

Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.

Studijní program: Průmyslový management

**Automatická stanice pro dotažení
kloubových hřídelí
Bakalářská práce**

Yannick Silkens

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří David, Ph.D.



Škoda Auto Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Yannick Silkens**
Studijní program: Průmyslový management

Název tématu: **Automatická stanice pro dotažení kloubových hřidelí**

Cíl: Cílem této bakalářské práce bude analýza a popis průběhu projektu Automatická stanice pro dotažení kloubových hřidelí realizovaného v roce 2022 ve Škoda Auto a.s., na hale M1. Tato práce zhodnotí stav před a po realizaci z různých hledisek, ať už technologie, ergonomie, opatření pro eliminaci lidského faktoru, či finanční rentabilita projektu. Mimo jiné bude popisovat jednotlivé milníky, které byly pro tento projekt klíčové k jeho uskutečnění. Dále bude porovnávat řešení dané problematiky na ostatních montážních halách v rámci Škoda Auto a.s.

Rámcový obsah:

1. Automatizace a robotizace.
2. Analýza a popis procesu automatizace pro dotažení kloubových hřidelí.
3. Charakteristika stanice pro dotažení kloubových hřidelí.
4. Porovnání řešení napříč montážními halami v rámci Škoda Auto a.s.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. INDRI, Marina; OBOE, Roberto. *Mechatronics and Robotics*. Boca Raton: CRC Press, 2020. 280 s. ISBN 978-0-429-34747-4.
2. SANNEMAN, Lindsay; FOURIE, Christopher; SHAH, Julie. *The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions*. Spojené státy americké: Now Publishers, 2021. 90 s. ISBN 978-1-680-83801-5.
3. FORD, Martin; PROKEŠ, Jan. *Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce*. Rybka Publishers, 2017. 377 s. ISBN 978-80-87950-46-3.
4. SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama. *Springer handbook of robotics*. 2. vyd. Springer, 2016. 2227 s. ISBN 978-3-319-32550-7.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2022

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2023

L. S.

Elektronicky schváleno dne 10. 5. 2023

Yannick Silkens

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 11. 5. 2023

doc. Ing. Jiří David, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 11. 5. 2023

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.

Garant studijního programu

Elektronicky schváleno dne 11. 5. 2023

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem Škoda Auto Vysoké školy o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 1.12.2023

Děkuji doc. Ing. Jiřímu Davidovi, Ph.D., za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Dále bych rád poděkoval všem kolegům z oddělení Plánování montáže, kteří se podíleli na úspěšné realizaci tohoto projektu.

Obsah

Úvod	7
1 Automatizace a robotizace.....	8
1.1 Původ slova robot.....	9
1.2 První robot Unimate	9
1.3 Přínosy a omezení automatizace	10
1.4 Novodobé trendy – Průmysl 4.0	13
2 Robotická zařízení	16
2.1 Servisní robot	16
2.2 Průmyslový robot.....	16
2.3 Využití robotů a důsledky na trh práce	19
3 Charakteristika stanice dotažení kloubových hřidelí.....	21
3.1 Popis jednotlivých komponent.....	22
3.2 Průběh cyklu.....	29
3.3 Porovnání řešení napříč montážními halami Škoda Auto a.s.	31
4 Analýza a popis průběhu projektu.....	32
Závěr	36
Seznam literatury.....	37
Seznam obrázků.....	40

Seznam použitých zkratk a symbolů

AEPS	koncernový nástroj pro komunikaci s dodavatelem
AGV	automaticky řízená vozidla v oblasti logistické přepravy materiálu
Anokus	system pro monitorování výsledků šroubových spojů
Folge	označení souboru se sekvencí operací v ovládacím prvku robota
HMI	ovládací panel zařízení
IoT	zkrácený název pro <i>internet věcí</i>
ISO	mezinárodní organizace pro standardizaci
ITS	zkrácený název pro Interní technický standard
M1, M13	označení montážních hal v závodě Mladé Boleslavi
M8, M10	standardizované typy metrických šroubů
ML1, ML2	označení montážních hal v závodě Kvasiny
MQB27	koncernové označení pro platformu vozu
MQB370	koncernové označení pro platformu vozu
Pendant	označení pro ovládací prvek robota
PLC	programovatelný logický automat
PR	třímístné kódové označení specifikace vozu
ROI	zkrácený název pro ukazatel návratnosti investice
SAP	počítačový systém pro správu podnikových procesů
SK27	interní označení pro model Škoda Fabia
SK370	interní označení pro model Škoda Scala / Kamiq
TIA Portál	typ počítačového systému od výrobce Siemens
ToolsNet	system ke správě a monitorování stavu utahovací techniky
XZN	typové označení tisícíhranného nástroje

Úvod

Tato bakalářská práce byla zpracována na projekt Automatické stanice pro dotažení kloubových hřídelí, který byl realizován během mé stáže ve Škoda Auto a.s. na oddělení Plánování montáže. Náplní tohoto oddělení je vyhodnocování a následná integrace nových projektů do montážních hal. Zmíněné oddělení je dále děleno do jednotlivých skupin dle částí montážní linky. Jedná se o finiš, elektronika a elektrika, interiér a exteriér, a podvozek. V poslední zmíněné skupině jsem působil od svého prvního semestru na univerzitě Škoda Auto Vysoká škola o. p. s.

Během mé stáže bylo zjištěno, že se na montážní lince M1 v Mladé Boleslavi nachází robotická stanice, která byla označena jako nefunkční. Dle informací získaných od mých kolegů bylo zjištěno, že se jedná o technologii pro narážení kloubových hřídelí. Pro analýzu příčiny vyřazení z provozu, byla svolána schůzka se zástupci výroby a údržby. Bylo sděleno, že činnost stanice byla ukončena z důvodu její nízké spolehlivosti a nutnosti častých zásahů údržby. Krom zmíněných příčin, byla stanice odstavena kvůli nutné integraci nových vozů Fabia, Scala a Kamiq. Cenová nabídka pro integraci těchto modelů byla však natolik vysoká, že v červenci roku 2019 bylo rozhodnuto o ukončení provozu.

Všechny výše zmíněné aspekty byly příčinou zrodu myšlenky, zda by bylo možné využít stávající roboty. Rozhodnutí, zda se obnovou této stanice zabývat, proběhlo na základě možných přínosů automatizace. Současné pracoviště pro dotažení kloubových hřídelí bylo zhodnoceno z hlediska ergonomie. Z výsledků bylo zjištěno, že operace dotažení šroubů kloubových hřídelí je vysoce riziková z důvodu vysokého utahovacího momentu. Bylo tedy rozhodnuto o úpravě stanice z narážení hřídelí na jejich šroubování. Sekundárním cílem přestavby byla potenciální úspora dvou pracovníků. Dále bylo požadováno integrování bezpečnostního prvku jako opatření proti nedovoleným zásahům do šroubových spojů.

Primárním cílem mé práce je analýza a popis průběhu zmíněného projektu od zrodu myšlenky po uvedení stanice do provozu. Dalším mým záměrem je popis celého průběh cyklu stanice. Mezi sekundární cíle patří porovnání stavu před a po realizaci z různých úhlů pohledu, ať už technologie, ergonomie či opatření pro eliminaci lidského faktoru. V neposlední řadě je cílem poukázat na způsob řešení dané problematiky napříč ostatními montážními linkami v rámci Škoda Auto a. s.

1 Automatizace a robotizace

První náznak samočinného stroje byl shledán již ve starověkém Babylonu daleko před naším letopočtem. Jednalo se o vodní hodiny, které si lze představit jako nádobu s vyrytými číslicemi ze které malým otvorem vytékala voda do druhé nádoby (Betts, 2019). Obecně lze konstatovat, že hybnou silou prvních mechanismů byla převážně vodní energie. V 18. století však nastal velký průlom. Siciliano a Khatib (2016, str. 1) uvádí, že „v Japonsku byla sestrojena panenka *Karakuri Ningyo*“ (viz Obr. 1). Jednalo se o samočinně pohyblivou bytost, která dokáže přemístit šálek čaje po nelineární dráze. Ve Světové encyklopedii loutkového umění (2023) je dále psáno, že slovo *karakuri* lze volně přeložit jako „samočinný, automatizovaný“.



Zdroj: (Shobei IX, 2005)

Obr. 1 *Karakuri Ningyo*

Automatizaci lze obecně vysvětlit jako trend vedoucí k samočinnému vykonávání činností bez neustálé lidské intervence (Technická univerzita v Košicích, 2011). Nutno podotknout, že díky automatizaci se mění náplň práce. Lidé již nevykonávají rutinní operace, nýbrž dohlíží na hladký průběh automatizovaných činností. V případě potřeby provádí činnosti, které nelze automatizovat. Ve výrobním sektoru se jedná například o kalibraci, výměnu nástroje či zajišťování materiálu.

Robotizace souvisí s usnadněním či nahrazením operací, které byly vykonávány operátory. Obecně lze říci, že tendence nahrazování lidských činností roboty je čím dál tím silnější. Důsledkem toho je velký nátlak na výrobce, aby vlastnosti

a schopnosti svých robotů neustále zdokonalovali. Dále je v současné době kladen velký důraz na životnost, univerzálnost jejich použití, snadnou údržbu, a především nízké pořizovací náklady, které jsou však stále značnou překážkou pro pořízení do malých a středních podniků. Siciliano a Khatib (2016) dále uvádí, že míra automatizace je spojena s cenou dělnické práce, která byla v dosud stále přijatelnější než vysoké investice. V současné době je však patrný růst ceny lidské práce, což lze považovat jako hnací pohon jakýchkoliv automatizací. Je očekáváno, že budoucnost v oblasti robotizace se bude týkat přizpůsobení zařízení pro bezpečnou kooperaci s člověkem (Çiğdem et al., 2023).

