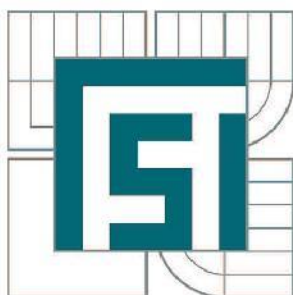


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ PRO AUTOMATICKÉ UTAHOVÁNÍ ŠROUBŮ SPOJE OPĚRADLO – SEDÁK A SPONY PÁSU

DESING OF THE ROBOTIC WORKSTATION FOR AUTOMATIC TIGHTENING SCREWS
CONNECTIONS SEATBACK – SEAT AND BELT BUCKLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN KAFUNĚK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Kafuněk

kteřý/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo – sedák a spony pásu

v anglickém jazyce:

Desing of the robotic workstation for automatic tightening screws connections seatback – seat and belt buckle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete robotizované pracoviště pro automatické utahování šroubů na výrobní lince automobilových sedadel. Součástí návrhu je řešení koncového efektoru, volba vhodného typu robotu, řešení bezpečnosti pracoviště a senzorický systém pro nalezení polohy šroubů a korekci dráhy robotu. Proveďte orientační časovou simulaci cyklu a zjednodušenou analýzu rizik. DP je vypracována ve spolupráci se společností MONT-TECH, s. r. o. Brno.

Cíle diplomové práce:

1. Proveďte analýzu stávajícího řešení výroby automobilových sedadel s ohledem na operaci utahování šroubů
2. Navrhnete několik možných koncepcí robotizovaného technologického pracoviště (RTP) s ohledem na minimální prostorovou náročnost a zároveň ekonomičnost řešení.
3. Proveďte srovnání navržených variant z hlediska provozního a technicko-ekonomického
4. Proveďte výběr vhodného typu průmyslového robotu
5. Vytvořte 3D model robotizovaného pracoviště
6. Proveďte základní výpočty kritických komponent robotické montáže
7. Vytvořte orientační časovou simulaci pracovního cyklu pomocí robotu
8. Proveďte zjednodušenou analýzu rizik vybrané varianty RTP

Seznam odborné literatury:

Zelenka A., Volf L., Poskočilová A.: projektování výrobních systémů – návody na cvičení, skriptum FS ČVUT Praha, 2009, ISBN: 978-80-01-04394-3

Pomůcka pro projektování výrobních systémů, FS TU v Liberci, 2009, <http://www.kvs.tul.cz/PVSY>

Jalový, M., Jalová, M., Andrlík, V.: Průmyslové roboty a manipulátory, ČVUT, Praha, 2005
Firemní materiály

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

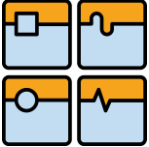
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Rešeršní část je věnována současným trendům v montáži automobilových sedadel se zaměřením na šroubové spoje. Část konstrukční mapuje postup návrhu dvou rozdílných variant robotizovaného pracoviště s výběrem průmyslového robotu, konstrukcí koncového efektoru a přenesením návrhu do 3D dat. Na základě multikriteriálního hodnocení je proveden výběr vhodné varianty pro následnou realizaci. Práce je zakončena zjednodušenou analýzou rizik pro vybrané robotizované pracoviště.

Klíčová slova:


Robotizované pracoviště, koncový efektor, automatické utahování šroubů

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the problem of designing an automatic robotic workstation for automatic tightening screws connections seatback – seat and belt buckle. The research part of this thesis deals with current trends in the automotive industry, especially with the problem of assembling seats part, with focus on screwing. The design part of this thesis maps the process of designing two variants of an automatic robotic workstation. Special attention was given to the process of choosing the right industrial robot for the task, as well as to the construction of the end-effector and of the resulting 3D data. The right version of the workstation for the consecutive implementation was then chosen based on multi-criteria evaluation. The finishing touch of this thesis is a risk analysis for the implemented workstation.

Key words:

Robotic workstation, end-effector, automatic tightening screws

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE

KAFUNĚK, J. *Návrh robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo – sedák a spony pásu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 104 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

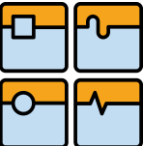


ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 28. 5. 2015

.....
Podpis

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za vedení práce a věnovaný čas v průběhu zpracování diplomové práce. Poděkování patří společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno a jejich pracovníkům, především panu Jiřímu Vrbskému za možnost zpracování práce a panu Ing. Josefu Vincencovi za poskytnuté informace, cenné připomínky a věnovaný čas v celém průběhu zpracování diplomové práce. Dále poděkování patří pracovníkům společnosti IVAR a.s. Brno za pomoc s testováním Vision systému a Bc. Ivanu Jeníkovi za pomoc s výpočty v simulačním softwaru ANSYS Workbench.

Největší poděkování patří mým rodičům a sourozencům, kteří mne v průběhu celého studia ve všech směrech podporovali.

OBSAH

ABSTRAKT	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE	6
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	7
PODĚKOVÁNÍ	8
OBSAH	9
ÚVOD.....	11
1 NAHRAZENÍ OPERÁTORA ROBOTEM	12
2 AUTOMOBILOVÁ SEDADLA	13
2.1 Pohled do historie	13
2.2 Názvosloví	15
2.3 Montážní proces	17
2.3.1 Popis montážního procesu	17
2.4 Montážní operace utahování šroubů.....	18
2.4.1 CC a SC - charakteristiky	19
2.4.2 Kontrola nad utahováním	20
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO MONTÁŽNÍHO PRACOVÍŠTĚ.....	22
3.1 Layout montážní haly	22
3.2 Montážní prostředí ve 3D.....	23
3.3 Analýza montážního prostředí	24
3.3.1 Vymezení pracovního prostoru.....	24
3.3.2 Pracovní dráha koncového efektoru	24
4 PRŮMYSLOVÝ ROBOT	26
4.1 Nový trend průmyslových robotů.....	26
4.2 Volba průmyslového robotu	27
4.3 Průmyslový robot FANUC	27
4.3.1 Výběr robotu FANUC.....	27
4.3.2 Parametry robotu M-20iA/35M	28
4.3.3 Příslušenství FANUC.....	28
4.4 Průmyslový robot Universal Robots	30
4.4.1 Parametry robotů UR.....	30
4.4.2 Volba robotu UR10.....	32
4.4.3 Pracovní prostor robotu UR10.....	32
4.4.4 Příslušenství robotů UR.....	33

4.4.5	Příklady použití robotů UR.....	34
5	KONSTRUKCE KONCOVÉHO EFEKTORU	36
5.1	Technologický koncový efektor	36
5.2	Analýza konkurenčních řešení efektorů	36
5.3	Koncový efektor pro robot FANUC.....	38
5.3.1	Teleskopická kompenzační hlavice	39
5.3.2	Volba utahovacího nástroje	39
5.3.3	Volba Vision systému pro robot FANUC	43
5.3.4	Testování zvoleného iRVision systému	45
5.4	Koncový efektor pro robot UR.....	47
5.4.1	Volba Vision systému pro robot UR.....	47
6	ZÁKLADNÍ VÝPOČET KRITICKÝCH KOMPONENT	49
7	NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ S PR FANUC	54
7.1	Hlavní části robotizovaného pracoviště s PR FANUC.....	54
7.2	Prostorová náročnost pracoviště FANUC	59
7.3	Odhad pořizovací ceny pracoviště FANUC.....	60
8	NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ S PR UR.....	61
8.1	Hlavní části robotizovaného pracoviště s PR Universal Robots.....	62
8.2	Prostorová náročnost pracoviště UR	65
8.3	Odhad pořizovací ceny pracoviště UR.....	66
9	ČASOVÉ ROZLOŽENÍ MONTÁŽNÍHO CYKLU	67
10	MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT	69
10.1	Bazická bodovací metoda.....	69
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRHU ROBOT. PRACOVIŠTĚ	72
12	BEZPEČNOST ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ	76
12.1	Analýza rizik strojního zařízení	77
12.2	Popis strojního zařízení a určení mezních hodnot.....	78
12.2.1	Systémová analýza strojního zařízení	79
12.2.2	Identifikace nebezpečí a odhad jeho počátečního rizika	81
12.2.3	Hodnocení a případné snížení rizika	85
	ZÁVĚR.....	86
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	87
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	93



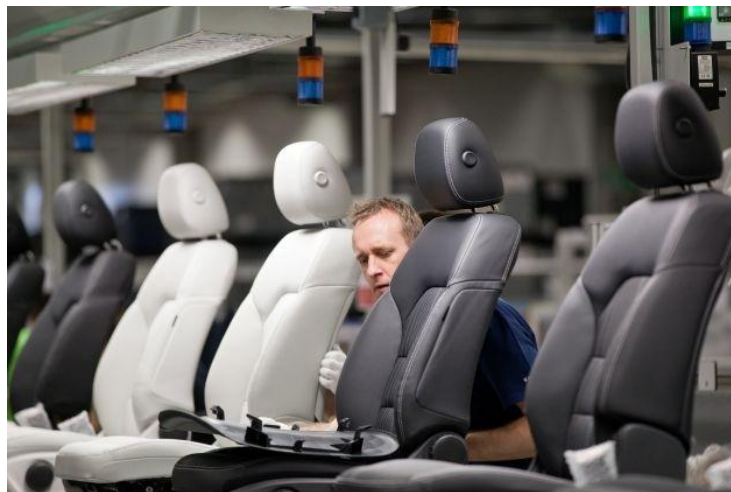
ÚVOD

Hustota provozu na pozemních komunikacích každým rokem stoupá a lidé si postupně odvykají chůzi, případně využívání prostředků hromadné dopravy. Ve svých automobilech vozí děti do škol, dopravují se do zaměstnání, jezdí na nákupy a za zábavou. Zkrátka, automobil se stal obyčejným spotřebním zbožím.

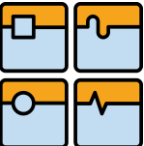
Napovídá tomu i stále se zvyšující poptávka po nových automobilech, která vedla v roce 2014 k počtu 1 246 506 vyrobených osobních automobilů na území České republiky. Jedná se o nejvyšší roční produkci, které kdy bylo v historii České (Československé) republiky dosaženo.

Na automobilový průmysl dopadá velké množství předpisů a požadavků, které definují určitou kvalitu vyrobených produktů. Proto jsou výrobní a montážní operace pečlivě plánovány, následně řízeny, kontrolovány a výstupní údaje archivovány.

Jen jeden a čtvrt milionu nových vozidel vyžaduje výrobu dvou a půl milionu nových předních automobilových sedadel. Zvládnout vyrobit takové množství sedadel a přitom řádně plnit všechny požadované předpisy, je pro operátory (pracovníky) velmi namáhavé a vysilující. Z tohoto důvodu se pracoviště modernizují pomocí technologických přípravků, pomocných zařízení nebo úplným nahrazením operátorů průmyslovými roboty. [1]



Obr. 1: Operátor na montážní lince sedadel [6]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 NAHRAZENÍ OPERÁTORA ROBOTEM

Podnětem pro sepsání zadání diplomové práce „Návrh robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo – sedák a spony pásu.“ byla nabídka, kterou obdržela společnost Mont-Tech, s.r.o. Brno od jednoho ze svých pravidelných zákazníků.

Zákazník, který se zabývá montáží automobilových sedadel pro významného českého výrobce automobilů, má motivaci k implementaci robotizovaného pracoviště do svého montážního procesu hned z několika důvodů:

- a) Inovativního – Dodavatel chce na svého hlavního odběratele sedadel působit jako stále se rozvíjející společnost, která má chuť investovat do modernizace svých montážních prostor a toužící se stále zlepšovat.
- b) Ekonomického – Nahrazením tří operátorů pracujících ve třisměnném provozu na stávající montážní pozici, by ušetřil každý měsíc značné finanční prostředky. Navíc pořizovací náklady na robotizované pracoviště by mohl splatit během jednoho až dvou let.
- c) Kvalitativního – Operátor celou pracovní směnu vykonává stále se opakující práci. Ta se postupem času stává monotónní a unavující. Pozornost a pečlivost operátora klesá, čímž během směny klesá i kvalita montáže. Robotizované pracoviště tak zaručí stálou kvalitu montáže po celou pracovní směnu, potažmo po celý pracovní den.
- d) Kontrolního – Montáž pomocí robotizovaného pracoviště je plně řízená a regulovatelná. Navíc z výstupních dat mohou být prováděny analýzy montáže s přesnými časy, dráhami robotu, obrazy s přítomností šroubů od Vision systému, utahovacími momenty, úhlovým natočením výstupní hřídele utahovacího nástroje a další. Ne všechny charakteristiky montážního procesu je možné získat z práce operátora.
- e) Archivačního – Výstupní data z robotizovaného pracoviště je možné archivovat v řádu desítek let. V roce 2011 bylo spočítáno, že celospolečenská cena lidského života činí 18,5 milionu korun českých. Pokud by při smrtelné dopravní nehodě byla zjištěna pravděpodobná chyba na straně montáže automobilového sedadla, lze zpětně dohledat celý montážní postup i s daty (parametry) provedenými na zkoumaném sedadle. To v případě vyvrácení pochybení ušetří společnosti značné finanční prostředky. [2]



2 AUTOMOBILOVÁ SEDADLA

2.1 Pohled do historie

K vytvoření představy o konstrukci a složitosti výroby automobilových sedadel, s přihlédnutím na postupné zvyšování nároků na pohodlí a bezpečnost cestujících, je třeba malého ohlédnutí do historie stavby vozidel.

