presné digitálne modely strojov, komponentov alebo pracovných priestorov vo forme mračien bodov či CAD modelov. Tieto modely môžu slúžiť na návrh technických opatrení, ako sú akustické kryty alebo korekcia odchýlok v geometrii.

3 Prínos kombinovaného prístupu

Spojením akustickej diagnostiky a 3D merania získavame komplexný obraz:

Akustika identifikuje problém.

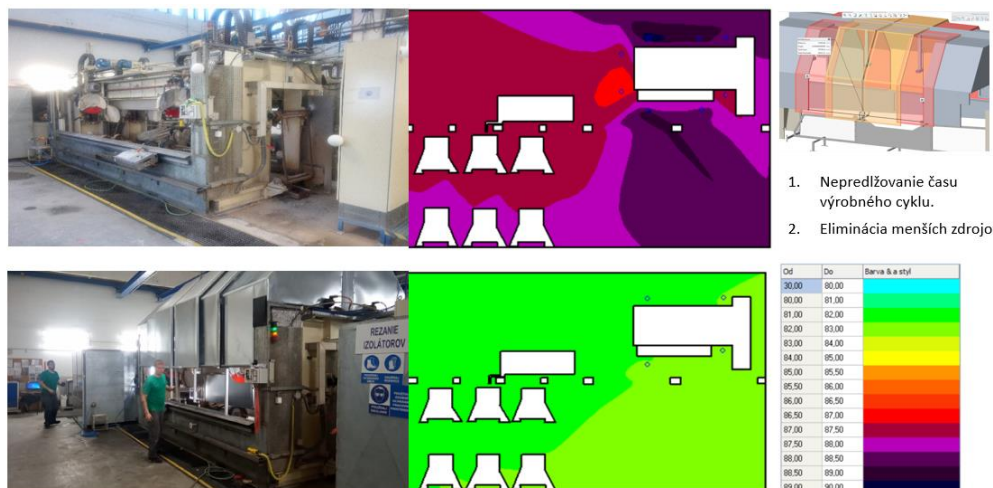
3D metrológia poskytuje presné dáta na jeho technické vyriešenie.

Tento prístup umožňuje cielene navrhovať riešenia, ktoré nezasahujú zbytočne do technológie, ale adresujú konkrétne zdroje problémov – napríklad nadmerné vyžarovanie hluku alebo deformáciu komponentov.

4 Prípadové štúdie prínosov kombinovaného prístupu

Firma 1 – Návrh krytu na základe kombinovanej analýzy

V jednom z výrobných závodov bola riešená nadmerná hlučnosť generovaná obrábacím zariadením. Pomocou akustickej kamery sa podarilo lokalizovať konkrétne miesta a smery šírenia hluku. Tieto boli vizualizované farebnou mapou, pričom najintenzívnejšie zóny sa nachádzali v oblasti otvoreného prístupu obsluhy.

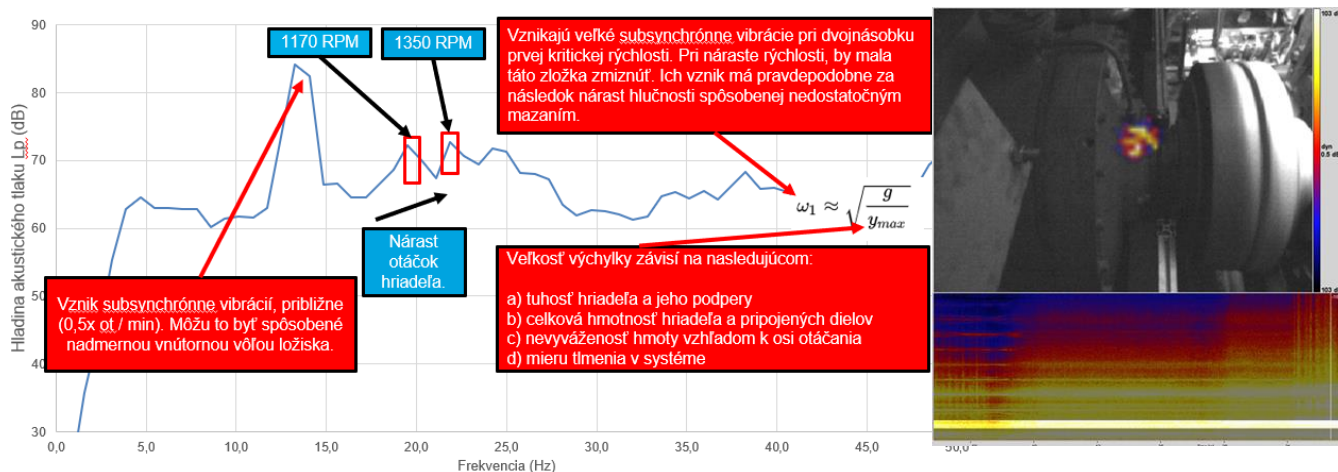


Obr. 1 Obrábacie centrum pred a po aplikácii protihlukových riešení LAeq (dB)

Hluková mapa (obr.1) sa vytvára meraním hladiny hluku v rôznych bodoch záujmovej oblasti pomocou kalibrovaných zvukomerov alebo mikrofónov, pričom namerané údaje sa následne spracujú softvérom na analýzu akustických údajov, ktorý umožňuje interpoláciu a zobrazenie rozloženia hladín hluku v grafickej podobe.