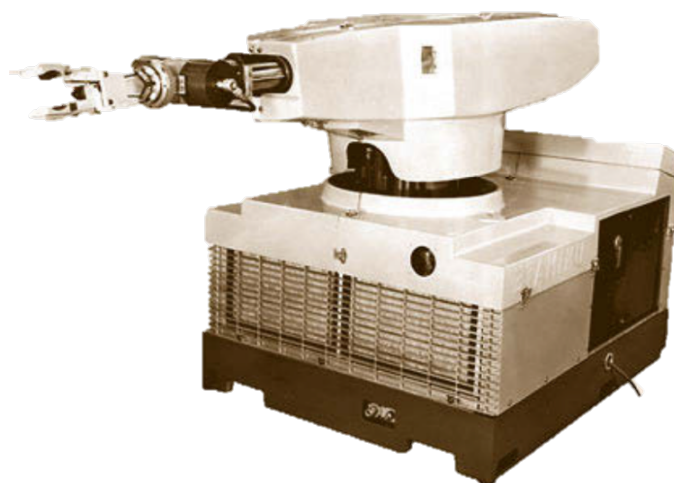
1.1 Původ slova robot

Slovo „robot“ pochází ze slova „robota“ neboli práce. Dále je známo, že slovo robot bylo poprvé použito v divadelní hře českého autora Karla Čapka R.U.R, celým názvem Rossumovi univerzální roboti (R.U.R, 2018). Je milné se domnívat, že autorem tohoto pojmu je zmíněný Karel Čapek. Ten však v Lidových novinách (1933) píše, že za slovem *robot* stojí jeho bratr Josef. Přestože byla divadelní hra dokončena před více než sto lety, je zde velmi nadčasově poukázáno na problematiku ztráty lidské kontroly nad technologiemi. Roboti se zpočátku těšili velké oblibě, neboť pracovníkům v továrnách usnadňovali práci. Zanedlouho však roboti převzali nad lidmi veškerou moc a postavili se proti nim.

1.2 První robot Unimate

První robotické zařízení bylo patentováno v roce 1954 americkým vynálezcem Georgem Devolem. Jeho společníkem byl Joseph Engelberger, který k Devolově vynálezu zpracoval obchodní model. Podle něj měli roboti nahradit operátory při rizikových činnostech. Samotný robot byl zkonstruován o 5 let později. Tento prototyp byl implementován v roce 1961 v americké společnosti General Motors (Siciliano a Khatib, 2016). Zmíněný podnik se zanedlouho stal nejvíce automatizovaným podnikem v automobilovém sektoru. Tento fakt lze považovat jako důkaz vysokého přínosu robotizace právě automobilovém průmyslu. Asociace pro pokročilou automatizaci (2023) uvádí, že v tom samém roce byla zahájena první sériová produkce robotů. Jednalo se o model *Unimate 1900* (viz Obr. 2). Díky těmto robotům bylo možné o pár let později svařit až 110 vozů během jedné hodiny.

Zanedlouho došlo k uzavření dohody s předchůdcem současného výrobce robotů *Kawasaki Robots*.



Zdroj: Upraveno dle (Siciliano a Khatib, 2016)

Obr. 2 Robot Unimate

1.3 Přínosy a omezení automatizace

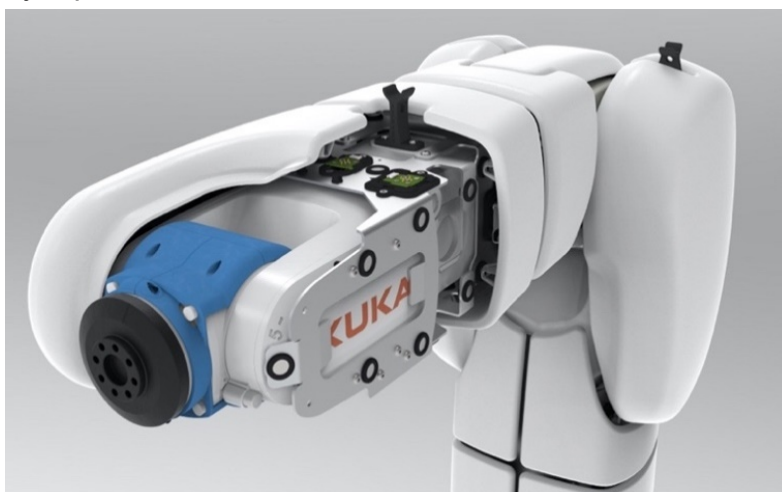
Přenesení činností z operátorů na robota má celou řadu výhod. Například snížení fyzické zátěže personálu, eliminace rutinních činností či preciznost při opisování trajektorií, například při nanášení lepidla (Siciliano a Khatib, 2016; Çiğdem et al., 2023). Dále se jedná o jeden ze způsobů, jak eliminovat lidské selhání. V neposlední řadě přináší automatizace z finančního hlediska značnou úsporu, neboť se jedná jednorázovou investici, která přinese v budoucnu snížení provozních nákladů.

Naproti tomu stojí činnosti, které kvůli svým specifickým vlastnostem není vhodné automatizovat. Jedná se o činnosti s velkým počtem obměn. Příkladem je trasování a propojování svazků elektroinstalace. Zde je nutné využít jemné motoriky, neboť by se křehké konektory mohly snadno poškodit. Další faktor, které je nutné brát v potaz je samotné prostředí, ve kterém chceme roboty umístit. Nejen tyto a další požadavky jsou definovány v patřičných ISO normách, které je nutné dodržovat.

1.3.1 Bezpečnost

Ocelová konstrukce robota umožňuje zvedat těžká břemena a operátor vstoupí do akce pouze v případě, že se jedná o činnost, kterou nelze automatizovat.

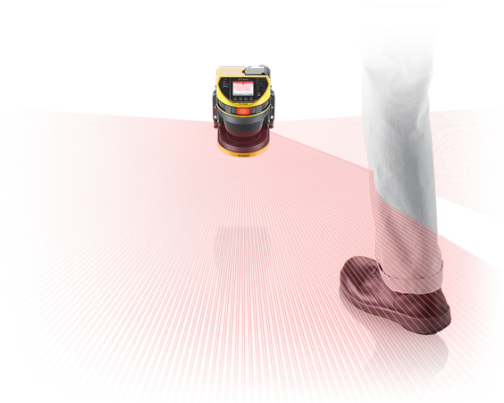
Tento idylický příklad má ovšem svá úskalí. Robot díky svému masivnímu provedení by snadno mohl způsobit zranění. Proto je nutné umístit okolo robota dostatek bezpečnostních prvků. Ty jsou rozdělovány na aktivní a pasivní (Sanneman et al., 2021). Do první skupiny lze zařadit například skenery či světelné závory, které monitorují pohyb v reálném čase. Pasivní prvky v případě sepnutí přerušují bezpečnostní okruh a zastaví pohyby robota. Typickým příkladem je senzor, který však v dnešní době může mít několik podob. Jednou z nich je kapacitní opláštění robota, jenž dokáže zaznamenat kolizi s člověkem či cizím tělesem (viz Obr. 3). Díky této technologii lze vytvořit robotické pracoviště bez nutnosti ohrazení. Na druhou stranu je nutné brát v potaz riziko poranění způsobené nástrojem či přemísťovaným předmětem.



Zdroj: (Airskin, 2023)

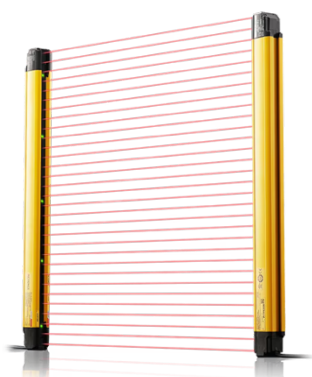
Obr. 3 Airskin

Na robotická pracoviště se vztahuje hned několik obecných norem. Jednou z nich je ČSN EN ISO 12100:2010, která upravuje bezpečnost všech strojních zařízení. Zde je kladen důraz na konstrukční zpracování (ÚNMZ, 2011). Rovněž je požadováno, aby v systému řízení daného zařízení byla zahrnuta bezpečnostní část, která je obsahem normy ČSN EN ISO 13849-1:2015 (ÚNMZ, 2017). Vzdálenost mezi bezpečnostními prvky, jakož jsou oplocení, světelné skenery (viz Obr. 4) a závory (viz Obr. 5), je také předem definována, a to díky ČSN EN ISO 13855 (ÚNMZ, 2010). První norma týkající se konstrukčních parametrů robotů s ohledem na bezpečnost je ČSN EN ISO 10218-1 (ÚNMZ, 2012). Druhý díl této normy ČSN EN ISO 10218-2 (ÚNMZ, 2011) popisuje požadavky pro zajištění bezpečnosti při kooperaci.



Zdroj: (Keyence, 2023a)

Obr. 4 Světelný senzor



Zdroj: (Keyence, 2023b)

Obr. 5 Světelná závora

Spolupráce na oploceném pracovišti

V poslední zmíněné normě v předchozím odstavci jsou definovány situace, během kterých může člověk s robotem kooperovat. Jedná se o oplocené robotické pracoviště, kdy v případě nutnosti lidského zásahu operátor vstoupí na pracoviště (Siciliano a Khatib, 2016). Otevřením dveří či narušením světelné závory je přerušena bezpečnostní okruh řízení, což okamžitě zastaví pohyb ve stanici. Poté, co je úkon člověka dokončen, opuštěním stanice zařízení pokračuje v započaté činnosti. Typickým příkladem takové spolupráce je výměna nástroje robota.

Spolupráce bez oplocení - Ruční navádění robota

V případě, že není možné využít předem definované trajektorie, je robot naváděn kompetentním pracovníkem ručně, za pomoci madla na ovládacím kontroléru robota. Rukojeť obsahuje tlačítko, které je nutné po dobu ručního navádění držet

stisknuté. Tento princip slouží jako indikátor přítomnosti obsluhy (Siciliano a Khatib, 2016).

Spolupráce bez oplocení - Proměnlivá rychlost robota

Dalším způsobem, jakým lze zajistit fungující a bezpečnou kooperaci je pomocí laserových skenerů. Ty v reálném čase měří vzdálenost cizího tělesa od ramene robota. Čím se tato vzdálenost zmenšuje, tím více je snížena rychlost robota až dojde k jeho úplnému zastavení. V praxi je nejčastěji využito hned několik skenerů, aby bylo pokryto celé pole působnosti robota (Siciliano a Khatib, 2016).

1.4 Novodobé trendy – Průmysl 4.0

Jistě není pochyb, že by se vývoj nových trendů v oblasti automatizace zastavil. Ve výrobním odvětví hovoříme o průmyslu 4.0, jako o další, v pořadí již čtvrté průmyslové revoluci. Její počátek je spojován s transformací německého průmyslu v roce 2013 (Barbieri et al., 2022). Krom rozvoje robotizace se jedná se o etapu směřující k digitalizaci výrobních továren (McKinsey & Company, 2022).