Dřevěné rámy pobité ocelovými pláty byly nosnou konstrukcí vozů ze začátku 20. století. Stejně jako rámy, byl interiér vozu vyráběn ze dřeva. Dřevěné lavice a sedadla bez možnosti jakéhokoli nastavení polohy byly zcela běžné. Luxusnější vozy, mezi které patřil i vůz Ford Model-T 1914 (obr. 2), se mohly chlubit sedadly polstrovanými a potaženými textilií či kůží.

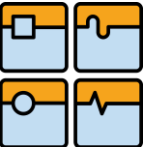


Obr. 2: Sedadla vozu Ford Model T – 1914 [5]

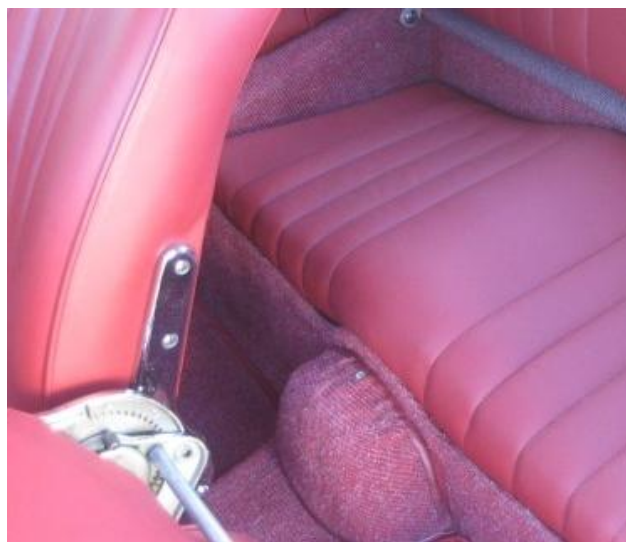
Automobily z doby meziválečné mění trend dřevěného sedadla pevně spojeného s nosným rámem vozu na sedadla přední polohovatelná. Rám opěradla a sedáku tvořil jeden celistvý svařenec vyplněný dřevěnými deskami. Na desky bylo pokládáno polstrování a překryto potahem. Z obr. 3 lze vytušit, že spodní část sedadla byla opatřena kolejkami, které pasažérům umožňovaly polohování sedadla vpřed a vzad z pohledu směru jízdy.



Obr. 3: Polohovatelná sedadla vozu Bugatti Type 57 1938 [5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

V polovině 20. století se začínaly objevovat vozy s dělenými rámy opěradlo – sedák. Díky této koncepci bylo dosaženo možnosti naklápění a úplného sklopení opěradel u předních sedadel. Pozvolné naklápění sedadla na požadovaný sklon bylo prováděno ručně otáčením příruby napojené na ozubený mechanismus, který navzájem propojoval oba rámy sedadla. Tento jednoduchý mechanismus je zobrazen na obr. 4 u vozu Porsche 356 A z roku 1959.



Obr. 4: Polohování sklonu opěradla vozu Porsche [5]

70. léta 20. století se vyznačují vzrůstajícími požadavky na bezpečnost přepravovaných osob. Sedadla bývají opatřena výškově nastavitelnými hlavovými opěrkami a cestující mají možnost připoutání pomocí bezpečnostních pásů. Bezpečnostní pásy jsou uchyceny ve dvou či třech bodech. Obr. 5 zachycuje situaci, kdy zámky (spony) bezpečnostních pásů byly v počátcích své aplikace pevně spojovány s karoserií vozu, v tomto případě ke středovému panelu.



Obr. 5: Uchycení spony pásu u vozu Iso Fidia 1970 [5]



Na přelomu nového tisíciletí se stávají sedadla vozů velmi důmyslná. Pomocí elektromotorků je možné měnit výškové, poziční i tvarové polohy sedadla. Topnými tělisky je možné vyhřívat pěny sedáku a opěradla. Nechybí bezpečnostní prvky, jakými jsou postranní airbagy pro ochranu cestujících v případě bočního nárazu a hasící přístroje uložené v držácích pod rámem sedáku. Zámky (spony) bezpečnostních pásů se začaly upínat pomocí šroubového spojení k rámu sedadla. Sedadla těchto moderních konstrukcí využívá i vůz BMW M3 (vyráběný kolem roku 2004) a lze si je prohlédnout na obr. 6.



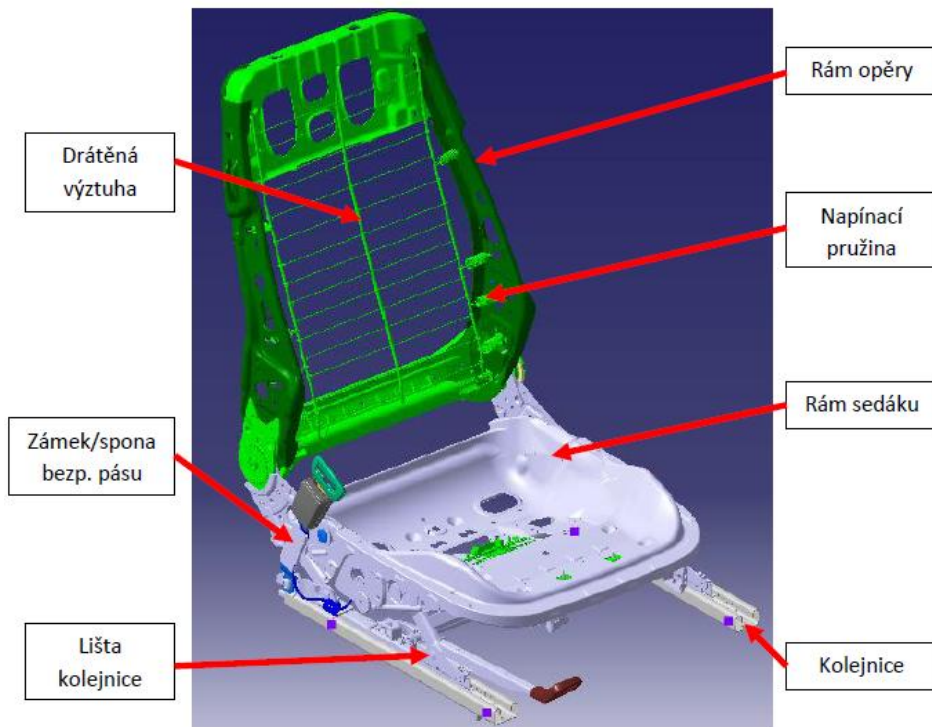
Obr. 6: Moderní sedadla vozu BMW M3 [5]

2.2 Názvosloví

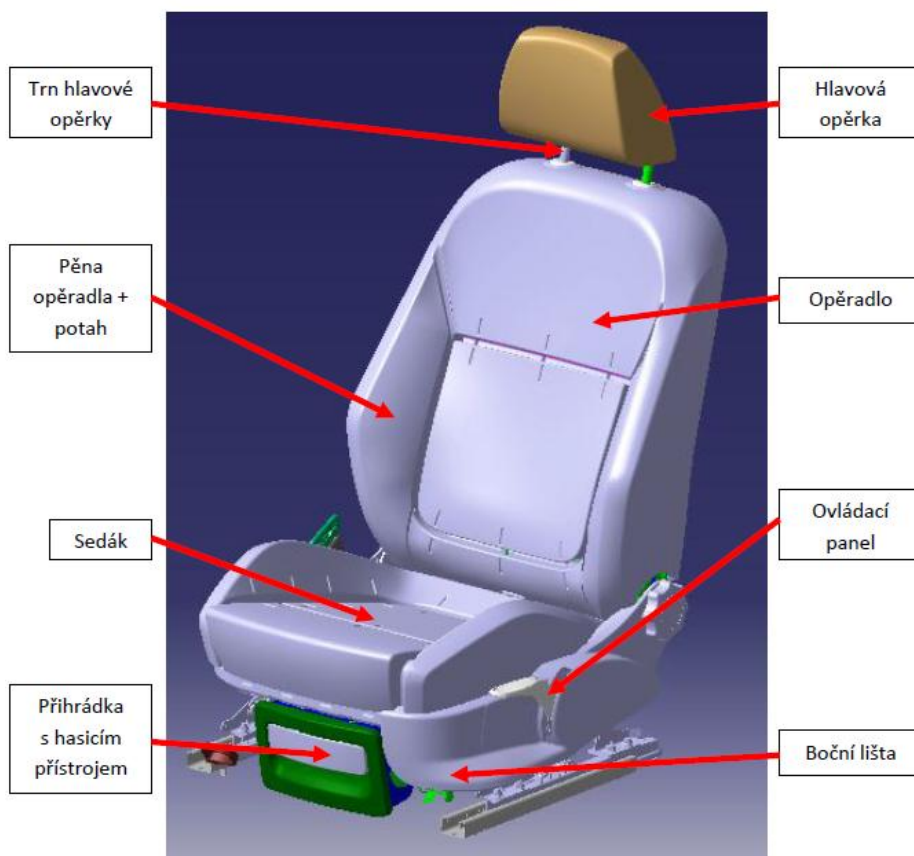
V předchozím textu byly použity termíny pro různé části automobilového sedadla. Potah, hlavová opěrka, opěradlo a sedák jsou části sedadel, jejichž názvosloví je mezi lidmi běžně používáno a každý si je umí snadno představit. V souvislosti se sedadlem existují i termíny jako drátěná výztuha, napínací pružina, lišta kolejnice a další, které mohou být pro laika zcela neznámé.

Výběr základních termínů z českého názvosloví, pro nejvýznamnější části automobilových sedadel, je uveden na následující straně (obr. 7 a obr. 8). Každý uvedený termín je pomocí odkazové čáry přiřazen k určité části sedadla, a díky tomu je usnadněna představa o tvaru dané části a o její pozici a orientaci v celkové sestavě automobilového sedadla.

Je nutné zdůraznit, že uvedené české popisky jsou pouze informativní a slouží převážně pro poučení čtenáře této diplomové práce. Ze zkušeností z prostředí praxe vyplývá používání termínů převážně v jazyce anglickém a německém. Mezi různými dodavateli automobilových sedadel se používána názvosloví předávají a používají se ve stejném znění. Některé používané termíny pro pojmenování jedné části sedadla se přesto mohou lišit. Jedním z důvodů je situace, kdy dodavatelé zavádějí svá interní názvosloví nebo názvosloví přejímají od svých subdodavatelů (výrobců jednotlivých částí pro montáž sedadla). Nelze tedy označit jedno názvosloví za standardizované pro všechny dodavatele sedadel.



Obr. 7: Názvosloví základní konstrukce sedadla



Obr. 8: Názvosloví zkompletovaného sedadla



2.3 Montážní proces

Automobilový průmysl po vzoru výrobce Toyota zavedl filozofii označovanou Just-In-Time. Jedná se o filozofii výroby, kdy jsou výrobky vyráběny dle požadavků zákazníka v určitém čase a v pouze potřebném množství. Tato filozofie vyžaduje precizní plánování dodávek materiálů, plánování a řízení výroby a spolehlivou a včasnou komunikaci mezi výrobcem a odběratelem. Nespornou výhodou jsou minimální skladové zásoby materiálu a vyrobených produktů, úbytek odpadů a výroba pouze takového množství produktu, které má předem zaručený odběr.

Tuto filozofii aplikuje i výrobce automobilových sedadel. Ten svůj montážní proces začíná obdržením objednávky (s počtem a specifikací) na automobilová sedadla od svého odběratele. U svých dodavatelů objednává potřebné množství materiálu a po jeho naskladnění zahajuje řízený montážní proces sedadel. Závěrem montážního procesu je transport hotových sedadel z expedice přímo na určené montážní pracoviště odběratele.

Samotný montážní proces sedadel má mnoho podob. Různí se od značky automobilu využívajícího sedadlo, nároků na kvalitu montáže, požadované výbavy, obdržené ceny za jeden vyrobený kus sedadla a strategie podniku. Rozdíly jsou pozorovatelné také v posloupnostech dílčích operací. Například jeden výrobce provádí montáž spoje opěradla a sedáku a následně na sedadlo přidává elektroinstalaci, pěnu a potahy, zatímco jiný výrobce provádí montáž sedáku a opěradla v době, kdy už jsou obě části sedadla opatřeny pěnou i potahem. [3]

2.3.1 Popis montážního procesu

Některá sedadla nízkonákladové výroby pro levné automobily vyžadují montáž pouze základního rámu, pěnové výztuže, pokrytí potahem a z elektroniky protažení kabeláže od spony bezpečnostního pásu. Výrobci luxusních vozů nabízejí sedadla s výbavou obsahující masážní funkce, LCD obrazovky na zadní straně hlavových opěrek a mnohé další nadstavbové komponenty. Průběh montážního procesu, který je zde uveden, se tak nevztahuje přímo na montáž konkrétního sedadla. Jedná se pouze o všeobecný popis montážního procesu.