Firma 2 – Diagnostika prevodovky pomocou akustiky a 3D merania

V inom prípade bola zaznamenaná zvýšená hlučnosť v okolí prevodovky. Akustická analýza odhalila vysokofrekvenčné spektrálne pásma, poukazujúce na poškodenie ložiska – pravdepodobne kvôli kavitačnému opotrebovaniu alebo nedostatočnému mazaniu. Spektrálna analýza zároveň ukázala výrazné subsynchrónne vibrácie.



Obr. 2 Frekvenčná analýza prevodovky (vľavo), Snímka z akustickej kamery (vpravo)

Pomocou ramenového meracieho systému FARO sa potvrdilo prekročenie geometrických tolerancií hriadeľa. Tento stav prispieval k rezonanciám. Následne bola vykonaná výmena ložiska a korekcia geometrie. Výsledkom bolo stabilizovanie chodu zariadenia a citeľný pokles hladiny hluku.

4.1 Výhody pre údržbu

1. Presná lokalizácia problémov pred odstávkou.
2. Možnosť návrhu technického riešenia bez demontáže zariadenia.
3. Zníženie nákladov na diagnostiku a odstávky.
4. Cieľová eliminácia hlučnosti a vibrácií, bez zbytočných úprav.
5. Zvýšenie bezpečnosti a komfortu pracovného prostredia.

4.2 Ďalšie výhody pre firmu

Pri 3D skenovaní výrobných priestorov vzniká nie len presný 3D digitálny model zdroju hluku ale aj celého jeho okolia. Firma tak získava aktuálny stav výrobného priestoru vo vysokej presnosti. Citlivosť skenera dovoľuje presne zachytiť trasovanie povrchových rozvodov vzduchotechniky, vody, elektrických rozvodov, rozvodov plynov aj stlačeného vzduchu. Samozrejmosťou je teda pozícia jednotlivých výrobných technológií, oplotenia logistických ciest, dopravníkov, robotov a pracovísk.

3D dáta je možné ľahko prehliadať, vytvárať v nich rozmerové a priestorové analýzy. Ich ďalším spracovaním je možné previesť dáta do konštrukčných softwarov, vytvárať a aktualizovať rozloženie (layout) závodu. Tieto dáta sú cenené hlavne pri modernizáciách starších výrobných priestorov nakoľko zachytávajú reálny stav ktorý nie sa nenachádza vo výkresovej dokumentácii budovy.

Ponúka sa teda príležitosť využiť tieto dáta aj pre iné oblasti ako zefektívnenie výrobného procesu, logistického procesu analýzu ručných pracovísk a ich rozloženia.



Obr. 3 Časť 360° fotky vytvorenej pomocou skeneru



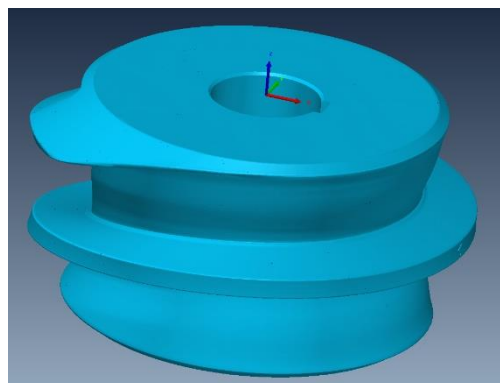
Obr. 4 Náhľad na spracované mračno bodov výrobnjej linky

5 Detailná 3D digitalizácia a jej využitie pre údržbu

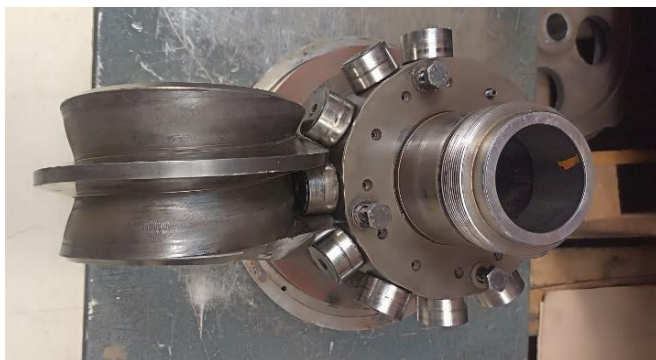
Podobným spôsobom akým je možné digitalizovať výrobnú halu, je možná aj digitalizácia jednotlivých dielov. Požitím kombinácie kontaktného meradla s bezkontaktným skenerom sa podarilo digitalizovať a nanovo vyrobiť atypické závitové koleso, ktoré pochádzalo zo staršej výrobnjej technológie na ktorú už neexistujú náhradné diely.