Dále je uváděno, že průmysl 4.0 lze rozdělit do následujících skupin:

- Komunikační prostředí – IoT, cloudové služby, vnitropodnikové sítě
- Zpracování dat – pokročilé analytické systémy, umělá inteligence
- Spolupráce člověka s robotem – automatizace, roboti, autonomní vozidla (AGV)
- Pokročilé metody ve strojírenství – aditivní technologie

Přínosem čtvrté průmyslové revoluce je především zvýšená efektivita produkce (Çiğdem et al., 2023). Autor dodává, že díky tomuto trendu jsme schopni naslouchat požadavkům zákazníků a vyrábět produkty přesně dle jejich požadavků. Mimo zmíněných, je dalším benefitem průmyslu 4.0 úspora v oblasti energetiky.

Internet of Things

Jedním z nejvíce skloňovaných pojmů v souvislosti s průmyslem 4.0 je internet věcí neboli *IoT*. Ten lze definovat jako „sít' složenou z jednotlivých zařízení, která jsou vybavena odpovídajícím softwarem a senzory ke vzájemné komunikaci prostřednictvím do sítě“ (Rayes a Salam, 2017, str. 2). Mezi zařízení lze zahrnout

stroje, domácí spotřebiče či automobily. Pokud hovoříme o internetu věcí ve výrobním odvětví, pak se jedná o tzv. *industriální internet věcí*. Ten by měl zvýšit efektivitu komunikace nejen uvnitř továrny mezi jednotlivými stroji, odděleními či pobočkami, rovněž by mělo dojít ke vzájemné výměně informací mezi podniky. Toho by mělo být docíleno prostřednictvím informačních systémů (Novotný et al., 2020).

Cloudové služby

Ruku v ruce s *internetem věcí* se pojí *cloudové služby* (Rayes a Salam, 2017). Ty slouží jako úložiště veškerých dat získaných ze zařízení. Vzhledem k jejich enormnímu objemu jsou tato data označována jako *Big data*. Dále platí, že čím více technologických zařízení bude schopno odesílat data, tím větší budou nároky na cloudové systémy. Zpracování dat do požadované podoby je zajištěno prostřednictvím pokročilých informačních systémů. Výsledná data jsou využívána managementem podniku k jeho řízení. Díky tomuto trendu je možné pracovat s daty v reálném čase a odkudkoliv na světě.

Naproti masivnímu využití těchto cloudových úložišť však stojí obavy z možného úniku dat, pokud by se patřičné servery staly obětí kybernetického útoku (Sanneman et al., 2021). Dále je zmíněn problém v oblasti komunikačních protokolů, neboť se v současné době užívá hned několik protokolů v závislosti na výrobcu daného zařízení.

Prediktivní údržba

Nasazení principu prediktivní údržby je dalším z benefitů průmyslu 4.0. Jedná se o systém zpracovávající data o poruchovosti daného zařízení (Sanneman et al., 2021). V případě, že je nalezena periodicitu v opakování poruch, je možné naplánovat servisní zásah ještě před tím, než dojde k poruše. Díky integraci lze eliminovat narušení výrobního toku, proto se jedná o velmi důležitý nástroj. Obecně lze říci, že průmysl 4.0 je v současné době více či méně zastoupen v takřka každém výrobním závodě.

Digitální dvojče

Pojem digitální dvojče můžeme popsat jako trend spočívající v přenosu reálného objektu do světa virtuálního a naopak (Novotný et al., 2020). Krom vizuálního

přínosu lze objektům přiřadit vlastnosti a díky tomu nasimulovat stavy, kterých by v reálném světě nebylo možné dosáhnout. Jedná se například o analýzu vyrobiteľnosti nového produktu. Dále je možné díky simulaci zkrátit čas potřebný k integraci nového modelu.

Umělá inteligence

Strojové učení, jak je umělá inteligence často nazývána, lze popsat jako snahu o pozdvižení míry autonomie systémů. K tomu je využito principů „učení“ a nalézání možného řešení. Kromě využití AI v oblasti „chatbotů“ se s prvky umělé inteligence můžeme potkat v průmyslu. Analýza velkého množství dat slouží stroji jako zpětná vazba na základě, které je stroj schopen se učit. Díky tomuto principu je možné například snížit míru nepřesnosti snímání kamerového systému (Novotný et al., 2020).

2 Robotická zařízení

Na robotická zařízení lze nahlížet dle různých úhlů pohledu. Vezmeme-li v potaz Americký institut robotiky, jehož definice se opírá o prvotní využití, pak bychom roboty interpretovali jako manipulátor (David, 2020). Poněkud odlišný pohled mají Indri a Oboe (2020, str. 2), kteří uvádí, že jedná o „mechatronický systém, kombinující software, řídicí prvky, elektroniku a mechanické provedení“. Avšak je nutné dodat, že od běžných mechatronických zařízení se roboti liší mírou autonomie, tj. schopností reagovat nejen na poskytnutá vstupní data, ale i na nahodilé situace dle předem definovaných scénářů (Skařupa, 2007).

V současné době se lze setkat s několika způsoby, jak lze robotická zařízení rozdělit. Dle jejich využití rozlišujeme roboty servisní a průmyslové (Novotný et al., 2020).

2.1 Servisní robot

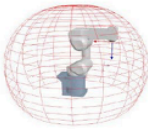



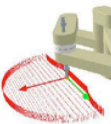







Servisní roboty lze popsat jako „fyzická zařízení umožňující vykonávat pohybové či nepohybové úkoly za využití informačního systému s vysokým stupněm autonomie“ (Holthöwer a van Doorn, 2022, str. 767). Jejich velký rozmach byl zaznamenán v roce 2018. Od té doby jsou servisní roboti využívány například ve vesmíru, v domácnostech, sociálních službách a v neposlední řadě při manipulaci s nebezpečným předmětem (Novotný et al., 2020). Na druhou stranu autoři uvádí, že vyšší míře nasazení těchto robotů brání skepse. Lidé stále nejsou zvyklí komunikovat se strojem jako s člověkem. Důležitý je rovněž vzhled humanoidního robota. Čím více se bude podobat lidskému tělu, tím spíše bude lidmi akceptován. Provedená studie ukázala, že lidé jsou ochotni přijmout servisní roboty v situacích, při kterých by případná interakce s člověkem mohla způsobit sociální nepříjemnost (Holthöwer a van Doorn, 2022). Jedná se například o nákup intimních pomůcek či vyšetření infekcí přenášených pohlavním stykem.

2.2 Průmyslový robot

Ve výrobním odvětví se setkáváme primárně s průmyslovým robotem. Ten je dle Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO, 2021, str. 2) definován jako „automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, s více než třemi reprogramovatelnými osami, určený

k průmyslové automatizaci“. Právě počet pohyblivých os odlišuje jednoúčelové manipulátory od robotů, kteří musí umožňovat řízený pohyb ve více než 3 osách (David, 2020; Skařupa, 2007).

Na obrázku 6 lze vidět rozdělení průmyslových robotů dle jejich konstrukce:

Princip	Kinematická struktura	Ilustrativní obrázek
Articulated Robot		
SCARA Robot		
SCARA Robot		
Cartesian Robot		
Parallel Robot		
Cylindrical Robot		

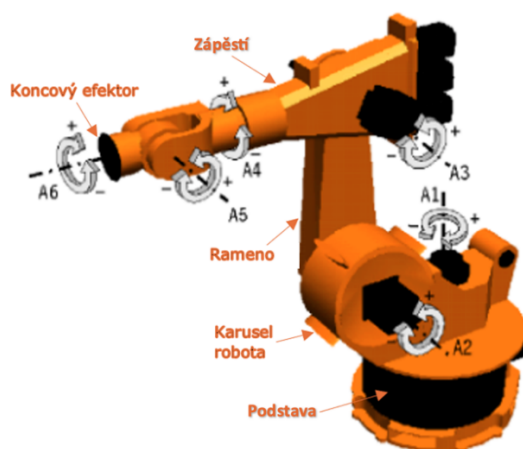
Zdroj: (WR Industrial Robots, 2022)

Obr. 6 Typy průmyslových robotů dle konstrukce

V praxi se nejčastěji setkáme s tzv. robotickým pracovištěm. Jedná se o oplocený prostor, kde je využíván jeden či více robotů současně. Siciliano a Khatib (2016, str. 1391) dále uvádí, že „průmyslový robot, je hlavním pilířem směřující ke konkurenceschopnosti a ekonomickému růstu“.

2.2.1 Části průmyslového robota

Mezi součásti robota patří mimo jiné podstava. Ta nemusí být vždy ukotvena do země. Existují aplikace, kdy je robot zavěšen na konstrukci či je upevněn na lineárním pojezdu. Pak hovoříme, že robot má tzv. sedmou osu. Další částí robota je rameno, které slouží k přenášení objektů (viz Obr. 7). Po rameni pak následuje část označovaná jako zápěstí, jejíž účelem je korekce koncové polohy daného objektu. Mezi jednotlivými segmenty jsou klouby, které umožňují translačně-rotační pohyb celkem v šesti osách (Novotný et al., 2020; Technická univerzita v Košicích, 2011). Dle užívané terminologie lze říci, že 6-osý robot má 6 stupňů volnosti. Jednotlivé osy jsou na obrázku níže označeny A1 až A6, dle standardizovaného označení. Na konci zápěstí se nachází tzv. koncový efektor. Asociace pro pokročilou automatizaci (2020), stejně jako Skařupa (2007) uvádí, že se jedná o místo na konci robota, pomocí kterého robot vykonává danou činnost. Nejčastěji se jedná o mechanický nástroj sloužící k uchopení předmětu. Dále se může jednat o specifické zařízení například svařovací kleště, utahovací techniku, či senzory.



Zdroj: Upraveno dle (Technická univerzita v Košicích, 2011)

Obr. 7 Popis částí robota

Krom samotného robota je sestava tvořena řídicí jednotkou, která vyhodnocuje data získaná od jednotlivých pohonů a procesuje následné kroky. Další nedílnou součástí robotického zařízení je ovládací panel tzv. *pendant* (Technická univerzita v Košicích, 2011). Ten mimo jiné úkony umožňuje vytváření a editaci trajektorií hned několika způsoby, například pomocí 6D myši

či polohováním jednotlivých kloubů. Dále je z ovládacího panelu možné přepínat mezi ručním a externím režimem řízení (např. pomocí nadřazeného PLC).

