

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 blížiaci 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.

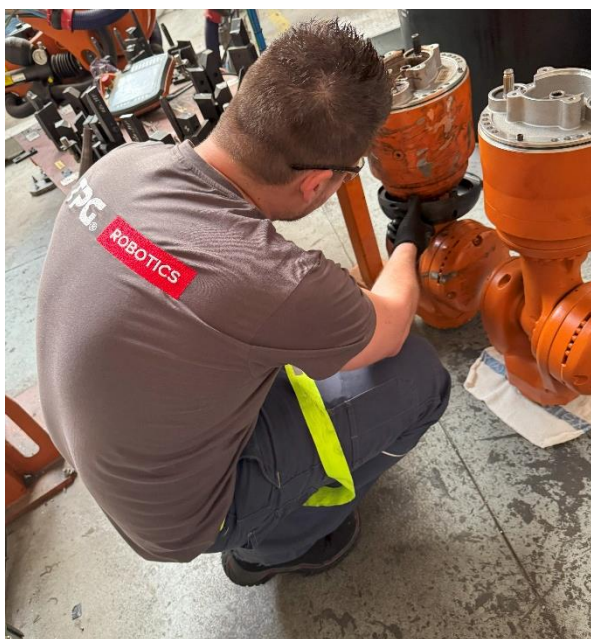
Prípadová štúdia 2: Zanedbanie včasnej generálnej opravy robota KUKA Quantec KR210 R2700 extra

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