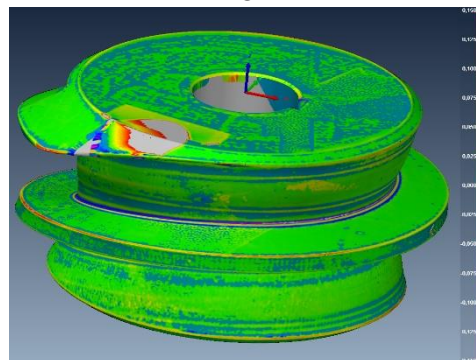
2



3



1



4

Obr. 5 závitové koleso – 1. mechanizmus 2. poškodenie 3. 3D model 4. porovnanie nového 3D modelu pôvodným kusom (farebná mapa)

K danému dielu neexistovala žiadna dokumentácia, a preto bola jedinou možnosťou výroby náhradného dielu aplikácia princípu reverzného inžinierstva. Komplexná geometria súčiastky bola zosnímaná pomocou 3D skenera a následne spracovaná v CAD softvéri, kde bol navrhnutý náhradný diel. Táto technológia je univerzálne použiteľná pre takmer akýkoľvek typ dielu – či už ide o kov, plast alebo kompozit. Doba potrebná na vytvorenie hotového 3D modelu od začiatku skenovania sa pri zložitých dieloch pohybuje v rozsahu niekoľkých hodín. Vďaka vysokej efektívnosti súčasného reverzného inžinierstva je táto metóda dostupná aj pre menšie prevádzky.

6 3D meranie vo výrobe

Mobilné 3D meracie technológie dnes dosahujú presnosť, akou v minulosti disponovali iba ťažké, stabilné meracie prístroje. To otvára možnosť využívať meraciu techniku priamo na výrobných zariadeniach a overovať kvalitu a presnosť výrobného procesu v jednotlivých krokoch priamo vo výrobnom trakte.

Tieto zariadenia sú ovládané ručne, čo umožňuje nielen vykonávať kontrolu, ale aj iteratívne nastavovať výrobné procesy na základe podkladových 3D dát.



Obr. 6 Meracie rameno pri nastavovaní formovačky drôtu (vľavo), meracie rameno – skenovanie vstrekovacej formy (vpravo)

Záver

Kombinácia akustickej diagnostiky a 3D metrológie predstavuje účinný nástroj pre modernú údržbu. Umožňuje nielen včasnú identifikáciu porúch, ale aj návrh riešení, ktoré zohľadňujú reálnu geometriu a funkciu zariadení. Tým sa minimalizuje vplyv na výrobu a maximalizuje efektívnosť zásahu.

Prípadové štúdie potvrdzujú, že tento prístup prináša reálne prínosy v oblasti znižovania hlučnosti, optimalizácie chodu strojov, predchádzania poruchám a riešeniu porúch. Okrem toho umožňuje presnejšiu diagnostiku aj v ťažko dostupných miestach, kde by tradičné metódy zlyhali. Tento prístup navyše zabezpečuje lepšiu dokumentáciu stavu zariadení, čo je dôležité pre spätnú analýzu a dlhodobé sledovanie technického stavu. V konečnom dôsledku to vedie k zníženiu nákladov na údržbu a zvýšeniu spoľahlivosti výrobných zariadení.

Použitá literatúra:

- [1] ISO 11200:2014, Akustika – Hluk emitovaný strojmi a zariadeniami – Pokyny na používanie základných noriem na určovanie emisných hladín akustického tlaku na pracovisku a na iných určených miestach.
- [2] ISO 3744:2010, Akustika – Určovanie hladín akustického výkonu a hladín akustickej energie zdrojov hluku s použitím akustického tlaku – Inžinierske metódy pre podstate voľné pole nad odrazivou rovinou.
- [3] ISO 10012:2003, Systémy manažmentu merania – Požiadavky na meracie procesy a meracie zariadenia.
- [4] ISO/IEC 17025:2017, Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií.