2.2.2 Kolaborativní roboti

Zvláštním typem průmyslových robotů jsou kooperující roboti, zkráceně nazývaní „koboti“. Jedná se o zařízení s odlehčenými rameny, díky kterým je možné spolupracovat s robotem bez nutnosti oplocení (Sanneman et al., 2021). Na druhou stranu, právě nízká tuhost těla robota je jedním z omezujících faktorů. Autoři dále uvádí, že při tvorbě bezpečnostního konceptu je vždy nutné vzít v potaz nejen samotné tělo robota, ale i nástroj či přemísťovaný objekt.

2.3 Využití robotů a důsledky na trh práce

Enormní rozvoj v oblasti automatizace způsobil přeměnu trhu práce. Ta má však různou podobu v závislosti na kontinentu. Ford (2017) ve svém díle uvádí, že automatizace v minulém století v Americe pomohla zabránit úplnému kolapsu textilního odvětví. Ten byl způsoben dovozem zboží z třetích zemí, ze zemí s nižší cenou práce. Část pracovních míst sice byla nahrazena roboty, na druhou stranu právě roboti zabránili úplnému uzavření výrobních závodů a tím i masivní vlně propouštění. V méně rozvinutých zemích, autorem zmíněných Vietnam a Indonésie, byly díky automatizaci odbourávány rutinní, často velmi namáhavé úkony, což vedlo ke zlepšení pracovních podmínek.

Obecně lze konstatovat, že míra automatizace se i přes drobné turbulence neustále zvyšuje. První pokles meziročního tempa růstu automatizací zaznamenáváme v roce 2019. V tomto roce uvalily Spojené státy americké sankce na čínské produkty a vypukla obchodní krize. Snížená poptávka po výrobcích zapříčinila pokles počtu nových automatizací. Důkazem o této skutečnosti jsou statistická data obsažená ve výroční zprávě Mezinárodní federace robotiky (Müller, 2023). O rok později zasáhla celý svět pandemie Covid-19, která negativně ovlivnila takřka celý průmysl. Poté, co se situace stabilizovala, začali výrobci opět navyšovat objemy produkce, aby uspokojili rostoucí poptávku. Je uváděno, že v letech 2021 a 2022 bylo poprvé dosaženo více než 500 tisíců nových automatizací. Tento enormní nárůst přispěl v roce 2022 k překročení 4 milionové hranice celosvětového počtu průmyslových robotů. Jistě není překvapením, že automatizaci dominují především asijské země. Právě v Číně bylo ve stejném roce integrováno 74 % z celosvětového přírůstku

automatizace. Mezitím v Evropě jich bylo nainstalováno pouhých 16 %, a to převážně v zemích Německa, Itálie a Francie. Překvapivě nízkého počtu nových automatizací bylo dosaženo v Americe, kde bylo nainstalováno pouze 10 % robotů z celosvětového meziročního přírůstku. Ve výroční zprávě je dále zmíněno, že do roku 2020 byli průmysloví roboti využíváni primárně v automobilovém průmyslu. Od té doby je elektrotechnický průmysl odvětvím s nejvyšším meziročním přírůstkem automatizací. Tato změna je dalším z důsledků pandemie. Na zvýšenou poptávku po polovodičích, ať už jako komponentů pro spotřební elektroniku či řídicí jednotky pro automobilový průmysl, zareagovali výrobci masivní vlnou automatizace.

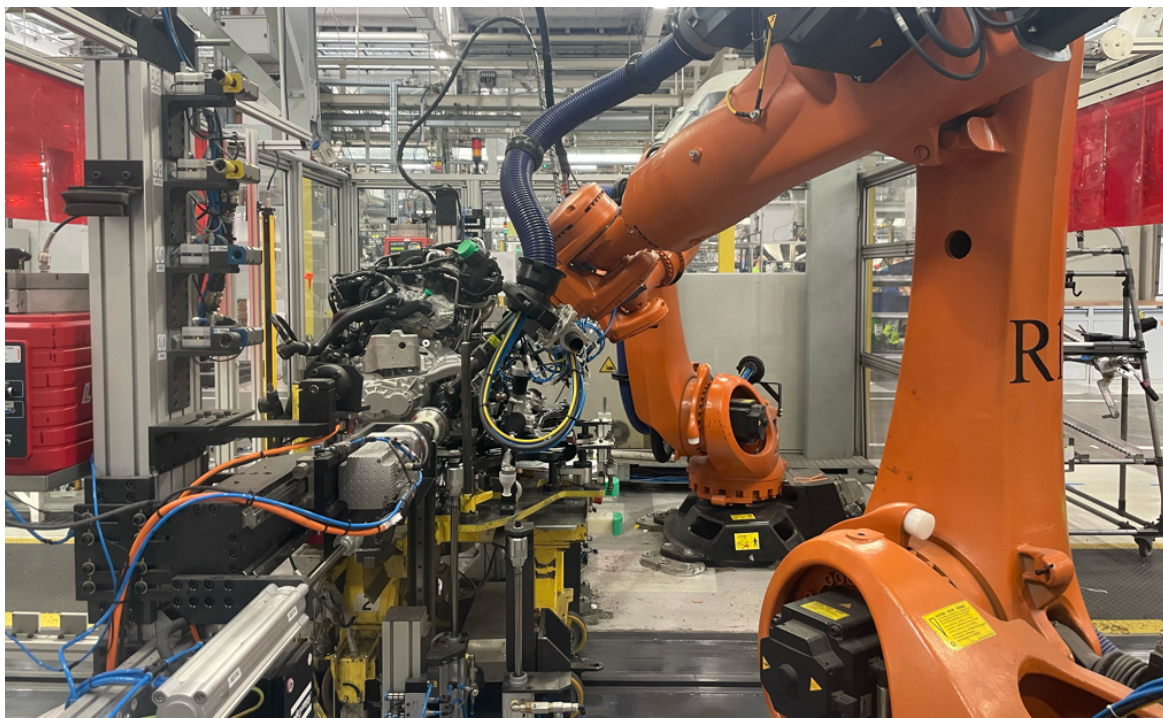
3 Charakteristika stanice dotažení kloubových hřídelí

Jak je již z názvu práce patrné, jedná se o automatickou stanici, která slouží k dotažení šroubů kloubových hřídelí neboli poloos (viz Obr. 8). Nejprve je nutno podotknout, že se jedná o úpravu nevyhovující robotické stanice pro narážené kloubové hřídele. Ve Škoda Auto a.s. na montážní hale M1, kde se automatizace nachází, jsou montovány vozy na platformách MQB27 (Fabia) a MQB370 (Scala a Kamiq). Jedná se o automobily pouze s konvenčními motorizacemi.

Jestliže hovoříme o smontovaném motoru s převodovkou, pak tento celek lze označit jedním slovem – agregát. Ten přenáší hybnou sílu na kola pomocí poloos. Pro jednotlivé druhy agregátů jsou definovány buď narážené nebo šroubované kloubové hřídele. Jejich typ je určen kombinací dvou PR podmínek, tj. typem motoru a typem převodovky. Pro popisovanou šroubovací stanici bylo nutné rozlišit hřídele se šrouby XZN o velikosti M10 a M8. Dále platí, že daný typ spojení se může v porovnání mezi levou a pravou stranou lišit. Například může nastat, že levá kloubová hřídel je utahována pomocí šroubů XZN M10 a pravá hřídel je narážena či šroubovaná pomocí XZN M8. Vzhledem k velmi rozmanitému složení výrobního programu v době realizace, bylo definováno deset typů agregátů s alespoň jednou šroubovanou hřídelí. Dále bylo požadováno, aby jednotlivé strany utahovací stanice byly vzájemně nezávislé, tj. v případě poruchy na jedné straně, musí být možné zprovoznit stanici alespoň částečně.

Dotažení šroubů kloubových hřídelí bylo dosud vykonáváno dvěma operátory o jednu pracovní pozici dříve před touto stanicí. K dotažení jim sloužila ruční utahovací technika od firmy Atlas Copco. Jednalo se celkem o čtyři utahovány, z důvodu užívání XZN M8 a M10 na obou stranách stanice. Samotný úkon dotažení je velice namáhavý z hlediska ergonomie. Zachycení reakce při zmíněném vysokém momentu silně poškozují svalstvo v oblasti předloktí. Právě na základě zhodnocení možného přínosu realizace přestavby byl celý projekt zafinancován. Vzhledem k výši investice byla brána v potaz rovněž návratnost projektu. Ta je dle strategie Škoda Auto a. s. kalkulována pomocí ukazatele návratnosti investic ROI. Dle aktuálních podmínek je nutné dosáhnout návratnosti nad 8 %. Toho bylo dosaženo díky možné úspoře dvou pracovníků.

Taktovací čas této montážní linky je 52 vteřin. Jedná se o zásadní faktor nejen pro operátory, ale i pro jakékoliv strojní zařízení. Dalším omezením pro daný projekt byla velikost půdorysu stávajícího oplocení. To nebylo možné rozšířit z důvodu velkého množství operací vykonávaných v daném úseku předmontáže podvozku.



Obr. 8 Automatická stanice pro dotažení kloubových hřídelí

3.1 Popis jednotlivých komponent

V následujících kapitolách jsou popsány klíčové prvky popisované automatické stanice.

Průmysloví roboti

Součástí přechozí stanice byly dva roboti *Kuka KR120 R2500 pro*. Jedná se o typ 6-osého robota s maximálním dosahem 2 496 mm a možným užitečným zatížením 120 kg. Pro zjištění, zda je tento model vhodný bylo nutné nejprve zanalyzovat hmotnost břemene. Dle konstrukčního výpočtu bylo zjištěno, že hmotnost celého přípravku je 32 kg, tedy je nižší než maximální nosnost. Ve spolupráci s kolegy ze svařovny byli roboti důkladně zkontrolovány a byla provedena jejich preventivní údržba. Vzhledem k vyhovujícím parametrům a nízkému opotřebením robotů bylo rozhodnuto o jejich zachování pro tento projekt.