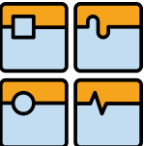
Hlavní fáze montáže automobilového sedadla jsou následující:

- Objednávka

Podnětem k zahájení montážního procesu automobilových sedadel je obdržená objednávka od odběratele. Ten odesílá on-line objednávku se specifikací požadavků na počet sedadel, typ (obyčejné nebo sportovní), výbavu a barevnou kombinaci potahu. Již předem je známo, jaký automobil bude osazen vyrobeným sedadlem dané specifikace.

- Naskladnění materiálu

V návaznosti na předchozí krok zasílá výrobce sedadel objednávku svým dodavatelům na dodání potřebného množství materiálu. Materiál je do montážní haly přepravován zabalený v technologických paletách, ve kterých je předem seřazen v takovém pořadí, jaké odpovídá pořadí určenému pro montáž sedadel (podle specifikace). Palety jsou následně rozbaleny a rozváženy přímo na určená pracoviště montážní linky, kde si operátor postupně odebírá materiál z palety v již určeném pořadí.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Montáž opěradlo/sedák

Samotná montáž probíhá od začátku souběžně ve dvou větvích. V první větvi probíhá montáž sedáku a ve druhé montáž opěradla. Posloupnost dílčích operací v procesu montáže se liší u každého výrobce.

Rám sedáku je ve většině případů od subdodavatele na spodní straně vybaven polohovacím mechanismem a usazen na kolejnicích. Vkládá se na technologické otočné naklápěcí palety udávající polohu na montážním dopravníku. V další fázi jsou do rámu uchyceny sensorické systémy, elektroinstalace, poté je rám potažen pěnou a překryt potahem.

Rám opěradla je již od dodavatele vyplněn drátěnou výztuhou upevněnou napínacími pružinami. Na montážní lince je rám osazen sensorickými systémy, elektroinstalací, airbagy, vyhřívacími tělisky, pěnou a potahem.

- Montáž spoje opěradlo-sedák

Obě montážní větve se sbíhají v pracovišti pro montáž spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Zde operátor odebírá z dopravníku (pro druhou větev montáže) opěradlo, které přišroubuje spolu se sponou pásu na rám sedáku ukotveného v technologické otočné naklápěcí paletě.

V řešení této diplomové práce operátor šrouby pouze předšroubuje, protože dotazeny budou až v dalším kroku, kdy se technologická paleta se sedadlem přesune do robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje sedák-opěradlo a spony pásu.

Zde se přímo nabízí otázka, proč nemůže všechny šrouby spoje opěradlo-sedák a spony pásu přímo utáhnout bez předšroubování v jednom cyklu sám operátor? Odpověď je již uvedena v 1. kapitole této práce.

- Dokončovací operace

Po montáži následují dokončovací operace úprav potahů sedadel, kdy kožené potahy se nahřívají a pomocí ocelových planžet vyhlazují. Potahy z textilie se napařují a zažehlují.

- Výstupní kontrola

V závěrečné části montážní linky jsou prováděny výstupní kontroly, a to jak vizuální, tak i na otestování provedené montáže, kontroly bezpečnosti sedadel, správné funkce všech polohovacích mechanismů a elektronických prvků. Při nalezení závady je sedadlo odkloněno na servisní linku, kde se provádí podrobná kontrola závady s jejím následným odstraněním. Poté se sedadlo dodatečně zařadí mezi ostatní, která se nachází v expediční části haly.

- Expedice

Po dokončení všech nezbytných úkonů montážního procesu, se sedadla z technologických otočných naklápěcích palet odebírají na palety převozní, na kterých sedadla putují na montážní pracoviště odběratele. [7], [8], [9]

2.4 Montážní operace utahování šroubů

Na sedadle, na kterém budou automaticky pomocí navrhovaného robotizovaného pracoviště utahovány šrouby spoje opěradlo-sedák a spony pásu, je



pomocí poskytnutého 3D modelu napočítáno celkem 22 šroubů. Sedadlo je mimo jiné zobrazeno na obr. 7 a obr. 8.

Přístup k procesu utahování šroubu a kontrole vytvořeného šroubového spoje je odlišný v závislosti na přiřazené charakteristice. Ta oznamuje míru možného nebezpečí a jeho účinku na přepravované osoby s dopadem na výrobce automobilů v případě, kdy produkt je chybně vyroben a za provozu selže.

2.4.1 CC a SC - charakteristiky

Výrobci automobilů definují svým dodavatelům prostřednictvím výrobní dokumentace požadovanou kvalitu dodávaného produktu a dodavatel se musí před zahájením výroby zavázat k jejímu dodržení. Výrobce automobilů kontroluje kvalitu výrobků jak v průběhu výroby u samotného dodavatele, tak v průběhu přejímky produktů, v průběhu svého montážního procesu a také u kontrol vozů, které již byly uvedeny do provozu. Pokud není požadovaná kvalita splněna, náklady spojené s opravou chyb vzniklé výrobci automobilů putují na vrub dodavatele.

Kontrolují se charakteristiky produktu, které musí být přímo či nepřímo měřitelné a mohou být konstantní nebo proměnné. Jedná se o charakteristiky rozměrové, fyzikální, chemické, elektrické, mechanické, ale i vizuální. Tyto charakteristiky výrobce automobilů definuje v průběhu vývojové činnosti a pomocí FMEA metody jim přiřazuje závažnost v případě selhání na škále 1-10. Charakteristiky se rozdělují do třech základních typů:

- Kritická charakteristika CC

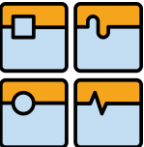
CC – Critical Characteristics. Parametry označené touto charakteristikou mají vliv na bezpečnost produktu a jejího uživatele. V hodnocení rizik je závažnost při selhání na nejvyšších dvou možných hodnotách 9 a 10. Jedná se o riziko velmi pravděpodobné ztráty funkce produktu, což může ohrozit uživatele na zdraví nebo dokonce na životě. V případě zjištěné chyby na dodávaném produktu to pro výrobce automobilů znamená stažení automobilů do vozového parku a další náklady spojené s odstraněním a náhradou chybného produktu.

Pro dodavatele produktu je důležité u těchto parametrů s označením CC vyvíjet vysokou pozornost a zajistit bezchybnou výrobu/montáž o požadovaných parametrech. V případě selhání se jedná o obrovské finanční náklady spojené s pravděpodobnou ztrátou odběratele a dobrého jména na trhu.

Při montáži sedadel mezi části označené CC patří i šrouby ve spoji opěradlo-sedák a spony pásu, kde se musí přistupovat k operaci utahování důsledně a vždy docílit utažení požadovaným utahovacím momentem. Nesplnění podmínek má zásadní vliv na bezpečnost přepravovaných osob. Pokud dojde k autohavárii a povolí se například šroub kotvící sponu pásu k rámu sedáku, bezpečnostní pás ztrácí svou funkci a je zde vysoká pravděpodobnost trvalých zdravotních následků nebo úmrtí přepravované osoby.

- Významná charakteristika SC

SC – Significant Characteristics. Parametry, které mohou ovlivnit tvar, provedení, funkci produktu a také mohou být příčinou k ovlivnění procesů výroby nebo montáže. Závažnost následků v případě selhání je hodnocena v rozmezí 5 - 8. Jedná se o případy, kdy jsou na dodávaném produktu nalezeny odchylky funkce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Podle závažnosti nalezené odchylky je nutné přistoupit k zastavení nebo snížení produkce na výrobní/montážní lince a urychleně vytvořit opatření, která vznikající odchylku odstraní.

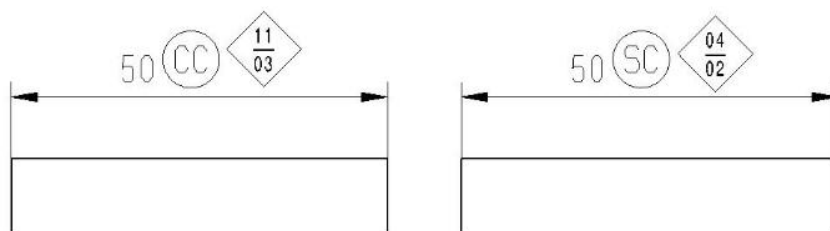
- Ostatní charakteristiky

Parametry s jinými charakteristikami dosahují závažnosti následkem selhání hodnot 1 - 4. Jedná se o chyby zjištěné odborníkem, které vyžadují pouze modifikaci výrobního nebo montážního procesu za účelem zvýšení kvality.

V montáži automobilových sedadel se jedná například o jeden ze čtyř šroubů, kterými je na spodní části ránu sedáku uchycen plechový držák hasícího přístroje. Zde není potřeba přesného odměřování dosažené hodnoty utahovacího momentu na šroubu a velikosti úhlového natočení výstupní hřídele utahovacího nástroje. Nadneseně, pokud po letech provozu automobilu se jeden šroub povolí a kryt na jedné straně mírně odlehne, bude situace nepříjemná například svou hlučností při průjezdu vozu nerovným terénem. Lidský život přitom nebude přímo ohrožen.

Jednotlivé parametry s přiřazenými charakteristikami jsou označovány značkami, které se nachází u rozměrových kót, odkazových čar s požadovanými parametry (velikost utahovacího momentu) a v textovém poli. Ukázka jednoho takového parametru (délkového rozměru), který má přiřazenou charakteristiku je zobrazen na obr. 9.

Jedná se o parametr délky, ke kterému je přiřazeno označení charakteristiky pro daný rozměr. Zda se jedná o kritickou nebo významnou charakteristiku, je uvedeno v kružnici s označením CC nebo SC. Hodnota v kosočtverci v tomto případě slouží jako identifikační číslo daného parametru a charakteristiky, které odkazuje například na bližší informace v průvodním textu výrobní dokumentace poskytnuté výrobcem automobilů. [25], [26]



Obr. 9: Parametr s označenou charakteristikou [26]

2.4.2 Kontrola nad utahováním

Doba, kdy byly šrouby utahovány ručně pomocí francouzských klíčů a nástrčných klíčů, je zcela v zapomnění. Tyto způsoby utahování šroubů při dnešním vysokém počtu montážních cyklů s časovým horizontem 30 sekund jsou zcela nemyslitelné. Není třeba zdůrazňovat, že měření velikosti utahovacího momentu nebylo bráno na zřetel a kontrola stavu utažených šroubů byla prováděna pouze vizuálně.

S rozvody stlačeného vzduchu po výrobních a montážních halách se přešlo na pneumatické ráčnové utahovačky. Tyto nástroje usnadnily operátorům námahu a vedly ke značnému zefektivnění montáže s velkou úsporou montážních časů. Tyto typy nástrojů se používají i dnes pro utahování šroubů, které nemají zásadní vliv na



bezpečnost přepravovaných osob (šroub držáku hasicího přístroje). Jeden takový pneumatický utahovák určený pro montáže v automobilovém průmyslu, je utahovák RS 320 od výrobce Metabo (viz Obr. 10). Nevýhodou těchto utahováků je definovaný pracovní tlak 6,2 bar, který tvoří na výstupu utahováku utahovací moment o velikosti 70Nm a nemá možnost plynulé regulace velikosti momentu. Protože pneumatický utahovák není vybaven senzorickým systémem, záznam o skutečně dosažených hodnotách utahovacího momentu není možné získat a tedy ani data z montážního procesu archivovat.



Obr. 10: Pneumatický utahovák Metabo RS 320 [11]

Na utahování šroubů, které se nacházejí v šroubových spojích s přiřazenou kritickou nebo významnou charakteristikou (šroub u spony bezpečnostního pásu sedadla), se používá elektrických utahováků. Jedná se o elektrické utahováky, které mají plynule regulovatelnou hodnotu utahovacího momentu působícího na šroub. Dalším měřeným parametrem je úhlové natočení výstupní hřídele utahováku při utahování. Vnitřní senzorické systémy tyto parametry umí měřit a zaznamenat. Pomocí vnitřní datové sběrnice mají nástroje možnost komunikovat s nadřazeným řídicím systémem, od kterého zpracovávají zadané úkoly a zpětně o jejich splnění informují. Data z procesů utahování šroubů jsou tak snadno dostupná a umožňují jejich archivaci.