Autori:

Ing. Ján Ďungel, PhD.
NVH specialist
Asseco CEIT, a. s.
Univerzitná 8661/6A, 010 08 Žilina
Tel.: +421 (0) 905 771 495 E-mail: jan.dungel@asseco-ceit.com

Ing. Michal Podolinský
3D Scanning, design engineer
Asseco CEIT, a. s.
Univerzitná 8661/6A, 010 08 Žilina
Tel.: +421 (0) 918 828 466 E-mail: michal.podolinsky@asseco-ceit.com

NÁVRH AUTONÓMNEJ ÚDRŽBY ROBOTICKEJ LAKOVACEJ LINKY ŽELEZNIČNÝCH VOZŇOV

Pavol DZURIK

Úvod

Údržba ako odborná činnosť predstavuje jeden z pilierov spoľahlivosti a efektívnosti výrobných procesov. Jej význam v súčasnej priemyselnej výrobe nemožno podceňovať. Bez efektívne organizovanej údržby by výrobné zariadenia podliehali poruchám, čo by viedlo k narušeniu produkcie, zvyšovaniu nákladov a znižovaniu konkurencieschopnosti podniku. V tejto súvislosti je nevyhnutné chápať údržbu ako komplexnú sústavu technických, administratívnych a riadiacich činností, ktoré zabezpečujú, že stroje a zariadenia si udržiavajú požadovanú funkčnosť počas celej svojej životnosti.

1 Rozdelenie údržby, manažérstvo údržby

Z hľadiska praxe rozlišujeme dva základné typy údržby: **preventívnu** a **korektívnu**. Preventívna údržba je zameraná na predchádzanie poruchám a degradácii zariadení. V rámci nej existujú podskupiny ako údržba na základe stavu – prediktívna, či vopred určená – plánovaná. Na druhej strane, korektívna údržba sa realizuje až po vzniku poruchy a slúži na obnovenie funkcie zariadenia. Môže byť okamžitá alebo odložená v závislosti od naliehavosti zásahu. Správna voľba typu údržby závisí od charakteru zariadenia a jeho významu v rámci výroby.

Efektívna údržba sa nezaobíde bez kvalitného **manažérstva údržby**, ktoré definuje ciele, stratégie a zodpovednosti. Moderný podnik dnes odchádza od tradičného funkčného riadenia a prikláňa sa k procesnému prístupu, kde je kladený dôraz na spoluprácu, tímovú prácu, neustále zlepšovanie a digitálnu podporu riadiacich systémov. Manažérstvo údržby sa rozčleňuje na **strategické**, **taktické** a **operatívne** úrovne, pričom každá z nich má špecifické úlohy – od plánovania dlhodobej vízie až po riešenie každodenných prevádzkových problémov.

Nemenej dôležitý je **organizačný systém údržby**, ktorý môže mať formu centralizovanú, decentralizovanú, kombinovanú alebo externú (outsourcovanú). Každá z týchto foriem má svoje výhody i nevýhody. Centralizovaný systém umožňuje špecializáciu, no trpí slabšou znalosťou prevádzkových podmienok. Naopak, decentralizovaný systém podporuje pružnosť a komunikáciu, no môže byť menej efektívny v riadení zdrojov. Kombinovaná forma ponúka kompromis a je vhodná pre väčšie organizácie.

Zavedenie **metódy TPM (Total Productive Maintenance)** v modernej výrobe zdôrazňuje potrebu aktívneho zapojenia všetkých zamestnancov, najmä operátorov, do údržbárskych činností. Vzdelávanie a školenie pracovníkov, spolu s jasne definovanými štandardmi údržby, umožňujú rozšírenie autonómnej údržby priamo na mieste výroby. Tým sa znižuje záťaž na odborný údržbársky personál a zároveň sa zvyšuje angažovanosť operátorov, čo vedie k vyššej spoľahlivosti zariadení.

Zhrnutím možno konštatovať, že údržba v priemyselných podnikoch už dávno neznamená len odstraňovanie porúch. Je to komplexný, systematický a strategický prístup k správe technických prostriedkov, ktorý ovplyvňuje celkovú výkonnosť a úspech podniku. V čase neustále sa zvyšujúcich požiadaviek na efektivitu a minimalizáciu nákladov je moderné riadenie údržby nevyhnutnosťou.

2 Totálne produktívna údržba (TPM)

Efektívna údržba je neoddeliteľnou súčasťou moderného výrobného podniku. V súčasnosti už nestačí len reagovať na poruchy strojov, ale je nevyhnutné budovať systém, ktorý predchádza vzniku porúch, zvyšuje spoľahlivosť zariadení a zároveň minimalizuje náklady. Takýmto systémom je práve totálne produktívna údržba – TPM.