Uchopovací zařízení

Na koncovém efektoru každého z robotů je umístěno uchopovací zařízení, anglicky pojmenované jako *greifer*. Ten slouží k upevnění utahovací techniky, aplikátoru barvy a několika pneuválců (viz Obr. 9). První z nich je využíván k posuvu utahovací techniky směrem do a ven ze hlavy šroubu. Pokud by tento pohyb vykonával přímo robot, nedocházelo by k hladkému zapadnutí utahovacího bitu do hlavy šroubu, ale pouze k jeho poškození. Dále byl integrován pneuválec (označený číslem 2) pro zajištění bitu proti samovolnému uvolnění. Tento pneuválec je uvolněn pouze v případě výměny nástroje. V neposlední řadě je pomocí pneuválce (označeným číslem 3) zajištěn pohyb aplikátoru barvy.



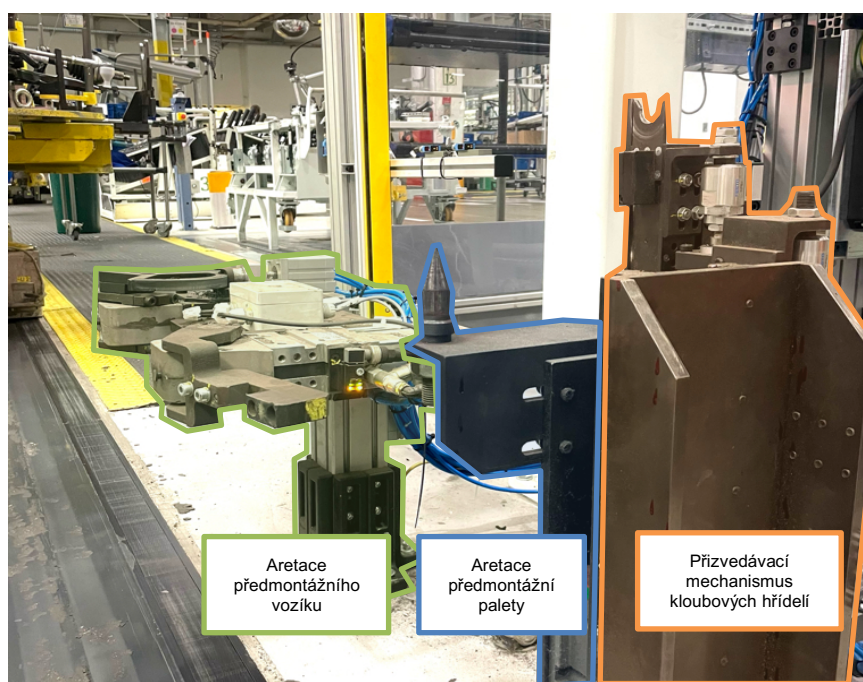
Obr. 9 Uchopovací zařízení

Aretační prvky

Funkcí aretačních prvků je přesně definovat polohu agregátu. Ten je umístěn na předmontážní paletě, která je ustavena na malém předmontážním vozíku. Vzhledem k neměnným trajektoriím robotů, je nutné, aby tato sestava byla vždy na totožném místě.

Prvním z prvků je aretace předmontážního vozíku (viz Obr. 10). Ta zachytí rám vozíku v případě, že vozík přejede zastavovací pozici. Dalším prvkem je dvojice aretačních kolíků, které definují korektní pozici předmontážní palety. Následně bylo nutné integrovat přizvedávací mechanismy, které zdvihnou kloubové hřídele do vodorovné polohy tak, aby bylo možné je na jejich konci uchopit servy pomocí drážkovaného uložení. Tyto mechanismy jsou ustaveny na lineárních pojezdech. Pomocí zmíněné dvojice serv je poloosami pootočeno o určitý úhel tak, aby hlava šroubu byla v požadovaném místě na kružnici. Aby bylo možné na každé straně otáčet hřídeli o rozdílný úhel, bylo nutné zajistit, aby se serva otáčela každé na opačnou stranu. Tím je předcházeno poškození převodovky, neboť se hřídele protáčí v diferenciálu.

Vzhledem k rozvolněným trnům a podpěrám přední palety, na kterých je agregát usazen, bylo nutné pozici agregátu dále definovat pomocí pneumatické čelisti.



Obr. 10 Aretační mechanismy

V případě, že by stanice nebyla dostatečně vybavena aretačními mechanismy, bylo by nutné zvolit pokročilejší kamerový systém, který by navedl v reálném čase robota do požadované pozice. Tento systém však nebylo možné integrovat z důvodu nízkého taktovacího času.

Řídící systém

Celá stanice je ovládána pomocí řídicí jednotky *Siemens CPU319*, označovaná jako *PLC*. Zde dochází ke vzájemné koordinaci jednotlivých prvků stanice. Dále je pomocí řídicího systému zajištěna bezpečnost celé stanice. Součástí je také dvojice *HMI* dotykových panelů pro vizualizaci a správu stanice. Zde jsou zobrazeny informace o daném typu agregátu. Krom výsledků utažení jednotlivých šroubů je vizualizováno výrobní číslo vozu, typ programu a čas cyklu.

Utahovací technika

K dotažení šroubů byla definována utahovací technika od výrobce *Atlas Copco*. Jednalo se o dvojici utahováků s úhlovou hlavou, konkrétně o typ *QST50-170CTV-T50-H13* (viz Obr. 9). Ke každé z nich byla integrována řídicí jednotka *PF6 FlexSystem*.

Dle subdodavatele mechanických komponent byly definovány tři typy bitů – *XZN M10 120 mm*, *XZN M8 120 mm* a *XZN M8 78 mm*. První zmíněný je použit na obou stranách stanice. Dlouhá varianta *XZN M8* je využita pouze vlevo. Naopak na pravou stranu stanice byl zvolen krátký nástroj *M8 78 mm*, a to z důvodu omezeného přístupu k pravé poloose ve variantě s pravostrannou tyčí řízení.

Dle technické specifikace Volkswagen AG (2017) pro kloubové hřídele se šrouby *XZN M10* platí, že finální utahovací moment je roven $50 \text{ Nm} + 45^\circ$ s tolerancí $\pm 15 \%$ a $\pm 15^\circ$. Pro variantu s *XZN M8* je definován moment $20 \text{ Nm} + 180^\circ$ s tolerancí $\pm 15 \%$ a $\pm 15^\circ$.

Vzhledem ke stávající metodice vyhodnocování úspěšnosti spojů dle modelů vozů, bylo nutné rozlišit utahovací programy pro modely *SK27 (Fabia)* a *SK370 (Scala a Kamiq)*. Celkově pak vznikla čtveřice utahovacích programů na každé straně stanice. Proti případnému zaseknutí bitu uvnitř hlavy šroubu po jeho utažení, byla do každého utahovacího programu integrována funkce „uvolnění bitu“, která spočívá v krátkém povolujícím rázu utahovákem o $0,1^\circ$.

Výsledky o utažení spojů jsou zasílány nejen do *PLC*, ale primárně do systému *ToolsNet*, kde jsou evidovány veškerá data o šroubových spojkách. Dále bylo zařízení integrováno do systému *Anokus*. Ten slouží k monitorování výsledků šroubových spojů napříč celou montážní halou.

Zásobník bitů

Vzhledem ke dvěma různým velikostem šroubů, tj. XZN M8 a M10, bylo nutné na každou stranu integrovat výměník bitů (viz Obr. 11). Na každém z nich jsou umístěny čtyři pneumaticky ovládané sloty. Dva pro nástroj o velikosti M8 (označeny žlutě) a dva pro nástroj M10 (označeny modře).

K výměně nástroje dojde v případě, že se jedná o agregát, pro který je definován odlišný typ nástroje než byl použit na předchozím šroubovaném agregátu.

Dále bylo bráno v potaz možné zlomení nástroje. V případě, že na dané straně dojde ke dvanácti nedotaženým spojům v řadě, je spuštěn program „uvolnění zlomeného bitu“. Ten způsobí, že se robot přesune nad definovanou nádobu, do které se po uvolnění aretační vidličky samovolně odloží zbytek nástroje. Zda k tomu skutečně došlo je dále ověřeno pomocí indukčního čidla snímající přítomnost bitu. V případě, že je bit uvolněn, pak si robot nasadí náhradní nástroj umístěný v zásobníku. Integrace této funkce byla velice náročná, avšak značně eliminuje nutnost okamžitých zásahů pracovníků údržby.

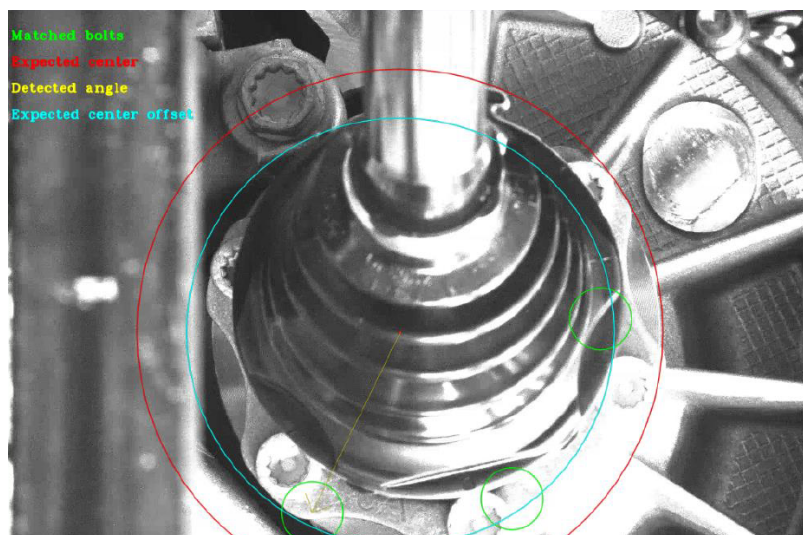


Obr. 11 Zásobník bitů

Kamerový systém

Snímání pozice hlav šroubů je zajištěno pomocí dvojice kamer *Mako G-507* a počítačového systému. Jedná se tedy o systém vyhodnocující pořízený snímek mimo zařízení kamery. Subdodavatelem tohoto systému byla firma *Sanezoo*. Naprogramovaný algoritmus slouží ke zjištění velikosti úhlů, o který je nutné pootočit, aby na každé straně byl jeden ze šroubů v požadované pozici pro robota. Ke správné funkci systému bylo nutné kameru umístit tak, aby byly na každé straně viditelné alespoň tři hlavy šroubů. Po vytvoření výchozího snímku dojde k vypočtení rozdílu úhlu mezi požadovanou a reálně nejbližší pozicí hlavy šroubu (viz Obr. 12). Velikost rozdílu úhlu je následně zaslána přes komunikační kanál *profinet* do řídicího systému stanice. Tolerance výsledného úhlu je po korekci rovna $\pm 6^\circ$.

