

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 efektívnosť 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 dvojjložkový 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.

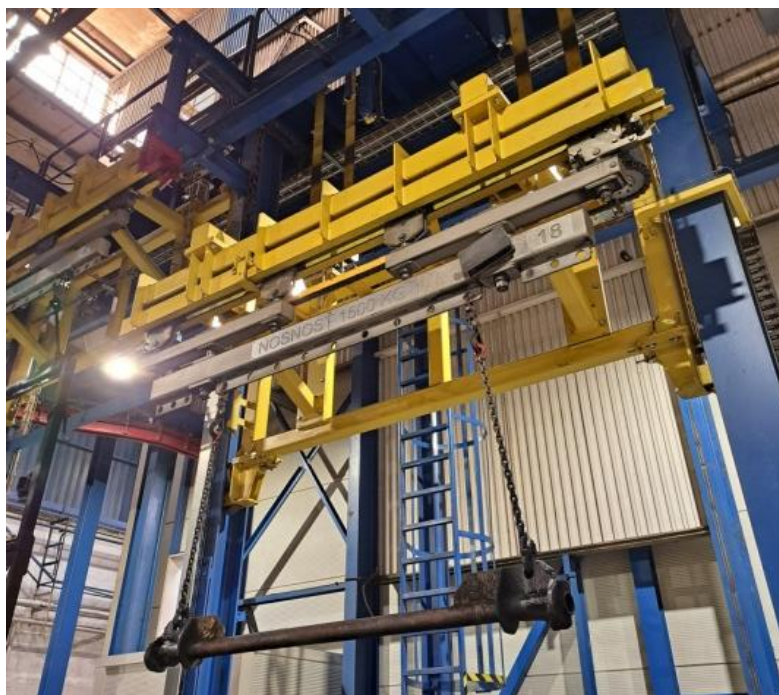
Autonómna údržba v tejto forme predstavuje významný krok smerom k štíhlej výrobe (lean production). Znižuje závislosť od externých zásahov, skracuje prestoje a posilňuje zodpovednosť operátorov. Okrem zefektívnenia samotnej výroby prispieva aj k motivácii pracovníkov, ktorí sú viac zapojení do udržiavania 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 štvrtnej 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 Dvojdrahový dopravníkový systém TS2000 – spustenie presuvníka

Údržba **filtrů vzduchotechniky vypařovacej 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 vypařovacej 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