Pomocí robotizovaného pracoviště je získána plná kontrola nad operací utahování šroubů. Náhradou operátora průmyslovým robotem se dosáhne konstantní kvality po celou dobu pracovní směny. Zároveň celá operace je plně řízena a umožňuje změny utahovacích parametrů (velikost utahovacího momentu, počet šroubů určených k utahování). Dosahované výsledné hodnoty z celého procesu utahování mohou být využity pro analýzy montáže a archivaci dat. V případě šetření dopravní nehody se zpětně dá dohledat způsob, čas a všechny potřebné parametry, kterými byla montáž zkoumaného sedadla provedena. [11]

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO MONTÁŽNÍHO PRACOVIŠTĚ

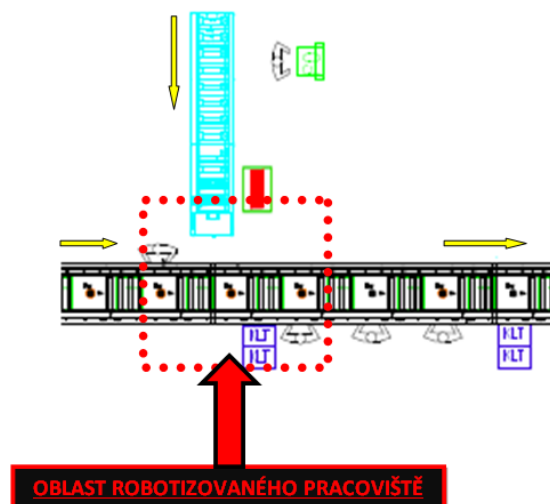
3.1 Layout montážní haly

Za významné dodavatele automobilových sedadel tuzemským i zahraničním výrobcům automobilů, lze v České republice považovat společnosti Magna Exteriors & Interiors Bohemia, Johnson Controls, Hyundai Dymos Czech a Faurecia Interior Systems Bohemia. Tyto společnosti si pronajímají montážní haly v těsné blízkosti výrobních závodů či dálnic a hlavních silničních tahů, díky kterým mohou zásobovat své odběratele v co nejkratším čase od vznesení požadavku na dodávku produktu (v souladu s filozofií Just-in-Time).

Layout jedné z montážních hal byl zadavatelem diplomové práce poskytnut. Z důvodu ochrany know-how v oblasti rozvržení montážní haly a toku materiálu (výrobku), byl vytvořen pouze výřez oblasti (viz. obr. 11), ve které se sbíhají obě montážní větve (montáž sedáku a montáž opěradla). Oblast, do které je plánováno umístění navrhované robotizované pracoviště, je ohraničena červeně tečkovaným rámečkem.

Žlutě vyplněné šipky určují směr pohybu dopravníků. Montážní proces opěradla je realizován podél vertikálního (světle modrého) dopravníku. Z levé strany horizontálního dopravníku se posouvají v montážním procesu sedáky umístěné na technologických otočných naklápěcích paletách. Operátor na horní hraně horizontálního dopravníku odebírá opěradla z dopravníku vertikálního, které pomocí šroubů ručně či za pomoci pneumatických utahovacích nástrojů před-šroubovává k sedáku. Paleta se sedadlem se posouvá o jednu pozici doprava, kde na robotizovaném pracovišti budou utaženy všechny šrouby spoje opěradlo-sedák a spony pásu (červená šipka ukazuje polohu průmyslového robota) řízeným elektrickým utahovákem, který má možnost kontroly průběhu utahování a zasílání zpětné vazby po dokončení celé operace.

Po dokončení operace utažení šroubů se technologická paleta se sedadly přesouvá do pravé části horizontálního dopravníku (ve směru žluté šipky) k další montážní operaci. [12]



Obr. 11: Výřez layoutu montážní haly



3.2 Montážní prostředí ve 3D

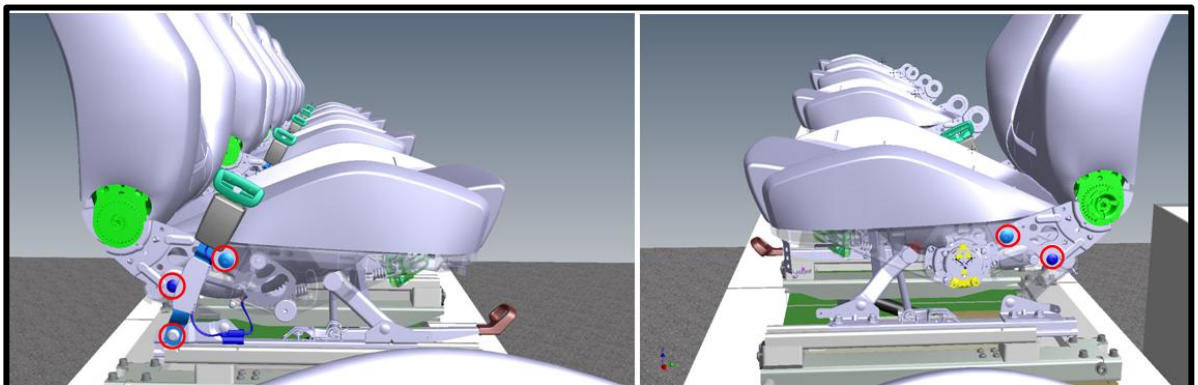
Za pomoci výkresové dokumentace layoutu montážní haly bylo možné montážní prostředí, kde se bude nacházet navrhované robotizované pracoviště, vymodelovat. Celý model vypracovaný ve 3D datech, je vytvořen podle skutečných rozměrů uvedených ve výkresové dokumentaci. Dále byly vymodelovány skutečně používané technologické otočné naklápěcí palety pro ustavení polohy sedadla. Poskytnutý model automobilové sedačky byl upravován tak, aby se co nejvíce podobal stavu složení v závislosti na pokročilosti montážního procesu. Vizualizace montážního prostředí je ukázána na obr. 12.



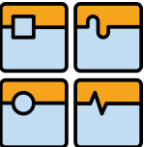
Obr. 12: 3D vizualizace montážního pracoviště

Takto vymodelované prostředí montáže pomocí skutečných parametrů je nezbytné pro vytvoření analýzy velikosti pracovního prostoru, rozměrového řešení a uspořádání robotizovaného pracoviště.

Vytvořené 3D pracovního prostředí lze využít pro účely prezentace postupu práce a dosažených výsledků zadavateli diplomové práce a koncovému zákazníkovi navrhovaného robotizovaného pracoviště. Jeden příklad využití pro prezentaci je na obr. 13. Na tomto obrázku si lze povšimnout pěti modrých hlav šroubů, které jsou ohraničeny červenými kružnicemi. Jedná se o šrouby, které jsou určeny pro automatické utahování průmyslovým robotem v navrhovaném robotizovaném pracovišti.



Obr. 13: Pohled na utahované šrouby

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

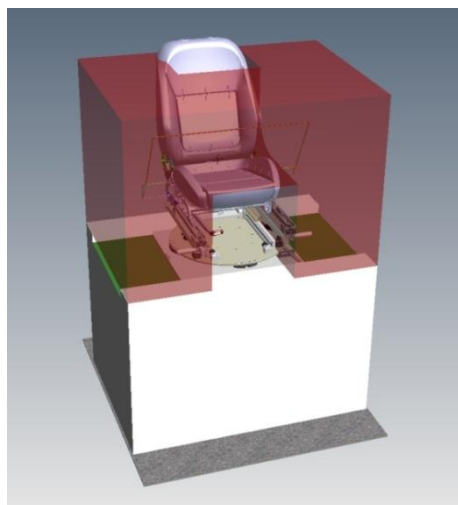
3.3 Analýza montážního prostředí

Analýza montážního prostředí se skládá z vytyčení maximálního pracovního prostoru povoleného zadavatelem diplomové práce a nákresem předpokládané dráhy koncového efektoru v průběhu pracovního cyklu, která bude použita v orientačním časovém rozložení pracovního cyklu.

3.3.1 Vymezení pracovního prostoru

Stanovená maximální povolená délka (ve směru pohybu dopravníku) jednoho montážního pracoviště je 1300 mm. To je pevně stanovená hodnota od zadavatele diplomové práce.

Navrhované robotizované pracoviště je náhradou za jedno montážní pracoviště operátora. Délka robotizovaného pracoviště je tedy pevně definována. Rozměr výšky a šířky není přesněji specifikován, přesto vzhledem k zadání diplomové práce bude snaha o co nejmenší prostorové řešení návrhu. Prvotní vymezení povoleného pracovního prostoru je zobrazeno na obr. 14 pomocí částečně průhledného červeného tvaru.



Obr. 14: Povolený pracovní prostor s drahami koncového efektoru

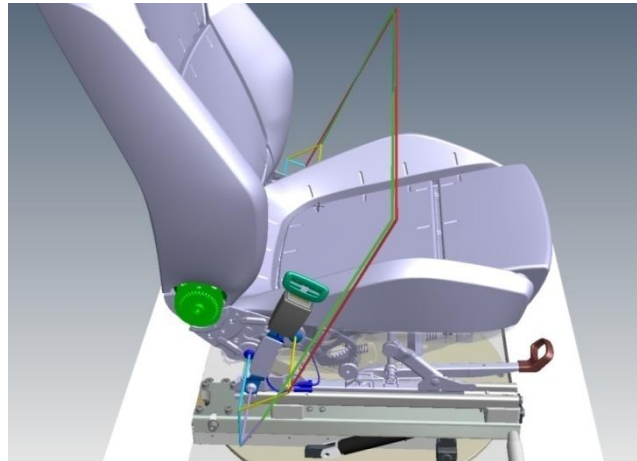
3.3.2 Pracovní dráha koncového efektoru

Aby mohl být navržen předběžný časový plán montážního cyklu, musí být známa doba pohybu průmyslového robotu během montáže. Pro určení přibližné doby pohybu robotu je nezbytné v první řadě stanovit dráhu, kterou za pracovní cyklus vykoná koncový efektor robotu.

Dráha koncového efektoru, která je dobře viditelná na obr. 15, je pouze hrubou předlohou k programování dráhy průmyslového robotu s ohledem na dráhu koncového efektoru. Její konečná podoba bude optimalizována s cílem dosažení co nejkratšího času a plynulosti pohybu robotu. Dráha byla tvořena s ohledem na maximální povolený pracovní prostor, a jak je zobrazeno na obr. 14, návrh je i se značkou rezervou od okrajových poloh kompletně umístěn v povolené pracovní oblasti.



Prostorová náročnost dráhy koncového efektoru bude brána v potaz i při výběru typu průmyslového robotu, jehož pracovní prostor (průmyslového robotu) bude muset pokrýt celou navrženou dráhu.



Obr. 15: Dráha koncového efektoru

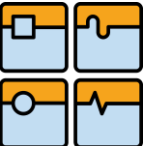
- Popis dráhy koncového efektoru

Dráha koncového efektoru robotu je rozdělena na jednotlivé přejezdy (úseky). Každý přejezd je vyznačen vlastní barvou. Koncový efektor je na počátku pracovního cyklu ustaven v pozici nad sedákem a vyčkává na příjezd palety se sedadlem a její aretaci. Po aretaci se koncový efektor pohybuje po dráze světle zelené barvy (na stranu sedadla se sponou pásu) a na jejím konci se zastaví. Zde probíhá pomocí Vision systému snímání okolí a hledání pozic šroubů. Jakmile jsou pozice získány, po fialové dráze následuje navedení nástroje na osu šroubu u spony pásu. Přísluv, operace utahnutí šroubu a opět návrat do pozice před přísluvem. Následuje posuv po světle modré dráze a navedení nástroje na osu prvního šroubu v rámu sedadla. Operace utahování se opakuje tak, jak u předchozího šroubu. Stejně je utahen i druhý šroub v rámu (po žluté dráze).

Všechny šrouby na straně se sponou pásu jsou utaheny a po červené dráze se koncový efektor přesouvá na druhou stranu sedadla. Zde na konci červené dráhy opět vyčkává na Vision systém. Po světle modré a žluté dráze probíhají stejné operace navedení nástroje na osy šroubů s následnou operací utahování. Jsou-li všechny šrouby dle požadovaných parametrů utaheny, koncový efektor se po dráze tmavě zelené vrací do své výchozí pozice nad sedák a vyčkává na výměnu palety.

Výkres s okótovanými délkami jednotlivých úseku dráhy koncového efektoru se nachází v příloha č. 1. Na kóty pomocí odkazových šipek je připojen text „Přejezd“ a číslo. Číslo označuje pořadí přejezdů tak, jak na sebe navzájem navazují.

Po sečtení všech délek přejezdů koncového efektoru je vypočtena celková dráha, kterou musí koncový efektor robotu zvládnout v průběhu jednoho pracovního cyklu. Jedná se celkově o vzdálenost 5071,2 mm za jeden pracovní cyklus montáže.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 PRŮMYSLOVÝ ROBOT

4.1 Nový trend průmyslových robotů

Průmyslový robot – obrovský pomocník, který je ve svém zadaném úkolu vytrvalý, bez známek únavy, oplývá konstantní výkonností, zaručenou opakovatelností polohy a spolehlivostí. Své využití v průmyslu nachází v oblasti manipulace, u technologických nebo montážních operací, které jsou pro operátora časově náročné, v provedení složité, často se opakující a vysilující. Následkem toho v průběhu pracovní směny vzrůstá četnost provedených chyb ze strany operátora.

Toto jsou základní důvody, proč společnosti zabývající se výrobou a montáží, se nebojí investovat nemalé peněžní prostředky k pořízení robotizovaných pracovišť. Vynaložené finance se v brzké době mohou vrátit díky zvýšené produkci, navýšení počtu pracovních směn, úspoře nákladů za lidskou pracovní sílu, využití operátorů na jiných potřebných pracovních pozicích a také robotizovaná pracoviště jsou jistou zárukou zvýšení kvality výroby a montáže, která významně promlouvá do prodejní ceny produktu.