V případě, že není vytvořen snímek či není vyhodnocena pozice šroubů, je vozík ze stanice propuštěn, tak aby bylo zabráněno prostojům výrobní linky.



Obr. 12 Kamerový systém

Aplikátor bezpečnostní barvy

Součástí projektu byla integrace bezpečnostního prvku na jednotlivé šrouby. Jednalo se o aplikaci bezpečnostní barvy v místě dotyku hlavy šroubu s přírubou poloosy. Dodavatelem tohoto zařízení byla firma *Henkel ČR, spol. s r. o.* Byla definována dvojice průmyslových dávkovačů barvy s modelovým označením *Loctite EQ RC40*. Signál pro aplikaci barvy je zaslán z řídicího systému stanice. Komunikace probíhá přes kanál *profinet*. Dle výrobce byla definována barva

Loctite SF 7400. Vzhledem k její vysoké hustotě pak nanesená vrstva slouží jako pečeť.

Cílem integrace tohoto aplikátoru bylo snazší odhalení, který šroub nebyl stanici korektně dotažen a je nutné ho opravit na kroužku kontroly. Bez této technologie by v případě chybného šroubového spoje bylo nutné zkontrolovat všech 6 šroubů na dané straně.

Dále pokud by došlo k reklamaci vozu z důvodu povoleného šroubu na kloubové hřídeli, je možné zjistit, zda nedošlo k následným zásahům, buď ve zbylé části montážní linky, nebo v servisní síti.

V případě, že v jednom z aplikátorů dochází barva, je zaslán signál do řídicího systému, který pomocí světelné signalizace upozorní seřizovače daného úseku. Ten je pak povinen barvu doplnit během následující přestávky.

Referenční bod

Pokud by došlo k mechanickému poškození uchopovacího zařízení vlivem kolize s agregátem či výměníkem bitů, je nutno provést kalibraci uchopovacího zařízení pomocí definovaného referenčního bodu (viz Obr. 13). Jedná se o mechanické zařízení umístěné u pat obou robotů. Ověření polohy lze provést nasazením kontrolního nástavce na čtyřhran utahováku, navolením příslušného programu robota a jeho následným ručním krokováním do pozice pro převlečení matice.



Obr. 13 Referenční bod

3.2 Průběh cyklu

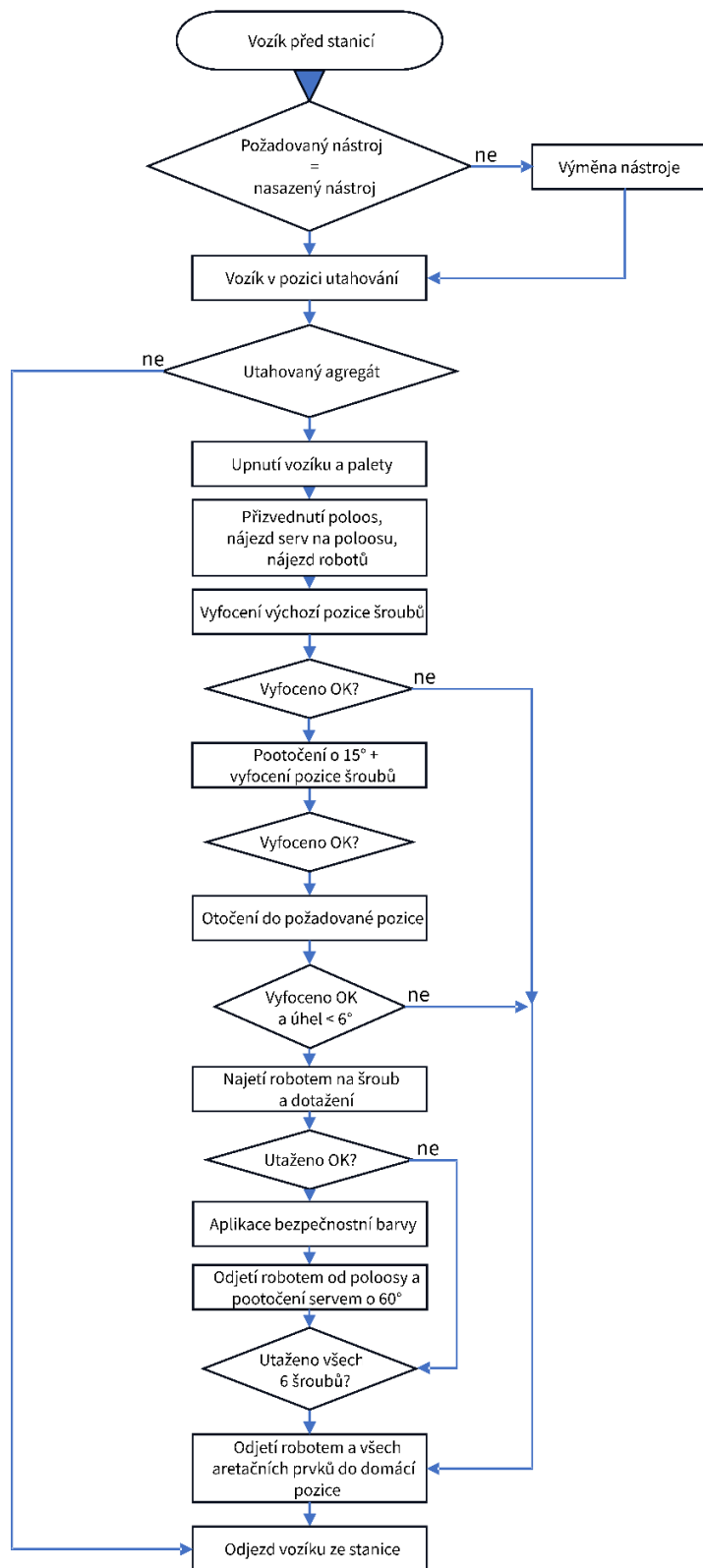
Poté, co jsou kloubové hřídele ustaveny, jsou veškeré šrouby před-dotazeny pomocí ručního nářadí na utahovací moment 10 Nm. Tento požadavek je definován v koncernového standardu (Volkswagen AG, 2017). Následně začíná cyklus, jehož postup lze vidět na obrázku 14.

Před oplocenou stanicí je umístěna zastavovací pozice, která slouží k získání informací, jaký typu agregátu bude následovat. Poté, co jsou data z vozíku načtena, je vozík z před-pozice propuštěn a pokračuje dál do stanice. Pokud se jedná o agregát pouze s naráženými poloosami, pak není vozík v oplocené stanici zastaven. V případě, že se jedná o agregát se šroubovanými poloosami alespoň na jedné straně, dojde k ověření typu bitů. Pokud je na robotu nasazen jiný než požadovaný typ nástroje, proběhne jeho výměna. Poté přichází na řadu samotný cyklus. Ten je zahájen nájezdem předmontážního vozíku s agregátem do definované pozice. Vozík je poté zajištěn pomocí kleštinového mechanismu. Následně jsou k vozíku přemístěny přizvedávací mechanismy kloubových hřídelí.

Poté je vykonáváno více operací zároveň. Z PLC je do řídicích jednotek robotů odeslán typ programu (tzv. *folge*). Rovněž do řídicích jednotek utahovací techniky je zaslán typ utahovacího programu. Následně je zahájena činnost robotů tím, že se přesouvají do před-pozice. Mezitím jsou k vozíku přesunuty serva. Ty se již pomalu otáčejí, aby došlo k hladkému zaskočení drážkované hřídele do náboje serva.

Následně přichází na řadu polohování šroubů. Nejprve dojde k vytvoření výchozího snímku. Poté je oběma servy pootočeno o 15°. V dalším kroku dojde k pořízení druhé fotografie. Účelem této dvojice snímků je analýza, zda došlo k otáčení poloosami. Pokud jsou hlavy šroubů v odlišných pozicích o více jak 6°, pak je ověřeno korektní usazení drážkované hřídele v náboji. Poté dojde k dalšímu pootočení servem, tak aby reálná pozice jedné z hlav šroubu odpovídala požadované pozici (viz Obr. 12). Tento princip je uplatněn na obou stranách stanice. Dále je zahájen cyklus utahování. Robot je přesunut do pozice pro utahování a dojde k vysunutí pneuválce. Společně s tím je roztočena utahovací technika a utažen první šroub. Poté dojde k navrácení pneuválce do domácí pozice. Pokud je daný spoj vyhodnocen řídicí jednotkou utahovací techniky jako korektně dotazený, dojde k výsuvu pneuválce s aplikátorem barvy. Poté je spoj označen a pneuválec zasunut. Oběma servy je následně pootočeno o 30°.

Výše popsaný utahovací cyklus je dále 5krát zopakován tak, aby došlo k utažení všech 6 šroubů na každé straně. Závěrem dojde k navrácení robotů do domácí pozice, odjištění všech aretačních prvků a propuštění vozíku ze stanice. Výsledky utažení jsou pak vizualizovány na obrazovce a odeslány do nadřazených systémů.



Obr. 14 Diagram průběhu cyklu

3.3 Porovnání řešení napříč montážními halami Škoda Auto a.s.

Obecně lze konstatovat, že tato automatická stanice pro dotažení kloubových hřídelí je v rámci Škoda Auto a. s. zcela ojedinělá. Z tohoto důvodu bude v následující kapitole porovnávána automatizace vůči manuálnímu dotažení. Nejprve bude zmíněn montážní postup v hale M13, následně pak v ML1 a ML2 v závodě Kvasiny.

Problematiku týkající se šroubovaných kloubových hřídelí lze porovnat vůči montážní hale M13 v Mladé Boleslavi. Vzhledem k vysoké komplexitě vyráběných vozů Octavia a Enyaq, jejichž základem jsou zcela rozdílné platformy, je zde situace poněkud specifická. Elektrické vozy, jejichž základem je platforma MEB mají primární náhon na zadní nápravu. Zde je kroutící moment přenášen rovněž šroubovanými kloubovými hřídelemi. Ty jsou však součástí zadního modulu, který je dodáván oddělením komponent. V případě pohonu všech kol, je v oblasti předmontáže předního modulu prováděna montáž pouze narážených kloubových hřídelí.