TPM predstavuje integrovaný prístup k údržbe, do ktorého sú zapojení všetci zamestnanci podniku, nielen pracovníci údržby. Jej cieľom je maximalizácia efektivity výrobných zariadení prostredníctvom plánovania, prevencie a zodpovednosti na všetkých úrovniach organizácie. Jedným z hlavných dôvodov nízkej produktivity býva práve zlý technický stav zariadení. TPM sa preto snaží odstrániť alebo aspoň minimalizovať straty spôsobené spôsobom výroby, prevádzky a údržby. Aby výrobný systém fungoval čo najúčinnšie a dlhodobo sa udržal na primeraných nákladoch, je potrebné plánovať údržbu, jej zabezpečovanie a obstaráť potrebné zdroje.

Kľúčovým aspektom TPM je zapojenie pracovníkov výroby do jednoduchších foriem údržby, čím sa znižuje závislosť na špecializovaných údržbároch. Tento prístup si vyžaduje primerané vzdelávanie zamestnancov, ich dôkladné oboznámenie sa s funkciou stroja a schopnosť rozpoznať odchýlky od normálneho stavu..

2.1 Hodnotenie efektivity, piliere TPM

Jednou z hlavných metód hodnotenia efektivity TPM je ukazovateľ OEE – celková efektívnosť zariadenia. Tento ukazovateľ sa skladá z troch komponentov: dostupnosti, výkonu a kvality. Sleduje sa napríklad počet porúch, doba ich trvania, výpadky rýchlosti alebo podiel nevyhovujúcich výrobkov. OEE poskytuje dôležité informácie o tom, kde vznikajú najväčšie straty a na ktoré oblasti by sa mal podnik zamerať pri zlepšovaní.

TPM stojí na ôsmich základných pilieroch: autonómna údržba, hodnotenie OEE, plánovaná a prediktívna údržba, tréning zamestnancov, starostlivosť o zariadenie počas nábehu, údržba kvality, administratívna efektívnosť a bezpečné pracovné prostredie. Každý z týchto pilierov má svoju úlohu v budovaní robustného systému údržby, ktorý znižuje variabilitu a zvyšuje spoľahlivosť strojov.

Dôležitou súčasťou TPM je autonómna údržba, kde pracovníci sami vykonávajú jednoduché činnosti ako čistenie, mazanie a vizuálne kontroly. Tento prístup vedie k vyššej zodpovednosti a lepšiemu vzťahu medzi operátorom a strojom. Operátori tak nielenže reagujú na vzniknuté problémy, ale aktívne sa podieľajú na ich predchádzaní.

Metóda 5S slúži ako základný nástroj pre zavedenie poriadku, disciplíny a štandardizácie na pracovisku. Zahŕňa kroky ako triedenie, usporiadanie, čistenie, štandardizácia a disciplína. Implementácia tejto metódy pomáha vytvárať pracovné prostredie, ktoré podporuje efektívnu údržbu a zvyšuje motiváciu zamestnancov.

Zavedenie TPM má výrazný vplyv aj na ekonomiku podniku. Prvé výsledky v podobe zníženia poruchovosti, zvýšenia pohotovosti a efektivity zariadení možno zaznamenať už v priebehu niekoľkých mesiacov. Prínosy sa prejavujú nielen v oblasti znižovania nákladov, ale aj vo zvýšenej výrobe, kvalite produktov a v motivácii personálu.

Implementácia TPM zahŕňa analýzu procesov, kategorizáciu zariadení, školenia zamestnancov, nastavenie štandardov a pilotné testovanie na vybranom zariadení. Cieľom je nielen technické zlepšenie, ale aj budovanie firemnej kultúry, v ktorej má každý zamestnanec svoj podiel na bezproblémovej prevádzke.

3 Robotická lakovacia linka, ciele pre návrh autonómnej údržby

Robotická lakovacia linka je kľúčovým prvkom výrobného procesu v podniku zameranom na povrchovú úpravu. V súčasnosti všetky opravy a zásahy na lakovacej linke vykonáva oddelenie údržby. To však vedie k častým prestojom, pretože zoraďovači, ktorí sú počas porúch nečinní, len asistujú technikom. Zavedením autonómnej údržby sa niektoré jednoduché, opakujúce sa a menej rizikové činnosti preniesli priamo na zoraďovačov. Tieto činnosti nevyžadujú vysokú odbornú spôsobilosť ani zásah do elektrických alebo nebezpečných komponentov. Takéto rozdelenie úloh má dve výhody: odbremení sa údržbársky personál a zároveň sa efektívnejšie využije pracovný fond zoraďovača, čím sa skráti reakčný čas pri poruchách.

Výber vhodných zariadení pre autonómnu údržbu prebiehal podľa viacerých kritérií. Práce musia byť bezpečné, jednoduché, nevyžadujúce špeciálne oprávnenia a nemôžu zasahovať do bezpečnostných či požiarnych systémov. Navyše musí byť zabezpečená úplná štandardizácia – každá úloha bude mať vlastnú pracovnú inštrukciu, pričom zoraďovači budú riadne vyškolení.