První průmyslové roboty implementované do praxe se objevují v 50. letech 20. století. Společnost Kuka, zabývající se vývojem a výrobou průmyslových robotů, v roce 1956 uvedla v provoz první robotizované pracoviště určené pro sváření. V roce 1971 si společnost Daimler jako první v Evropě nechala sestavit a uvést do provozu plně automatizovanou svářecí linku osazenou průmyslovými roboty. Hannoverský veletrh 1996 představil průmyslové roboty s kombinací pohybujících se mechanických prvků řízených moderními řídicími technologiemi.

Pohled na strukturu robotizovaných pracovišť je v posledních letech monotónní. Průmyslový robot je ukotven ve svém pracovním prostředí, které je striktně ohraničeno bezpečnostními prvky a robot vykonává zadané pracovní operace. Pracovní prostor robota je proti případnému vniknutí operátora, údržby nebo nežádoucích předmětů ohraničen pomocí bezpečnostních plotů, zábran a krytů. Vstupy do pracovních prostor jsou kontrolovány bezpečnostními zámkami dveří, optickými závorami, 3D scannery nebo kamerovými systémy. Pomocí těchto opatření se při náhlém vniknutí obsluhy do pracovního prostoru činnost robota okamžitě zastaví a čeká na odstranění nežádoucího objektu z pracovního prostoru. Tím je dbáno na pracovní bezpečnost při použití průmyslových robotů a tato problematika bude více popsána v jedné z následujících kapitol při řešení bezpečnosti navrženého pracoviště.

V evropských zemích byl proveden průzkum, který poukázal na stárnoucí evropskou populaci. V pravděpodobně nejprůmyslovější evropské zemi této doby, Německu, se ukázalo, že v roce 2035 bude každý třetí občan starší více nežli šedesáti let. Mnozí z těchto občanů budou muset pracovat a jejich práce jim bude stále náročnější. Z tohoto důvodu probíhá od roku 2005 projekt EU, který je zaměřen na podporu vývoje průmyslových robotů, které poskytují úzkou spolupráci operátor-robot. Tyto nové roboty se vyznačují lehkou konstrukcí a nejmodernějšími patenty na bezpečnostní a senzorické systémy, které umožňují co nejužší spolupráci robota s operátorem (člověkem) při maximální eliminaci rizika vzniku nebezpečí. Důležité je poznamenat, že v případě použití těchto průmyslových robotů odpadá běžné ohraničení robotizovaného pracoviště dosud používanými bezpečnostními prvky (oplocení, zábrany a další). [14], [15]



4.2 Volba průmyslového robotu

V návaznosti na předešlou kapitolu je provedena volba dvou typů průmyslových robotů, které budou porovnávány při návrhu robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu.

Požadavkem od zadavatele diplomové práce je, aby měl zvolený průmyslový robot minimální momentovou únosnost 50Nm na posledním kinematickém článku výstupního řetězce.

Nabízí se zde pro výběr průmyslového robotu spousta renomovaných výrobců. Mezi ně patří například výrobci ABB, KUKA, FANUC, Stäubli a další. Pohled do katalogů nabízených typů robotů ukáže, že se jedná o přibližně stejné roboty. Parametry, požadavky na bezpečnost a funkce by nebyly mezi sebou výrazně odlišné. Až produkt z nabídky společnosti Universal Robots vzbudil zájem, který vede k porovnání dvou rozdílných průmyslových robotů.

Prvním průmyslovým robotem vybraným do řešení této diplomové práce je robot od již tradičního výrobce průmyslových robotů, společnosti FANUC. Zadavatel diplomové práce má s průmyslovými roboty tohoto výrobce letité zkušenosti a doporučil výběr jednoho průmyslového robotu z jejich nabídky.

Robot, který bude jako druhý v pořadí implementován do návrhu robotizovaného pracoviště, je produktem společnosti Universal Robots. Tento robot je výrobcem specifikován jako robot určený pro velmi úzkou spolupráci s člověkem bez větších nároků na bezpečnostní prvky v jeho blízkém okolí. Protože se jedná o relativně nový typ robotu, který v poslední době nabývá výrazně na popularitě, bude mu věnována větší pozornost v následujícím textu. [17], [23], [24]

4.3 Průmyslový robot FANUC

Tradičním výrobcem průmyslových robotů, působícím po celém světě, je společnost FANUC Robotics. Počátky se datují do roku 1956, kdy FANUC jako pobočka společnosti FUJITSU zahájil vývoj numerických ovladačů – NC. V průběhu let se FANUC osamostatnil a postupně z Asie expandoval do USA a Evropy. Od roku 1989 se specializuje na vývoj a výrobu automatizačních technologií pro obráběcí stroje, průmyslová zařízení a roboty.

V roce 2003 bylo po celé Evropě napočítáno celkem 20 000 robotů implementovaných do výrobních a montážních procesů. O pět let později FANUC dosáhl hranice 200 000 robotů instalovaných po celém světě.

Dnes je společnost FANUC Ltd přední celosvětovou společností zabývající se CNC technologiemi, tovární automatizací a robotikou. FANUC – Factory Automation Numerical Control, tedy Numerické Řízení Tovární Automatizace. [23]

4.3.1 Výběr robotu FANUC

Společnost FANUC v současné době nabízí sedmnáct typových řad průmyslových robotů. Řady jsou odlišeny únosností robotu, kinematickou stavbou robotu (sériová a paralelní kinematika), způsobem ukotvení (vodorovné, závěsné) a určenému druhu využití (Pick-And-Place, sváření, lakování, nanášení lepidel a závěsné roboty na posuvových osách).



S přihlédnutím na únosnost robotu a zároveň na dosažení požadované momentové únosnosti robotu bylo vybíráno z typové série robotů M-20, která je výrobcem označována za ideální řešení pro všechny aplikace, kde dochází k manipulaci se středním užitečným zatížením. Jedná se o roboty s nosností až 20kg a pracovním dosahem až 2009 mm.

Pro dosažení všech požadovaných parametrů byl vybrán robotu s výrobním označením M-20iA/35M (zobrazený na obr. 16). [23]



Obr. 16: Průmyslový robot FANUC M-20iA/35M

4.3.2 Parametry robotu M-20iA/35M

Vybraný robot M-20iA/35M vyčnívá se série M20 svou nosností, která je zvýšena na 35kg. S tím je zvýšena tuhost konstrukce robotu a jeho rotačních vazeb, které poskytují momentovou únosnost 60Nm na výstupní přírubě robotu. Další rotační vazby mají zaručenou momentovou únosnost 110Nm a vyšší. Pracovní dosah robotu je 1811mm, který je tvořen polohováním celkově šesti řízenými osami robotu a je uveden na obr. 18. List technické specifikace robotu je přiložen v přílohách (viz. Příloha č. 2). [23]

4.3.3 Příslušenství FANUC

K průmyslovému robotu M-20iA/35M od výrobce FANUC je dodáváno nebo lze přikoupit další příslušenství, které je mezi sebou plně kompatibilní.

- Řídicí systém R-30iB

Roboty ze série M-20 jsou dodávány s řídicím systémem výrobního označení R-30iB. Jedná se o systém s více než 250 softwarovými funkcemi, které mají napomoci zvýšit výkon robotu pomocí krácení časů cyklů, zvyšování rychlosti,



přesnosti a bezpečnosti. Vyznačuje se spolehlivostí a funkčností se snahou o minimální spotřebu energie. Řídicí systém je uložen v různých variantách skříní. Tím se nabízí konstruktérům volba s cílem optimálního uložení skříně řídicího systému do robotizované buňky v podobě velkého panelu, menší vestavné skříně pod pracovní stůl nebo skříně závěsné. Pro návrh robotizovaného pracoviště je vybrána skříň vestavná o střední velikosti s označením A-Cabinet. Její rozměry jsou 600x500x470mm (šířka x výška x hloubka) a je zobrazena na obr. 17.

- iPendant Touch

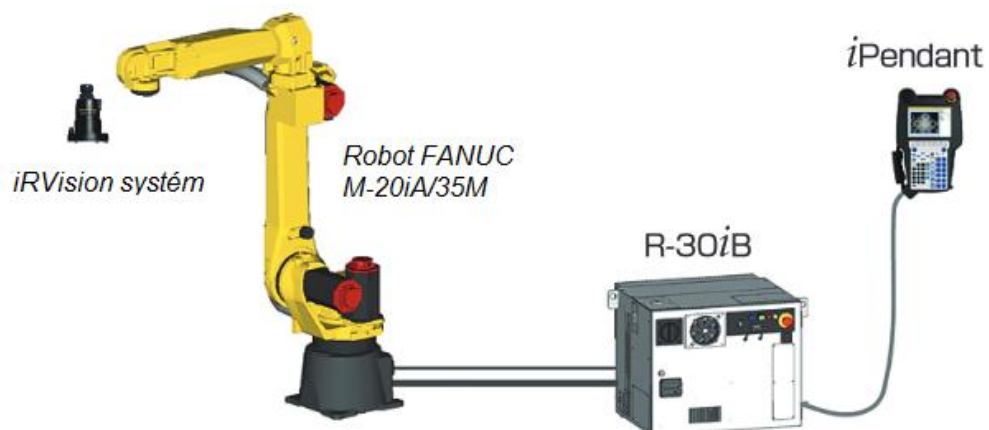
Spolu s řídicím systémem robotu FANUC je standardně dodáván iPendant Touch. Jedná se o lehký a ergonomický přenosný ovládací panel s obrazovkou a klávesnicí pro možnost programování robotu. Display je přehledný s možností rozdělení do více oken. Programovací prostředí je uživatelsky příjemné jak pro programátory průmyslových robotů, tak pro operátory na robotizovaném pracovišti. Panel má možnost připojení datových disků s programy pro robot pomocí USB rozhraní. Tento ovládací panel je zobrazen v pravém horním rohu nad skříní řídicího systému na obr. 17.

- iRVision systém

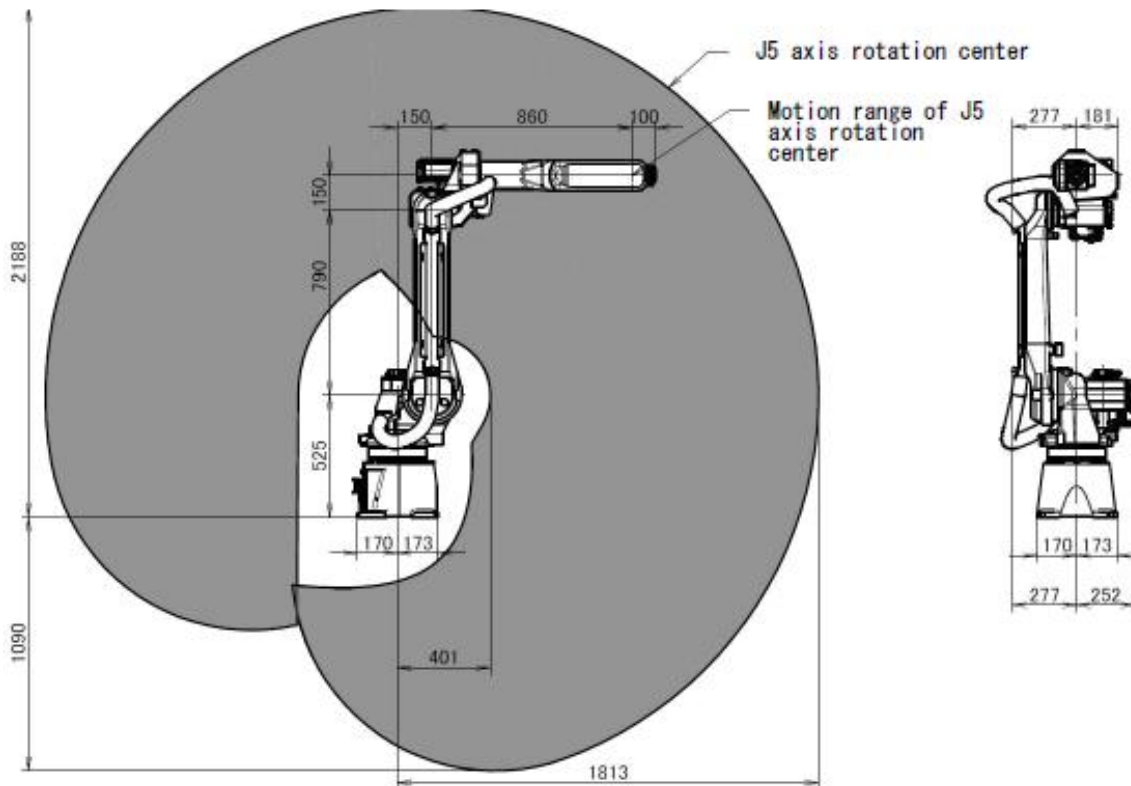
Pro automatickou detekci pozice šroubů bude použito Vision systému. Společnost FANUC po přikoupení dodává svůj iRVision systém, který je plně kompatibilní s řídicím systémem 30iB. iRVision systém využívá svůj vlastní software, který je uživatelsky přívětivý, umožňuje snadné vytváření aplikací s jednoduchým a rychlým nastavením. Vision systém je plně kompatibilní s robotem. Využíván bude standardní 2D kamerový proces pro snímání sledované scény. Pomocí iRVision systému budou hledány středy šroubů, výpočet jejich pozice a navedení koncového efektoru na vypočtenou hodnotu středů.

iRVision systém se skládá z kamery, objektivu a přívodního kabelu ke skříní řídicího systému.