Jak již bylo zmíněno, na této hale jsou souběžně montovány vozy se spalovacím motorem, analogicky k hale M1. Jedná se o agregáty se šroubovanými či naráženými poloosami. Postup při montáži šroubovaných poloos je takřka shodný s postupem na M1 před automatizací. Poté, co jsou všechny šrouby před-dotaženy na 10 Nm, je nutné veškeré šrouby dotáhnout na finální moment. Také zde byla snaha o nasazení bezpečnostního prvku, který by eliminoval možnost lidského selhání. Ten spočíval v označení hlavy šroubu pomocí nástroje nesoucí barvu. Toto řešení však není zcela vhodné, neboť jsou označovány šrouby ještě před tím, než je zahájeno jejich utahování. Tedy barevné označení šroubu nevypovídá o jeho korektním dotažení.

V závodě Kvasiny se nachází dvě montážní linky – ML1 a ML2. Zde jsou vyráběny pouze vozy se spalovacím motorem, avšak rovněž v konfiguraci s pohonem všech kol. Pro agregáty jsou rovněž definovány buď narážené či šroubované poloosy. Pokud se jedná o šroubované, pak jsou nejprve před-dotaženy a následně dotaženy na výsledný moment.

Ve všech výše zmíněných montážních halách nebylo dosud zavedeno žádné bezpečnostní opatření, které by fakticky odhalilo nedovolený zásah do šroubových spojů kloubových hřídelí. Z provedené analýzy plyne, že potenciál automatizace je patrný v závodě Kvasiny, neboť jsou zde montovány pouze konvenční motorizace.

4 Analýza a popis průběhu projektu

V následující kapitole je popsán průběh projektu a jeho jednotlivé milníky (viz Obr. 15).

Jak již bylo zmíněno v úvodu, původcem myšlenky ohledně transformace stanice bylo využití co nejvíce stávajících robotů, které byly součástí předchozího projektu *Automatizace narážení kloubových hřidelí*. Vzhledem k nestabilitě zařízení byly nutné časté zásahy pracovníků údržby. Z tohoto důvodu byl provoz stanice v roce 2019 ukončen.

V prvním kvartálu roku 2022 se zrodila myšlenka nad přestavbou této stanice. Vzhledem k vysoké ergonomické zátěži při manuálním dotažení kloubových hřidelí bylo rozhodnuto, že mnohem větší přínos automatizace by byl při přestavbě na šroubování. Dále byly porovnány obě činnosti z hlediska časové náročnosti. Narážení kloubových hřidelí trvá přibližně o 15 vteřin méně.

Nejprve bylo nutné vytvořit technické zadání. Jedná se o dokument, který byl sepsán oddělením Plánování montáže ve spolupráci se zástupci výroby a údržby. V zadání je přesně definována požadovaná technologie včetně rozsahu činností. Krom obecných smluvních podmínek Škoda Auto a. s., byly zde uvedeny podmínky pro tento projekt. Jednalo se například o možnost využití veškerých komponent, které byly součástí stanice pro narážení hřidelí. Dále byl definován taktovací čas v daném úseku linky, tj. 52 vteřin a využitelnost technologie. Ta byla ze strany objednavatele definována na 98 %.

Na základě technického zadání byla dne 17.3.2022 poptána indikativní cenová nabídka. Ta sloužila ke zajištění finančního krytí. Dne 15.4.2022 byla svolána schůzka s ergonomy, kteří odsouhlasili financování projektu.

Dále bylo zahájeno poptávkové řízení pro získání cenových nabídek tzv. *AEPS*. Po uplynutí 30 dnů bylo toto řízení ukončeno a následovalo technické jednání s dodavateli, kteří o daný projekt projevíli zájem. Bylo rozhodnuto, že všechny tři zúčastnění dodavatelé jsou z technického hlediska v pořádku. Poté bylo zahájeno cenové jednání v podobě tzv. holandské aukce. Ta spočívala v postupném snižování ceny, dokud alespoň jeden z dodavatelů akceptoval částku, za kterou byl ochoten projekt splnit. Výsledkem bylo vystavení objednávky dne 22.7.2022 pro dodavatele CMS s. r. o.

V průběhu července a srpna roku 2022 probíhala technická jednání za účasti zmíněného dodavatele a subdodavatelů komponent. Poté, co byl představen koncept celé stanice ve 3D, probíhalo připomínkování ze strany zástupců plánování, výroby a údržby. Bylo zde například poprvé zmíněno, že je nutné použít hned tři typy nástrojů.

Aby bylo možné vytvořit počítačovou simulaci, bylo nutné poskytnout dodavateli 3D data agregátů. Ty byly zaslány 5. září 2022. Z výsledné analýzy vyplynulo, že jeden z agregátů je kvůli pozici katalyzátoru pro navrhované uchopovací zařízení rizikový. Ze strany dodavatele bylo požadováno zapůjčení onoho kolizního agregátu. To však nebylo možné, neboť se jednalo o před-sériový agregát. Byl tedy zapůjčen podobný agregát bez přídavného katalyzátoru. Ten byl pro účely vyšetření kolizí vyroben metodou 3D tisku. Dne 25. září 2022 byly veškeré komponenty stávající stanice, včetně robotů, převezeny k dodavateli za účelem testování. Mimo jiné, byla zapůjčena sestava malého předmontážního vozíku, přední palety, nápravy a zmíněného agregátu.

Dne 2. prosince 2022 proběhla v prostorách dodavatele za účasti všech stakeholderů před-přejímka zařízení. Jednalo se o milník spočívající v ověření stavu zařízení před jejím převezením do areálu Škoda Auto a. s. Vzhledem k ověřené funkčnosti a bezkoliznosti stanice byla před-přejímka odsouhlasena.

V průběhu prosince byla technologie společně se zapůjčenou sestavou převezena nazpět do Mladé Boleslavi, na montážní halu M1. Během víkendových odstávek výroby byly jednotlivé komponenty ustaveny na své místo a probíhalo trasování elektroinstalace a stlačeného vzduchu. Poté, co byly veškeré komponenty propojeny, byla otestována komunikace s PLC.

Začátkem roku 2023 bylo zahájeno vytváření trajektorií ke všem 10 programům. To bylo prováděno rovněž během víkendových odstávek. Jednalo se o postupnou přípravu agregátů, jejich následné upnutí ve stanici a vytvoření referenčních snímků v kamerovém systému.

Testování celého cyklu bylo možné pouze za dozoru dodavatelské firmy. Vzhledem k eliminaci možného narušení výrobního toku, byl testovací provoz rozdělen na dvě etapy. Během té první byly agregáty utahovány ručně před stanicí. Poté, co se již utažený vozík zastavil ve stanici, došlo k jeho kompletnímu upnutí a najíždění

nástrojem do hlavy šroubu. Tímto způsobem byla otestována funkce aretačních prvků a kamerového systému. Vzhledem k bezporuchovosti bylo o týden později rozhodnuto o zahájení druhé etapy. Ta spočívala v testování procesu utahování. Během této etapy byla parametrizována rychlost utahování tak, aby se nástroj nezasekával v hlavě šroubu. Dále proběhlo pozicování aplikátoru barvy. S přihlédnutím k nízkému počtu neutažených spojů bylo rozhodnuto o zahájení přejímacího řízení zařízení do provozu. K tomu bylo nutné získat veškeré podklady, které jsou součástí tohoto procesu. Jednalo se například o revizi elektroinstalace, validaci bezpečnostního konceptu firmou SICK, analýzu rizik strojního zařízení či prohlášení o shodě. Zároveň byla odevzdána listina o absolvovaném školení, které se konalo 10. května 2023. Jednalo se o detailní proškolení všech pracovníků údržby – elektroniků, elektrikářů a zámečníků. Vzhledem k požadavku pracovníků výroby, byli proškoleni také tři směny seřizovačů. Ti mají za úkol doplnění barvy, výměnu bitů a trysek aplikátorů barvy. Dále byla dle interní směrnice *ITS* požadována výkonová zkouška. Ta byla zahájena dne 6. června 2023 po dobu dvou po sobě jdoucích směn. Cílem této zkoušky bylo prokázat využitelnost zařízení – dosáhnout alespoň 98 % dotažených spojů. Dále byl brán v potaz čas cyklu, který musel být menší než 52 vteřin, a počet zásahů údržby.

Poté, co byly veškeré dokumenty nahrány do systému, byl na 13. června 2023 svolán kontrolní den. Jedná se o schůzku všech dotčených útvarů – plánování, výroby, údržby, revizních inspektorů a ergonomie. Bylo rozhodnuto o přejímání zařízení do provozu, avšak s výhradou. Ta spočívala v rozdílné verzi programu *Tia Portal*. Tato nesrovnalost byla ze strany dodavatele odpracována a zařízení tak bylo 28. června 2023 přejato bez výhrad. Dále byla od dodavatele obdržena veškerá dokumentace – technický popis, výkresová dokumentace vč. 3D dat, protokoly o ověření způsobilosti utahovací techniky, analýza rizik, prohlášení výrobce, návody k použití, E-plán, SW zálohy a zálohy programů robotů.

Dne 21. června 2023 byl zahájen zkušební provoz po dobu pěti dnů při třísměnném provozu. Během tohoto testu byl po celou dobu na místě zástupce dodavatelské firmy. Jeho úkolem bylo zakročit v případě, že by bylo nutné stanici uvést do domácí pozice v ručním režimu.

Závěr

Tématem mé bakalářské práce byla automatická stanice pro dotažení kloubových hřídelí. V teoretické části práce byly definovány pojmy automatizace a robotizace. Dále byl uveden původ slova robot a vývoj prvního průmyslového robota. Následně byly zmíněny přínosy a omezení automatizace. Vzhledem k současnému trendu automatizace v oblasti řízení továrny, byl zde zmíněn průmysl 4.0 a jeho klíčové faktory. Dále byla uvedena definice robotických zařízení a jejich klasifikace. U průmyslových robotů byly popsány jejich části. Taktéž byla zkoumána míra implementace robotů a důsledky automatizace na trh práce.