Kľúčovými zariadeniami, na ktorých autonómna údržba realizovala, sú:

- **Graco PROMIX 1 a 2** – zariadenia na miešanie farieb,
- **dvojdrahový dopravníkový systém TS2000,**
- **vzduchotechnické jednotky VentiAir TYPE.**

Tieto zariadenia boli zvolené z dôvodu častej poruchovosti, dostupnosti pre obsluhu a minimálnych bezpečnostných rizík. Na všetky úkony sú vypracované návody so zrozumiteľnými krokmi a vizualizáciami priamo z prevádzky. Vďaka nim môže operátor vykonávať čistenie, mazanie alebo výmenu filtrov bez potreby čakania na oddelenie údržby.

Prvé vybrané zariadenie je dvojjazýkový dávkovací a miešací systém farieb PROMIX 1 a 2 od značky Graco. Tento systém zabezpečuje presné dávkovanie farby a tužidla podľa prednastavených parametrov. Je vybavený ovládacími panelmi, potrubnými rozvodmi, mixérom, ventilmi na výmenu farieb, ako aj bezpečnostnými prvkami pre ochranu obsluhy. PROMIX je dôležitý najmä z pohľadu kvality výsledného náteru, pričom jeho správne fungovanie výrazne ovplyvňuje efektivitu celej lakovacej linky. Z toho dôvodu je nutné pravidelné čistenie, kontrola ventilov a jednoduché úkony, ktoré môže vykonávať aj operátor výroby.

Ďalším významným zariadením je dvojdrahový dopravníkový systém TS2000, známy aj ako Power & Free dopravník. Tento systém zabezpečuje transport dielov cez jednotlivé časti linky, pričom jeho hlavnou výhodou je vysoká nosnosť a flexibilita pohybu vozíkov. Dopravník obsahuje poháňacie a

napínacie stanice, ako aj vozíky, ktoré nesú diely. Pravidelné čistenie, mazanie, kontrola mechanických častí a vizuálne preverenie správneho chodu sú úlohy, ktoré nevyžadujú špecializované znalosti a môžu byť súčasťou autonómnej údržby.

Tretím systémom sú ventilačno-klimatizačné jednotky značky VentiAir. Tieto zariadenia zabezpečujú čistotu, správnu teplotu a vlhkosť vzduchu v lakovacích kabínach. Sú modulárne a ich výkon sa pohybuje v širokom rozsahu, čo umožňuje prispôbiť ich rôznym výrobným podmienkam. Kľúčovou súčasťou týchto jednotiek sú filtre – od hrubých až po jemné filtre, ktoré zabezpečujú čistotu prostredia. Pravidelná výmena filtrov, kontrola prietokov a prehľad stavu na displeji PLC panelu predstavujú úlohy, ktoré sa zahrnuli do rozšírených kompetencií operátora.

V rámci procesu lakovania sa využívajú dvojzložkové farby, ktorých správne zmiešanie a aplikácia sú rozhodujúce pre kvalitu povrchovej úpravy. PROMIX tieto farby pripravuje podľa presného pomeru a zabezpečuje ich stabilné dodávanie do lakovacích pištolí. Samotné lakovanie prebieha v automatizovaných kabínach, pričom dôsledne riadené podmienky (najmä teplota, vlhkosť a ventilácia) ovplyvňujú výsledok. Z toho vyplýva nevyhnutnosť pravidelnej kontroly a údržby klimatizačných jednotiek, ktoré udržiavajú stabilitu týchto podmienok.

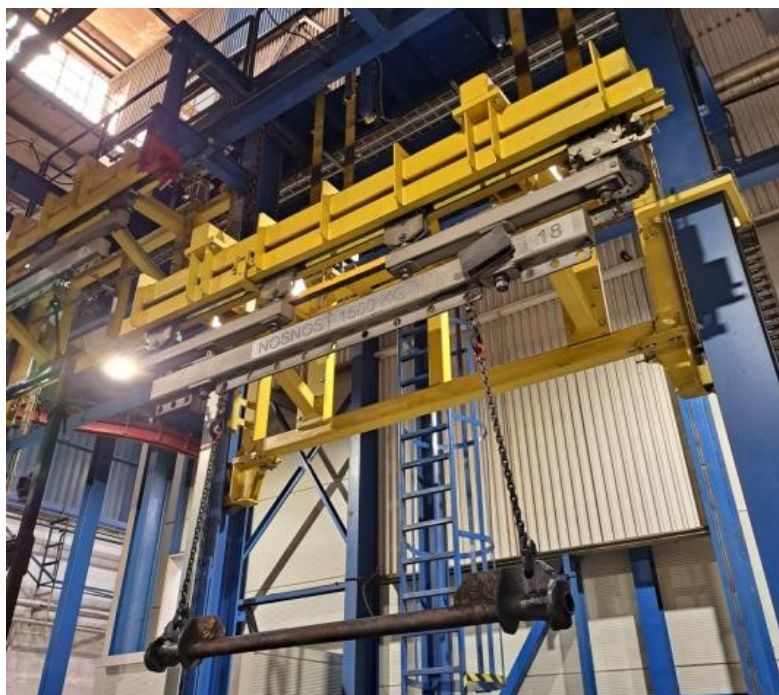
Autonómna údržba v tejto forme predstavuje významný krok smerom k štíhlej výrobe (lean production). Znižuje závislosť od externých zásahov, skracuje prestoje a posilňuje zodpovednosť operátorov. Okrem zefektívnenia samotnej výroby prispieva aj k motivácii pracovníkov, ktorí sú viac zapojení do udržiavania technického stavu zariadení. Takto spracovaná koncepcia autonómnej údržby predstavuje nielen ekonomicky výhodné riešenie, ale aj moderný prístup k organizácii výroby v 21. storočí.