Zapojení řídicího systému R-30iB s vybraným robotem FANUC, iPendant Touchem a sestavou iRVision systému (kamera, objektiv a zdroj osvětlení) je a jednoduchém schématu zobrazeno na obr. 17. [23], [28]



Obr. 17: Machinwarové a hardwarové schéma FANUC [28]



Obr. 18: Výkres pracovního dosahu vybraného robotu FANUC [27]

4.4 Průmyslový robot Universal Robots

Universal Robots (UR) je dánskou společností založenou v roce 2005 skupinou tří studentů dánské university v Odense. Prvotním cílem byla snaha o vývoj průmyslových robotů kooperujících s člověkem (někdy nazývaných koboty = kognitivní roboty). V roce 2008 se dostává do prodeje první průmyslový robot s označením UR5. O dva roky později se na trh dostává větší UR10 a v roce 2012 prozatím nejnovější a zároveň nejmenší typ UR3.

Průmyslový robot UR se vyznačuje převážně lehkou konstrukcí, vysokou flexibilitou, snadnou montáží a rychlou implementací do provozu. Robot je určen pro úzkou spolupráci s operátorem ve výrobním a montážním procesu. Nároky na bezpečnostní opatření v okolí robotu UR jsou tak minimální.

Po pokrytí evropského trhu roboty UR se prodej rozšířil i na trh americký a asijský. V současné době je evidováno více než 3500 robotů UR, které jsou aplikovány v praxi. [17], [18]

4.4.1 Parametry robotů UR

Při prvotním výběru velikosti robotu UR výrobce doporučuje čtyři základní parametry robotu. Pracovní dosah, manipulační zatížení, hmotnost robotu a rozměr půdorysu základny. Tyto hodnoty pro všechny tři velikosti robotu výrobce uvádí v tabulce, která se nachází na další stránka (viz. tabulka 1).



	Robotické rameno UR3	Robotické rameno UR5	Robotické rameno UR10
Pracovní dosah	500 mm / 19,7 in	850 mm / 33,5 in	1 300 mm / 51,2 in
Manipulační zatížení	3 kg / 6,6 lbs	5 kg / 11 lbs	10 kg / 22 lbs
Hmotnost	11 kg / 24,3 lbs	18,4 kg / 40,6 lbs	28,9 kg / 63,7 lbs
Půdorys	118 mm / 4,6 in	149 mm / 5,9 in	190 mm / 7,5 in

Tabulka 1: Základní parametry robotů UR [17]

V tabulce s parametry je uvedeno označení robotů jako robotické rameno. Důvodem je konstrukce robotu, která má být svou funkcí co nejblíže podobná rameni lidskému a být tím člověku jeho další pomocnou rukou při práci. Funkce robotu jako lidské ruky je dosažena díky šesti rotačním vazbám. UR je označeno jako Base, Shoulder, Elbow a zbylé tři vazby tvoří Wrist (Základna, Rameno, Loket a Zápěstí).

Zadavatel diplomové práce u robotů UR kladl požadavek, aby momentová únosnost na každé ze šesti rotačních vazeb byla minimální hodnoty 50Nm. Tento parametr v uživatelských a servisních příručkách není k nalezení. Nezbyvalo, než se obrátit na servisní oddělení UR a položit dotaz ohledně momentové únosnosti robotu. Pan Per Lordin Nielsen zaslal tabulku, ve které jsou uvedeny velikosti rotačních vazeb a jejich momentové únosnosti. Směr působení uvedených momentů je ve směru osy rotace dané vazby (viz. tabulka 2).

JOINT SIZE TORQUE	
Size 0	12 Nm
Size 1	28 Nm
Size 2	56 Nm
Size 3	150 Nm
Size 4	330 Nm

Tabulka 2: Momentové únosnosti rotačních vazeb robotů UR

Momenty únosnosti působící ve směru osy rotace vazby jsou známy. Neznámé jsou povolené maximální hodnoty momentů působících ve směru kolmém na osu rotace. Tento moment působí na rameno robotu jako moment ohybový a namáhá tím ložiska v rotačních vazbách robotu. Zde opět byl vznesen dotaz na servisní oddělení, kdy byla potvrzena možnost namáhání rotačních vazeb ohybovým momentem velikosti 80 Nm. Celá vzájemná komunikace s podrobnými informacemi ke všem třem druhům robotu UR je k nahlédnutí v přílohách (viz. příloha č. 3). [19]



4.4.2 Volba robotu UR10

Typ robotu Universal Robots, který plní doposud stanovené požadavky (je vybaven rotačními vazbami o velikostech 2 - 4), je model UR10. Tedy největší model s nejvyšší únosností a největším pracovním dosahem. Nejslabší rotační vazba má momentovou únosnost 56Nm. Zvolený robot UR10 je zobrazen na obr. 19 a technická specifikace vybraného průmyslového robotu UR se nachází opět mezi přílohami (viz. příloha č. 4).



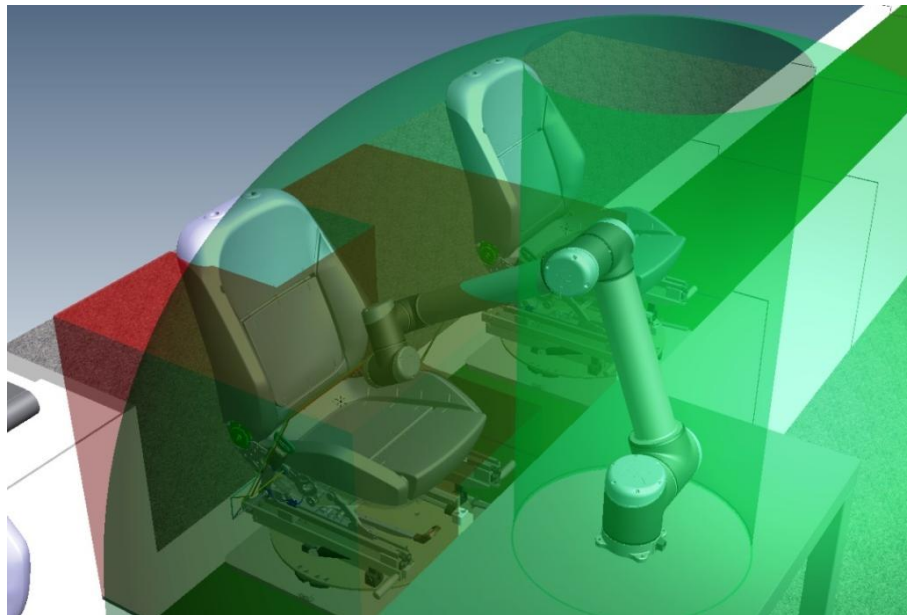
Obr. 19: Robot UR 10

4.4.3 Pracovní prostor robotu UR10

Posledním důležitým parametrem robotu UR10 je pracovní prostor, ve které dokáže operovat. Pro robot UR10 je pracovní prostor ohraničen kulovou plochou o poloměru 1300 mm se středem totožným se středem příruby, která slouží k ukotvení robotu na stand.

Universal Robots doporučují vynechat z pracovního prostoru robotu oblast tvořenou válcem o poloměru 300 mm, s výškou skrze celý pracovní dosah a s osou válce totožnou s osou příruby pro ukotvení robotu. Důvodem jsou v této oblasti malé rychlosti koncového efektoru, ale vysoké rychlosti ostatních částí robotu, které mohou být vyšší, nežli povolené hodnoty rychlosti pro koncový efektor robotu.

Na obr. 20 je zobrazena velikost a tvar pracovního prostoru robotu ve zjednodušeném prostředí montážního pracoviště. Z obrázku je zřejmé, že pracovní prostor robotu plně pokrývá navrženou pracovní dráhu koncového efektoru v průběhu montážní operace. [17], [19]



Obr. 20: Velikost a tvar pracovního prostoru robotu UR10

4.4.4 Příslušenství robotů UR

Při objednání robotu UR10 zasílá společnost Universal Robots v jednom balení ovládací jednotku, přenosný ovládací terminál, nutnou kabeláž a montážní držáky.

Samotné zapojení robotu s naprogramováním první lehké aplikace udává výrobce v čase okolo jedné hodiny. Stačí z balení vyjmout robot, pomocí šroubů ustavit na pevnou plochu, pomocí kabeláže propojit robot s ovládací jednotkou a přenosným terminálem a po zapojení inicializovat robota do výchozího nastavení. Programování se již provádí pomocí přenosného terminálu.

- *Přenosný terminál*

Jedná se o dotykovou obrazovku, přes kterou se ovládá a programuje robot UR10. Jedinými tlačítky na terminálu jsou tlačítko spuštění robotu a bezpečnostní TOTAL STOP tlačítko. Na dotykové obrazovce probíhá prostředí řídicího softwaru PolyScope, které je patentem společnosti Universal Robots. Kombinuje 3D reálnou vizualizaci pohybů robotu s dalšími tlačítky pro pohybování s robotem. Programovací prostředí je velmi intuitivní a uživatelsky velmi příjemné.

Programovat robot UR10 je možné právě přes software PolyScope na dotykové obrazovce přenosného terminálu nebo v režimu učení, kdy operátor/programátor pomocí své paže polohuje s ramenem robotu do požadovaných pozic a průběžně je ukládá. Řídicí systém poté uložené body zpracovává a prokládá křivkami pro průjezd koncového efektoru robotu.

Programování robotů UR nevyžaduje žádnou znalost programovacích jazyků a struktur k programování průmyslových robotů. Tím i například operátor z jiného pracoviště, při zjištění chybné manipulace, může činnost robotu zastavit, program upravit a opět uvést do provozu. Přitom není nutné vyčkávat na programátora průmyslových robotů.



- Řídicí systém

Skříň řídicího systému robotů UR je přenosná a prostorově nenáročná. Uchytení na pracoviště lze realizovat přes montážní držáky pouhými dvěma šrouby, které uchytí skříň řídicího systému například k Al-profilu nebo se ustaví na plechový rámeček na spodní straně skříňe.

Velikost skříňe řídicího systému lze porovnat s přenosným terminálem, který je na ni uchyten na obr. 21. Dotyková obrazovka přenosného terminálu má úhlopříčku o rozměru 12“ a je na ni vidět softwarové prostředí pro programování průmyslového robotu i s 3D vizualizací aktuálních pohybů robotu dle skutečných pohybů robotu UR. [17], [19]




Obr. 21: Skříň řídicího systému s přenosným terminálem [17]

4.4.5 Příklady použití robotů UR

Roboty od společnosti Universal Robots zatím nejsou v podvědomí tak, jako ostatní produkty velkých firem zabývajících se výrobou průmyslových robotů. Důvodem může být i poměrně krátká doba působení této společnosti na trhu. Přesto roboty UR přicházejí s velice inovativním řešením pro robotizovaná pracoviště, obliba a počet robotů UR využitých v praxi postupně stoupá. Výrobní závody, které již mají ve svých halách pracující roboty UR, přemýšlí nad pořízením dalších kusů a předpovídají produktům od Universal Robots velice úspěšnou budoucnost.

Německý výrobce automobilů, Volkswagen, je společností využívající UR roboty střední velikosti (UR5) v hromadné výrobě motorů. V sekci montáže hlav válců robot zodpovídá za manipulaci s velmi křehkými žhavicími svíčkami. Na montážní lince vedle robotů pracují i operátoři. Jedná se o vůbec první spolupráci robotů přímo s operátory (bez bezpečnostních zábrán) ve výrobních závodech Volkswagen.

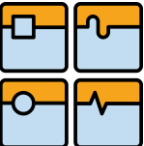
Společnost Linatex vyrábějící plastové díly je další společností, která přemýšlela o zefektivnění své výroby, a proto implementovala robot UR5 jako operátora k CNC obráběcímu centru. Robot manipuluje s obrobky mezi paletou a

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

sklídlem obráběcího centra, uzavírá ochranné dveře centra a spouští předem připravené programy. Dříve tuto práci vykonávala lidská pracovní síla, která při výrobě stovek kusů za jednu pracovní směnu vykonávala velice unavující monotónní práci a při produkci jednotek kusů za jednu pracovní směnu zase pouze stála a vyčkávala na dokončení obrobku. Díky snadnému přeprogramování robotu nyní operátor do půl hodiny vytvoří nový program, ozkouší jeho funkčnost a robot samostatně pracuje bez nutnosti jakéhokoli dohledu.