Praktická část byla založena na reálném projektu, realizovaném mezi lety 2022 a 2023 ve Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Nejprve byla popsána charakteristika automatické stanice. Poté byly uvedeny klíčové komponenty, které jsou součástí zařízení. Následně byl popsán průběh cyklu. Vzhledem k tomu, že se tato problematika dotažení kloubových hřídelí analogicky vyskytuje i na ostatních montážních linkách v rámci společnosti, bylo zde uvedeno porovnání. Tento projekt byl vzhledem k rozsahu činností a širokému portfoliu produkovaných agregátů celkem obsáhlý. Z tohoto důvodu byl projekt zanalyzován od zrodu myšlenky po jeho úspěšné dokončení.

V současné době již uplynulo 5 měsíců od převzetí stanice do provozu. Od té doby je stanice plně funkční. Procentuální množství chybně dotažených šroubových spojů během uplynulých tří měsíců je rovno 1,7 %, tedy bylo dosaženo požadavků uvedených v technickém zadání. Hlavním přínosem popisované stanice je eliminace ergonomické zátěže, které byli dosud vystaveni operátoři při manuálním dotažením šroubů kloubových hřídelí. Dále bylo na daném pracovišti dosaženo úspory dvou pracovníků. Mimo jiné, bylo zavedeno bezpečnostní opatření pro eliminaci neoprávněných zásahů do životně důležitých šroubových spojů. Obecně lze říci, že bylo dosaženo všech požadovaných cílů této závěrečné práce.

V neposlední řadě je nutné podotknout, že během mé spolupráce na zmíněném projektu byly značně rozvinuty mé dosavadní znalosti v oblasti strojírenství a elektrotechniky. Dále jsem si osvojil zkušenosti s řízením projektu.

Seznam literatury

Airskin, 2023 In: *Airskin* [online]. Austria: Blue Danube Robotics [cit. 2023-09-05]. Dostupné z: <https://www.airskin.io/airskin>.

ASSOCIATION FOR ADVANCING AUTOMATION, 2023. Unimate - The First Industrial Robot. *A3 Association for Advancing Automation* [online]. [cit. 2023-10-02]. Dostupné z: <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>

ASSOCIATION FOR ADVANCING, 2020. What is an End Effector and How Do You Use One?. *A3 Association for Advancing Automation* [online]. [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.automate.org/news/what-is-an-end-effector-and-how-do-you-use-one>

BARBIERI, Giacomo, Adriana ESPAÑA a David SANCHEZ-LONDOÑO, 2022. A Taxonomy for Levels of Automation based on the Industrial Revolutions. *IFAC-PapersOnLine* [online]. **55**(17), 368-373 [cit. 2023-10-21]. ISSN 24058963. Dostupné z: doi:10.1016/j.ifacol.2022.09.307

BETTS, Jonathan D., 2019. Clepsydra. *Encyclopædia Britannica* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/clepsydra>

ÇIĞDEM, Şemsettin, İleva MEIDUTE-KAVALIAUSKIENE a Bülent YILDIZ, 2023. Industry 4.0 and Industrial Robots: A Study from the Perspective of Manufacturing Company Employees. *Logistics* [online]. **7**(1), 1-18 [cit. 2023-10-21]. ISSN 2305-6290. Dostupné z: doi:10.3390/logistics7010017

ČSN EN ISO 10218-1. *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [ÚNMZ], 2012.

ČSN EN ISO 10218-2. *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [ÚNMZ], 2011.

ČSN EN ISO 12100:2010. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [ÚNMZ], 2011.

ČSN EN ISO 13849-1:2015. *Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [ÚNMZ], 2017.

ČSN EN ISO 13855:2010. *Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [ÚNMZ], 2010.

DAVID, Jiří, 2022. *Základy kybernetiky pro prezenční a kombinovanou formu studia*[online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto Vysoká škola, 201 s. [cit. 2023-10-02]. ISBN 978-80-7654-058-3. Dostupné z: <https://savs.tritius.cz/detail/244506>

FORD, Martin, 2017. *Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce*. V Praze: Rybka Publishers. ISBN 9788087950463.

HOLTHÖWER, Jana a Jenny VAN DOORN, 2023. Robots do not judge: service robots can alleviate embarrassment in service encounters. *Journal of the Academy of Marketing Science* [online]. **51**(4), 767-784 [cit. 2023-10-17]. ISSN 0092-0703. Dostupné z: doi:10.1007/s11747-022-00862-x

IFR STATISTICAL DEPARTMENT, 2022. *WR Industrial Robots: Chapter 1 reviews definitions and classifications of industrial robots* [online]. Germany. Dostupné také z: https://ifr.org/img/worldrobotics/WR_Industrial_Robots_2022_Chapter_1.pdf

INDRI, Marina a Roberto OBOE, ed., 2020. *Mechatronics and Robotics: New Trends and Challenges* [online]. 1. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 281 s. [cit. 2023-08-28]. ISBN 978-0-429-34747-4.

ISO 8373. *Robotics — Vocabulary*. Geneva: International Organization for Standardization [ISO], 2021. 6 s.

Lidové noviny, 1933. 1933. Brno: Vydavatelské družstvo Lidové strany. ISSN 1802-6265.

MCKINSEY & COMPANY, 2022. What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR? *McKinsey & Company* [online]. [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir#/>

MÜLLER, Christopher, 2023. *World Robotics 2023 - Industrial Robots* [online]. Germany: IFR Statistical Department [cit. 2023-10-09]. ISBN 978-3-8163-0760-0. Dostupné z: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2023.pdf

NOVOTNÝ, František, Vlastimil HOTAŘ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Michal STARÝ, 2020. *Úvod do automatizace a strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2023-11-02]. ISBN 978-80-7494-545-8. Dostupné z: <https://publi.cz/download/publication/1275?online=1>

R.U.R [online], 2018. 2. opravené vydání. Praha: Městská knihovna v Praze [cit. 2023-09-13]. ISBN 978-80-7587-085-8. Dostupné z: <https://web2.mlp.cz/koweb/00/04/29/90/48/rur.pdf>

RAYES, Ammar a Samer SALAM, 2017. *Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization* [online]. 1. Cham: Springer International Publishing [cit. 2023-10-29]. ISBN 978-3-319-44860-2. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-99516-8>

Safety Laser Scanners, 2023a. In: KEYENCE. *Keyence* [online]. [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/products/safety/laser-scanner/>

SANNEMAN, Lindsay, Christopher FOURIE a Julie A. SHAH, 2021. *The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions* [online]. 1. Spojené státy americké: Now Publishers [cit. 2023-09-05]. ISBN 978-1-680-83801-5. Dostupné z: databáze Proquest.

SHOBEI IX, Tamaya, 2005. Karakuri Ningyo. In: *The Trustees of the British Museum* [online]. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: https://www.britishmuseum.org/collection/object/A_2005-0702-1

SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed., 2016. *Springer Handbook of Robotics*. 2nd. Italy: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2228 s. 2nd. ISBN 978-3-319-32550-7

SKAŘUPA, Jiří, 2007. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita. ISBN 978-80-248-1522-0.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICÍCH, 2011. *Příručka Automatizační a robotická technika* [online]. Košice: Vitralab [cit. 2023-09-27]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_cz_final.pdf

Type 4 safety light curtain, 2023b. In: KEYENCE. *Keyence* [online]. [cit. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/products/safety/light-curtain/>

Volkswagen AG. *PDM.2Q0.410*. Vorderachse. Wolfsburg: VW Group, 2017. Internal.

WORLD ENCYCLOPAEDIA OF PUPPETRY, 2023. Karakuri Ningyo. *Union Internationale de la Marionnette [UNIMA]* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: <https://wepa.unima.org/en/karakuri-ningyo/>

Seznam obrázků

Obr. 1 Karakuri Ningyo	8
Obr. 2 Robot Unimate.....	10
Obr. 3 Airskin	11
Obr. 4 Světelný senzor	12
Obr. 5 Světelná závora.....	12
Obr. 6 Typy průmyslových robotů dle konstrukce	17
Obr. 7 Popis částí robota.....	18
Obr. 8 Automatická stanice pro dotažení kloubových hřídelí	22
Obr. 9 Uchopovací zařízení.....	23
Obr. 10 Aretační mechanismy	24
Obr. 11 Zásobník bitů	26
Obr. 12 Kamerový systém	27
Obr. 13 Referenční bod	28
Obr. 14 Diagram průběhu cyklu.....	30
Obr. 15 Časová osa průběhu projektu.....	35

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Yannick Silkens		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Průmyslový management		
NÁZEV PRÁCE	Automatická stanice pro dotažení kloubových hřidelí		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Jiří David, Ph.D.		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2023
POČET STRAN	43		
POČET OBRÁZKŮ	15		
POČET TABULEK	0		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	<p>Tématem této bakalářské práce je Automatická stanice pro dotažení kloubových hřidelí. Tento projekt byl zpracován v letech 2022-2023 ve Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi, na montážní lince M1.</p> <p>Cílem této práce byla analýza a popis průběhu projektu. Bylo dosaženo zlepšení ergonomické náročnosti operací na daném pracovišti. Dále došlo k úspoře dvou pracovníků. Mimo jiné, bylo integrováno opatření pro eliminaci lidského pochybení.</p> <p>Obsahem práce je dále popis charakteristiky stanice a průběh jejího cyklu. V neposlední řadě je porovnáno řešení dané problematiky napříč montážními halami ve Škoda Auto a.s.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	automatizace; automatická stanice; robotika; automobilový průmysl; montážní linka		

ANNOTATION

AUTHOR	Yannick Silkens		
FIELD	Industrial management		
THESIS TITLE	Automatic Station for the Axle-shaft Tightening		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jiří David, Ph.D.		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2023
NUMBER OF PAGES	43		
NUMBER OF PICTURES	15		
NUMBER OF TABLES	0		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>The topic of my Bachelor's thesis is an automatic station for tightening axle shafts. This project was conducted in 2022-2023 at Skoda Auto a.s. in Mlada Boleslav, within production hall M1.</p> <p>The aim of my thesis was to analyse and describe the process. It was achieved the goal of improvement of ergonomic aspects of operations at the defined workplace. Additionally, a protection measure against human failure was implemented.</p> <p>The content includes a description of the station's characteristics and working cycle. At the end there is a comparison between the described solution and other solutions across production halls in Skoda Auto a.s.</p>		
KEY WORDS	automation; automatic station; robotics; automotive industry; assembly line		