V súčasnosti zohráva autonómna údržba čoraz dôležitejšiu úlohu pri efektívnom riadení výrobných procesov. Zavádzanie týchto postupov do praxe predstavuje významný krok k optimalizácii činností v rámci údržby, a to najmä v prípade technologicky náročných liniek, ako je robotická lakovacia linka. V štvrtej kapitole práce sa preto autor sústreďuje na vytvorenie konkrétnych a presne definovaných návodov autonómnej údržby, ktoré môžu operátori vykonávať samostatne bez zásahu odbornej údržby.

4 Návrh autonómnej údržby

Účelom návrhu bolo umožniť operátorom vykonávať jednoduché úkony údržby podľa presne stanovených pokynov. Tým sa nielen znižuje pracovné zaťaženie oddelenia údržby, ale zároveň sa skracuje čas reakcie pri bežných poruchách. Operátori sú vybavení návodmi na údržbu a sú oboznámení s nástrojmi, ktoré sú pri údržbe potrebné. Tieto návody sa vzťahujú na tri najdôležitejšie zariadenia linky: dopravníkový systém TS2000, vzduchotechniku vypaľovacej pece a systém PROMIX 1 a 2.

V prípade **dopravníkového systému TS2000** sa autonómna údržba zameriava najmä na čistenie pohyblivých častí traverzy. Operátor má k dispozícii vozík na podloženie traverzy, ručné náradie, ofukovaciu pištoľ a kovový prípravok na zakrytie indukčných snímačov. Postup pozostáva z krokov ako je bezpečné spustenie traverzy, zakrytie snímačov, odpojenie a kontrola pohyblivých častí, ich čistenie a opätovné uvedenie zariadenia do prevádzky. Veľký dôraz sa kladie na bezpečnosť – zariadenie musí byť vždy v stave, ktorý zamedzuje nechcenému pohybu.



Obr. 1 Dvojdráhový dopravníkový systém TS2000 – spustenie presuvníka

Údržba **filtrov vzduchotechniky vypaľovacej pece** je ďalším bodom autonómnej údržby. V tomto prípade operátori vypínajú ventilátory, odstraňujú použité filtre a vkladajú nové. Súčasťou postupu je aj kontrola tesnosti a správne uchytenie filtrov. Celý proces je jednoduchý, ale vyžaduje dôslednosť, pretože znečistené filtre môžu negatívne ovplyvniť kvalitu lakovania a spôsobiť poruchy v cirkulácii vzduchu. Operátori potom vymažú chybové hlásenia a alarmy z riadiaceho systému pomocou stanovených postupov.



Obr. 2 Výmena filtrov vzduchotechniky vypaľovacej pece

Posledným systémom je **PROMIX 1 a 2**, kde sa autonómna údržba sústreďí na čistenie integrátora a zmiešavača. Operátor najprv odpojí zmiešavač, pripraví čistiaci roztok a vloží komponenty do nádoby, kde sú ponorené na určitý čas. Po vyčistení sa časti opätovne namontujú a systém sa uvedie do chodu. Postup je navrhnutý tak, aby operátor vykonal celý proces bezpečne a samostatne bez zásahu odbornej údržby.



Obr. 3 Autonómna údržba PROMIXu 1 a 2, čistenie integrátora a zmiešavača

Všetky tieto návody majú spoločný cieľ – minimalizovať prestoje výroby a znížiť náklady na externé zásahy. Tieto úkony sú totiž jednoduché, často sa opakujú a nevyžadujú špeciálne oprávnenia. Dobré vyškolený operátor ich dokáže vykonať efektívne a spoľahlivo.