Společnost Multi-Wing CZ také aplikovala roboty UR5 jako obsluhu obráběcích strojů, kde byly náhradou za starší roboty od tradičních výrobců. To přináší možnost porovnání a vyzdvižení výhod, které roboty Universal Robots oproti konkurenci přinášejí. V porovnání s předchozím robotem se snížily pořizovací náklady na pracoviště o 1/5, přejezdové časy se zrychlily až o 70% díky jednoduché konstrukci robotů UR. Výměna obrobků se snížila z 28 na 18 sekund. Výměna koncového efektoru (pro různé druhy výrobků) operátorem se snížila ze čtyř na pouhou jednu minutu a hodinová psaní nových programů pro starší robot se změnila v 15 minutovou záležitost u robotů UR. Toto vše snížilo výrobní náklady každého výrobku o 10-20% s průměrnou úsporou 7000 euro ročně.

Mezi další využití patří paletizace, lakování, nanášení lepidel, skládání papírových krabic, inspekce a měření výrobků s pomocí Vision systémů, odebírání vzorků v laboratořích a spousta dalších zajímavých možností využití. [17], [20], [21], [22]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5 KONSTRUKCE KONCOVÉHO EFEKTORU

5.1 Technologický koncový efektor

Část průmyslového robotu, která poskytuje přímý kontakt s pracovním prostředím, se nazývá koncový efektor. Koncový efektor je mechanicky připojen na koncovou přírubu u robotů se sériovou kinematikou a na platformu (polohovanou rovinu) u manipulátorů s kinematikou paralelní.

Koncové efekторы se rozdělují do třech základních typů – technologické, manipulační a kombinované (speciální). Technologické typy mají přímý dopad na prostředí pomocí vykonané technologické operace (svařování, nanášení lepidel, lakování, šroubování) a nemají schopnost výrobek uchopit a přesunout. Typy manipulační jsou mechanické a automatické uchopovací zařízení pro manipulaci s výrobky. Kombinací předchozích dvou typů je získán kombinovaný koncový efektor.

S ohledem na předchozí rozdělení je stanoveno, že bude proveden návrh a konstrukce technologického koncového efektoru sloužícího pro utahování šroubů. Navíc, součástí efektoru bude Vision systém pro snímání okolí a detekci pozice šroubů určených k utažení. [10]

5.2 Analýza konkurenčních řešení efektorů

Před zahájením vlastní konstrukce koncového efektoru je vhodné nalézt některá z konkurenčních řešení, z kterých lze vyzorovat způsob provedení a počet nezbytných komponent používaných v konstrukci koncových efektorů pro automatické utahování šroubů automobilových sedadel. Nalezená konkurenční řešení se následně porovnají a zhodnotí. Tvorba vlastního návrhu bude provedena na základě zkušeností z již používaných koncových efektorů.

- Faude Automatisierungstechnik

Jedna možnost využití robotu UR5 v praxi je společností Universal Robots prezentována na pracovišti automatického utahování šroubů automobilových sedadel. Tato aplikace je implementována u společnosti Lear Corporation, dodavatele automobilových sedadel působícího v Německu. Dodavatelem koncového efektoru na toto pracoviště je společnost Faude Automatisierungstechnik.

Montážní robotizované pracoviště společnosti Lear je obdobné montážnímu pracovišti řešenému v této diplomové práci. Do robotizovaného pracoviště je dopravníkem dopravováno sedadlo se šrouby před-šroubovanými operátorem na předchozím pracovišti. Utahování šroubů je prováděno pomocí elektrického utahováku upnutého v koncovém efektoru. Elektrickým utahovákem je možné vyvinout na hlavu šroubu utahovací moment až 35 Nm. Utahovák má předem nastavený úhel natočení vřetene utahováku.

Pro automatické utahování šroubů je nutné najíždět nástrojem do přesných pozic šroubů s následným proces utahování. Protože pozice sedadel a v nich před-šroubovaných šroubů, není v průběhu montáže stálá, je třeba opatřit koncový efektor Vision systémem, který bude detekovat pozici každého šroubu u aktuálně montovaného sedadla. Z tohoto důvodu je na koncovém efektoru společnosti Faude použita kamera s objektivem pro 2D měření. Ta snímá pozici jednotlivých šroubů



k utahování. Kamerový systém je opatřen přídatným zdrojem světla. Funkčnost celého Vision systému byla před uvedením koncového efektoru do provozu společnostmi Lear a Faude pečlivě testována.

Samotná konstrukce koncového efektoru zobrazeného na obr. 22, je jednoduchým konstrukčním řešením. Základní deska efektoru je pomocí šroubů ustavena k přírubě robotu UR5. Elektrický utahovák je k základní desce upnut pomocí dvou stahovacích objímek a případné pootočení utahováku v objímkách je eliminováno uložení hlavy vřetene mezi dvěma ocelovými stěnami. Vision systém má v krytu chráněno přídatné kruhové osvětlení a kamera s objektivem je uložena v jeho středu. Krytí kamery je vyřešeno upínací deskou na jedné a dvěma kolíky na protější straně kamery. Uložení kamery s objektivem je na obr. 23. [17], [29]



Obr. 22: Koncový efektor společnosti Faude Automatisierungstechnik [29]

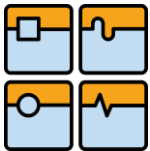


Obr. 23: Uložení kamery v efektoru Faude [29]

- Mont-Tech, s.r.o. Brno

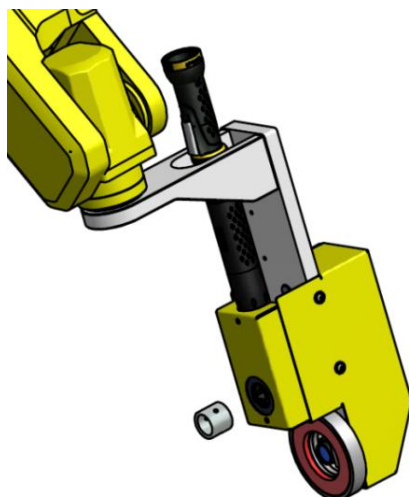
Zadavatel diplomové práce, společnost Mont-Tech, s.r.o. Brno má u jednoho ze svých zákazníků aplikováno robotizované pracoviště pro automatické utahování šroubů na automobilových sedadlech. Pracoviště bylo vybaveno průmyslovým robotem od výrobce FANUC, na kterém byl upnut koncovým efektořem pro automatické utahování šroubů. Tento koncový efektor je uveden na obr. 24. Z důvodu ochrany informací o vnitřním uspořádání koncového efektoru je vyobrazení efektoru uvedeno s kompletním krytím bez řezů a vnitřních pohledů.

Jedná se opět o utahování před-šroubovaných šroubů. Šrouby jsou utahovány pomocí elektrického úhlového utahováku s maximálním utahovacím momentem 50Nm. I zde je použito Vision systému, který je dodán přímo společností FANUC (iRVision systém). 2D snímání kamerou s objektivem o pevné ohniskové vzdálenosti je doplněno přídatným prstencovým osvětlením.



Hlavní výhodou této konstrukce koncového efektoru je možnost kompenzace nepřesností v poloze šroubu. Zatímco pozice osy šroubu je detekována pomocí iRVision systému, ručně před-šroubované šrouby nemají zaručenou vždy stejnou hloubku před-šroubování. Tím nastávají odchylky vzdálenosti hlavy šroubu od její dosedací plochy na rámu sedadla. Z tohoto důvodu má elektrický utahovák tohoto koncového efektoru při najíždění na hlavu šroubu možnost lineárního posuvu ve směru osy šroubu - utahovák je pevně ustaven na desce s čepy, které ve vztahu k hlavní desce efektoru zajišťují pouze lineární pohyb. Vracení desky s čepy do výchozí polohy je pomocí pružin. Stálá výchozí poloha utahováku při přejezdech koncového efektoru mezi šrouby je zajištěna pneumaticky.

Toto řešení eliminuje případné nárazy nástroje na hlavy utahovaných šroubů při najíždění. Řešení je šetrné jak k elektrickému nástroji a jeho redukci na přenesení utahovacího momentu na hlavu šroubu, tak i k silovému namáhání celé konstrukce koncového efektoru a robotu.



Obr. 24: Koncový efektor Mont-Tech, s.r.o. Brno

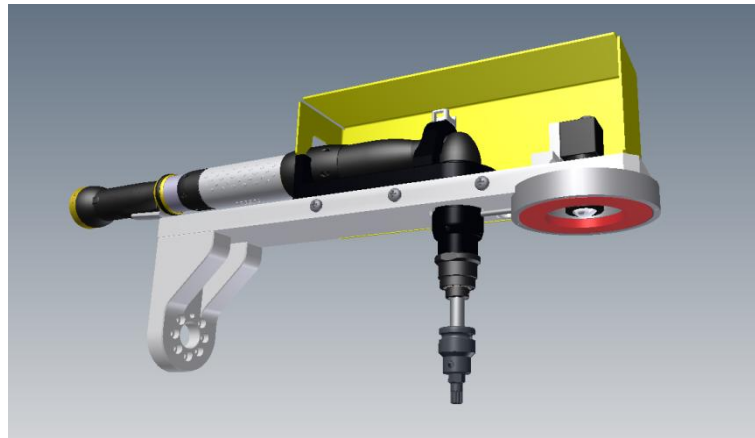
Nevýhodou, v porovnání s řešením od společnosti Faude, je složitá konstrukce koncového efektoru, nutnost přesné výroby částí zajišťujících lineární pohyb utahováku při nájezdu na hlavy šroubů, přidaná pneumatika a sensorika a v neposlední řadě větší velikost efektoru.

5.3 Koncový efektor pro robot FANUC

Návrh konstrukce vlastního koncového efektoru určeného pro průmyslový robot od společnosti FANUC (viz. Obr. 25) je složen ze základních nosných částí celé konstrukce a obslužných zařízení, která jsou chráněna pomocí plechového krytování.

Tělo koncového efektoru se skládá ze dvou částí spojených šroubovými spoji. Z upínací desky k výstupní přírubě robotu FANUC a hlavní desky těla efektoru. L-tvar těla koncového efektoru zlepšuje přístup nástroje na hlavy šroubů a eliminuje možnost kontaktu efektoru s rámem nebo polstrováním automobilového sedáku.

K hlavní desce efektoru jsou pevně ustavena obslužná zařízení, kterými jsou teleskopická kompenzační hlavice, elektrický uhlový utahovák a hardware Vision systému. Výběr a parametry těchto zařízení jsou uvedeny v následujícím textu.



Obr. 25: Koncový efektor pro robot FANUC

5.3.1 Teleskopická kompenzační hlavice

Pro uchování schopnosti kompenzace rozdílů v hloubce před-šroubování šroubů, kterou se chlubí koncový efektor od společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno, byla vyhledána u společnosti Atlas Copco teleskopická kompenzační hlavice. Tato hlavice zjednoduší konstrukční řešení a výrobu koncového efektoru. Teleskopická kompenzační hlavice je sestavena ze tří dílů, které jsou jednotlivě k zakoupení a dají se kombinovat s dalšími nabízenými nástavci.

Držák je nosnou částí hlavice. Ten je pomocí osmi šroubů uchycen k hlavní desce efektoru. Poloha elektrického úhlového utahováku je přesně definována pomocí objímky a přesného otvoru pro výstupní hřídel utahováku (utahovák je vybrán v následující podkapitole a je plně kompatibilní s touto hlavici).

Druhý díl je samotná teleskopická hlavice. Tato hlavice má na jedné straně lůžko pro uchycení výstupní hřídele elektrického utahováku a na straně druhé je opatřena přípojovacím rozměrem 1/2" pro nasazení redukce. Kompenzační hodnota hlavice je 25 mm a to pouze ve směru osy hřídele (tedy i šroubu).

Obě části teleskopické kompenzační hlavice jsou navzájem ustaveny do pevné polohy pomocí matice. [13]

5.3.2 Volba utahovacího nástroje

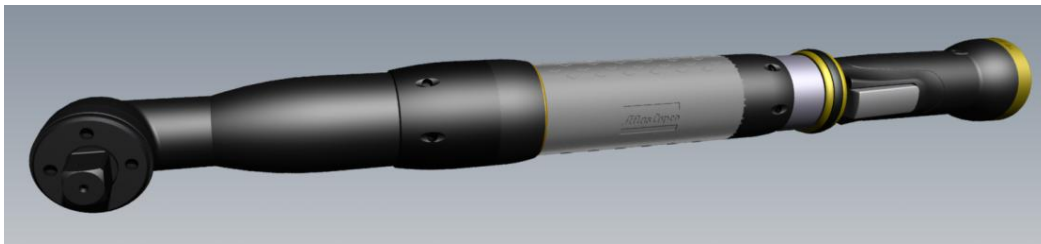
Operátor, který utahuje šrouby na montážním pracovišti pro utahování šroubů spoje opěradlo – sedák a spony pásu, používá nástroj od výrobce Atlas Copco označovaný jako elektrický úhlový utahovák. Jedná se o nástroj určený výhradně pro utahování šroubů do dřevěných, plastových a kovových materiálů. Vyznačuje se nízkou hmotností, dobrým vyvážením těla a úchopem. Díky těmto vlastnostem je vysoce hodnocen s ohledem na ergonomii a jednoduchost ovládání.