5 Ekonomický prínos diplomovej práce

V závere je spracovaný ekonomický prínos zavedenia autonómnej údržby. V analýze sa vychádza z údajov za rok 2023, ktoré dokumentujú počet porúch a čas strávený ich odstraňovaním. Na systémoch PROMIX bolo zaznamenaných 41 porúch, čo si vyžiadalo 40 hodín práce údržbára. Dopravníkový systém vyžadoval 6 zásahov, pri ktorých údržbári odpracovali spolu 4 hodiny. Údržba vzduchotechniky si vyžiadala ďalších 12 hodín. Spolu tak pracovníci údržby strávili 56 hodín pri týchto troch zariadeniach.

Zariadenie	Počet porúch v roku	Počet hodín údržby vykonávanej údržbárom JRG	Počet hodín údržby vykonávanej externým servisom
PROMIX 1, 2	41	40	0
Kolieska traverz	6	4	32
Filtre	priebežne	12	0
CELKOM		56	32

Pri prepočte to predstavuje 7,5 dňa z ročného pracovného fondu jedného údržbára, čo zodpovedá 3,04 % mzdy. Ak tieto činnosti prejdú na operátorov výroby, údržbári sa môžu venovať odbornejším zásahom a podnik ušetrí na mzdových nákladoch. Okrem toho sa každý polrok vykonáva odstávka na čistenie dopravníkového systému, ktorú doteraz realizovala externá firma. Táto údržba trvá 32 hodín ročne a jej presunutím na interných pracovníkov sa ušetrí ďalších 6,8 % nákladov, ktoré by inak smerovali na externý servis.

Ekonomický prínos diplomovej práce teda spočíva v dvoch hlavných bodoch: úspora mzdových nákladov za bežnú údržbu a zníženie výdavkov na externé služby. V kombinácii ide o výraznú finančnú úsporu, ktorá môže byť opakovane dosiahnutá každý rok. Okrem toho sa zvýši efektivita práce operátorov a zlepší sa celková organizácia údržby v podniku.

Záver

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnúť, aplikovať a štandardizovať pracovné postupy autonómnej údržby vykonávanej operátormi robotickej lakovacej linky. V práci bolo navrhnutých osem pracovných inštrukcií, spĺňajúcich kvalitatívne požiadavky aj v zmysle certifikácii ako ISO, IATF atď.

Prínosom práce je preukázateľná úspora nákladov údržby v zmysle hodinovej sadzby pracovníka údržby, keďže bolo navrhnuté presunúť vyššie činnosti na pracovníka výroby, ktorý by v inom prípade čakal na odstránenie poruchy údržbárom a bol by teda spolu so strojom nečinný. Nakoľko sa jedná o jednoduchšie, nenáročné práce bez nutnosti používať špeciálne náradie, alebo ochranné pracovné pomôcky, tak sa výkon týchto prác, po odsúhlasení manažérkou výroby, technologom výroby, kvalítom výroby a inžinierom údržby presunul na operátorov (zoradovačov) linky, ktorí boli na túto činnosť preukázateľne preškolení. Vytvorené návody slúžia operátorom, ako pomôcka pri odstránení alebo identifikácii poruchy.

Vytvorenie pracovných postupov ako takých, odbremenilo aj inžinierske oddelenie spoločnosti (technolog výroby, inžinier údržby), nakoľko takéto postupy boli vytvorené v rámci riešenia diplomovej práce. V prípade dosiahnutia certifikácie manažérstva kvality ako napr. ISO či IATF je aplikovanie autonómnej údržby spolu s návodmi jednou s podmienok úspešnej certifikácie.

Diplomová práca bola úspešne obhájená v roku 2024 na Strojníckej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline v študijnom programe Vozidlá a motory a bola ocenená Cenou SSU za diplomovú prácu za rok 2024 na konferencii Národné fórum údržby 2025, organizovanej Slovenskou spoločnosťou údržby.

Podakovanie patrí vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Juraj Grenčíkovi, PhD. a Ing. Milanovi Hradiskému, inžinierovi údržby zo spoločnosti J.R.G. s.r.o. za poskytnutie podkladov a možnosti riešenia návrhov údržby na konkrétnych pracoviskách.

Použitá literatúra

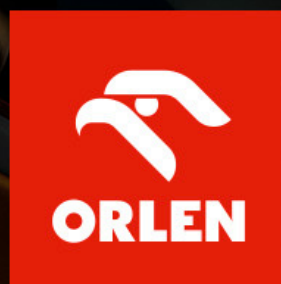
Dzurik, P. 2024. Návrh autonómnej údržby robotickej lakovacej linky železničných vozňov, Diplomová práca. Žilina: Strojnícka fakulta ŽU v Žiline.

Autor:

Ing. Pavol Dzurik

Autor získal Cenu SSU za najlepšiu diplomovú prácu za rok 2024

TANKARTA BUSINESS



- Zvýhodnené tankovanie
- Výdavky pod kontrolou
- Dynamicky rastúca sieť