V těle utahováku se nachází motor Tensor vyvinutý výrobcem nástroje. Tento motor zajišťuje výjimečně vysokou rychlost vřetene, díky níž se výrazně zkracují montážní časy. Mezi oblastmi určenými pro uchopení utahováku operátorem se nachází žlutý mezičlánek vybavený LED diodami, které informují operátora o výsledku utažení šroubu. Pokud je šroub utažen správně, LED diody signalizují barvou zelenou, pokud je šroub utažen špatně, signalizují červeně.



Součástí utahováku je vnitřní sběrnice, která umožňuje propojení utahováku s inteligentním příslušenstvím (čtečky čárových kódů nebo voliče velikosti utahovacího momentu). Sběrnice navíc poskytuje možnost propojení nástroje přes řídicí jednotku utahováku s řídicím systémem robotizovaného pracoviště. Řídicí systém může zasílat do nástroje úkoly s informacemi o počtu šroubů k utažení a o definované hodnotě utahovacího momentu. Nástroj dokáže sám zaznamenat, zda bylo utaženo požadované množství šroubů a následně zaslat zpětnou vazbu o provedení zadaného úkolu i s hodnotami dosažených utahovacích momentů na každém utaženém šroubu.

Pro možnost přesného řízení jsou tyto nástroje velmi oblíbené u společností zabývajících se montážními procesy. I díky značné znalosti tohoto nástroje a dobré zkušenosti s jeho řízením, ergonomií a servisem, zadavatel diplomové práce určil přesný typ utahováku, který požaduje mít součástí koncového efektoru. Požadovaný elektrický úhlový utahovák je výrobkem švédské společnosti Atlas Copco a má výrobní označení ETV ST81-70-13 (viz. obr. 26).



Obr. 26: Elektrický úhlový utahovák ETV ST81-70-13

Tabulka s parametry tohoto modelu, doplněná o výkres s rozměry, je umístěna mezi přílohami (viz. Příloha č. 5). [13]

- Řídicí jednotka utahováku

Proces utahování šroubů elektrickým úhlovým utahovákem je řízen pomocí řídicího systému uloženého v jednotce, kterou je nutno vybrat a umístit do bezpečné zóny robotizovaného pracoviště.

Pro elektrické utahováky s motorem Tensor ST jsou k dispozici řídicí jednotky typu Power Focus 4000 a mají dvojí provedení a to Compact a Graph. Jednotky jsou určeny pro řízení procesu utahování jak u šroubů na zakázce kusové výroby, tak pro řízení montážního pracoviště nebo větších úseků montážní linky. Hardwarově i softwarově je řídicí jednotka koncipována pro základní samostatné použití i pro plnou integraci do podnikové sítě.

Programovací prostředí je pro programátora intuitivní a poskytuje možnost využití některých přeprogramovaných funkcí. Pomocí jedné řídicí jednotky lze řídit jeden nebo více utahováků (například uložených v montážním přípravku). Po obdržení příkazu k utahování řídicí jednotka rozbíhá program a v průběhu montáže kontroluje správné pořadí utahovaných šroubů, zaznamenává do grafů průběhy utahovacích momentů a kontroluje dodržení požadovaných utahovacích parametrů. Po dokončení procesu utahování pomocí síťového propojení zasílá naměřená data nadřazenému systému montážního pracoviště dále ke zpracování.

Schopnostmi v řízení, komunikaci s okolím a počtem řízených utahováků se provedení Compact a Graph od sebe neliší. Rozdíl se objeví až na samotném



robotizovaném pracovišti. Verze Graph pomocí barevného displaye a kompletní potřebné klávesnice povoluje programování a úpravu programů přímo na pracovišti bez nutné přítomnosti počítače. Display poskytuje náhled do parametrů probíhajícího procesu i do jejich historie operátorům, kontrolorům montážního procesu i podnikovému vedení. Vše je provedeno na velkém barevném display s možnostmi různých barevných vizualizací a grafů k výsledkům průběhu montáže.

Řídicí jednotka verze Compact obsahuje malý LED display se šesti tlačítky. Toto provedení poskytuje pouze základní korekci programu. Display zobrazuje hodnotu aktuálního utahovacího momentu a úhlového natočení včetně. K pokročilejšímu programování nebo náhledu do historie procesu utahování přímo na robotizovaném pracovišti je nezbytné použít počítač se softwarem. Omezený přístup do programovacího rozhraní pomocí řídicí jednotky přímo na robotizovaném pracovišti je důvodem, proč je přikloněno k výběru řídicí jednotky typu Power Focus 4000 Compact. Řídicí jednotka je zobrazena na obr. 27. [13]



Obr. 27: Řídicí jednotka Power Focus 4000 Compact [13]

- Redukce na přenos utahovacího momentu

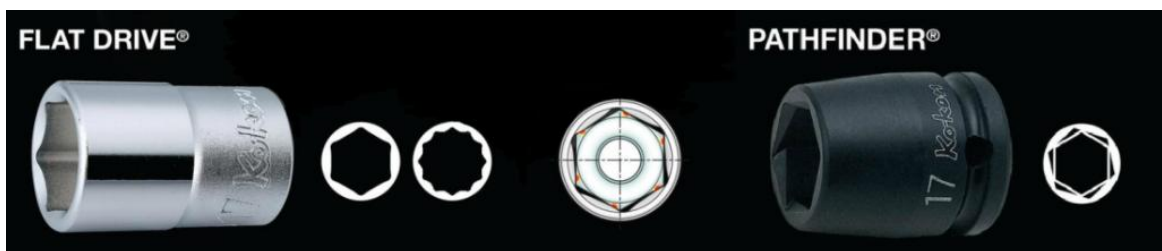
Úhlová hlava elektrického utahovačku, který byl zvolen za utahovací nástroj, má poháněné vřeteno, jehož výstupní hřídel je opatřena přípojovacím rozměrem 1/2" pro nasazení redukce. Redukce slouží pro navedení nástroje na hlavu šroubu s následným přenesením utahovacího momentu. Jedná se o typy nástavců známé z gola sady nářadí.

Jedním z výrobců těchto redukcí pro přenášení utahovacího momentu na šroub je japonská společnost Ko-Ken Tool Co., Ltd. Její nabízený sortiment je velmi obsáhlý. Počínaje nástrčnými utahovacími klíči, gola redukcemi a konče speciálními klíči s redukcí na řezání závitů.



Při montáži automobilového sedadla v kroku utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu, se používají dva druhy šroubů. V tomto návrhu zvolený robot utahuje šrouby s vnitřní hvězdicí. Protože se ale typ kompletovaných sedadel na řešeném pracovišti může časem změnit a s ním i typ utahovaných šroubů, bude zde popsána i redukce využívaná k utahování šroubů s šestihrannou hlavou.

Ve společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno se již objevilo konstrukční řešení pracoviště, kde pomocí elektrického utahováku upnutého v koncovém efektoru robotu byly utahovány šrouby se šestihrannou hlavou. Na tuto aplikaci byly testovány dvě redukce ze sortimentu Ko-Ken Tool Co. První pod označením Flat Drive (viz. Obr. 28), která je navržena pro utahování šroubů s hlavou čtvercovou, šestihrannou a dvanáctihrannou. Tvar ploch uvnitř redukce při přenášení utahovacího momentu zajišťuje styk pouze mezi plochami. Díky tomuto návrhu redukce zvládne přenášet vyšší utahovací momenty na hlavu šroubu bez známek jejího poškození. Testy utahování pomocí redukce Flat Drive odhalily vadu v okamžiku navádění otáčející se redukce na hlavu šroubu. Zde docházelo k časovým prodlevám, protože nasazení redukce na hlavu šroubu nebylo plynulé.



Obr. 28: Redukce Flat Drive a PathFinder [16]

Volbou redukce, určené pro plynulé navádění na hlavy šroubů, typu PathFinder, zobrazené na obr. 28, bylo dosaženo plynulosti nasazování redukce na hlavu šroubu. Redukce má nástrčnou hranu sraženou a vnitřní šestihran je zpočátku mírně stočen do spirály. Redukce typu PathFinder bude zvolena v případě změny šroubů na šrouby s šestihrannou hlavou.

Pro stávající variantu sedadla, které má šrouby s vnitřní hvězdicí, je vybrána redukce s výrobním označením 14105-11 (XZN)-M8 (viz. Obr. 29). Vybraná redukce patří do řady Impact Sockets určené pro použití v přístrojích. Pro ruční utahování je určena řada Hand. Délka těla této redukce je 60mm a je určena pro šrouby se závitem M8. Připojovací rozměr odpovídá hodnotě 1/2", která je použita na výstupní hřídeli zvoleného elektrického utahováku. [16]



Obr. 29: Redukce od výrobce Ko-Ken Tool [16]

5.3.3 Volba Vision systému pro robot FANUC

Plně automatické utahování šroubů vyžaduje zařízení, které je schopné sledovat snímanou scénu, najít hledané šrouby a definovat jejich pozici a orientaci - převede obraz nasnímané scény na data, která zašle do řídicích systémů okolních zařízení (průmyslový robot). Řídicí systémy na základě obdržených dat provedou svůj zadaný úkol s požadovanou korekcí umístění hledaných šroubů. Ideálním řešením této situace je Vision systém.

Společnost FANUC ke svým průmyslovým robotům dodává v případě potřeby vlastní iRVision systém. Ten se skládá ze softwaru plně kompatibilního s řídicím systémem průmyslového robotu FANUC a z hardwaru, které je vybírán dle specifikované oblasti použití.

Základními oblastmi použití, která společnost FANUC rozlišuje, jsou standardní 2D kamerový proces, depaletizační 2½D kamerový proces, 3D kamerový proces a vizuální sledování dopravníků pomocí 2D kamery.

Pro aplikaci automatického utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu bude použito standardního 2D kamerového procesu. Společnost FANUC dodá po bližší dohodě kameru, objektiv a umožní přístup k programovacímu softwaru pomocí internetu. Přídavný zdroj osvětlení není společností FANUC dodáván, a proto musí být vybrán dodatečně. [23]

- Kamera

Výběr kamery byl usnadněn společností FANUC, která zaslala kameru SONY s výrobním označením XC-56. Důvodem pro zaslání této kamery byl požadavek ze strany zákazníka, který si zadal vypracování navrhovaného robotizovaného pracoviště u společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno. Pravděpodobně kamery tohoto typu v současnosti využívá i u jiných aplikací s Vision systémem, a tak chce sjednotit používané typy kamer. Odpadá tím nezbytně nutné skladování několika typů kamer od různých výrobců, které musí být k dispozici v případě nucené výměny při nefunkčnosti jedné z nich.

Jedná se o černobílou kameru s rozlišením 659x494 pixelů. Rychlost pořizování snímků je v počtu 30/sekundu. Využívá CCD snímací senzor a závit pro připevnění objektivu typu C-mount. Je vysoce odolná vůči rázům a vibracím. Pro svou váhu 50 g a rozměry 29x29x30 mm (Šířka x Výška x Délka) je vhodná pro implementaci do Vision systémů průmyslového využití.

Kamera SONY XC-56 je zobrazena na obr. 30. [32]



Obr. 30: Kamera SONY XC-56 [32]



Objektiv

Ke kameře byl po výsledcích z testování vybrán objektiv pro průmyslové využití od společnosti GOYO OPTICAL INC. Objektiv má výrobní označení GMN36014MCN-1. Jedná se o objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností 6 mm a světelností objektivu F1.4 – 16. Objektiv je dodáván bez předsazených filtrů. Závit pro spojení s kamerou je typu C-mount. Technická specifikace viz. Příloha č. 6.

Robustnější tělo pro použití objektivu v podmínkách průmyslu má velmi malé rozměry. Průměr těla objektivu je 30 mm s délkou 33 mm. Váha 65 g. [33]

- Software

Programovací software iRVision systému, dodaného společností FANUC, je nutné pomocí PC a přístupu k internetu nainstalovat do počítače. Vše je chráněno přístupovými hesly, která FANUC poskytuje v balení společně se systémem. Přes IP adresu se programátor propojuje se softwarem, kamerou a robotem. Nainstalovaná licence není přenosná na další Vision systémy.

Programovací prostředí je velice uživatelsky příjemné, přehledné a nabízí širokou škálu nastavení a přeprogramovaných procesů zpracování obrazu. Okno vizualizace ukazuje real-time obraz snímáný kamerou, pořízené snímky i zobrazení výsledků z provedených měření, lokalizací a dalších testů.

Výsledná data z procesu zpracování obrazu software zasílá do řídicího systému průmyslového robotu. Software iRVision systému je plně kompatibilní s řídicím systémem robotu FANUC a poskytuje rychlou vzájemnou komunikaci bez dalších zásuvných modulů a nainstalovaných ovladačů. [23]

- Osvětlení

Až 90% podíl na správné funkci Vision systému má vhodný výběr typu, barvy a geometrie zdroje osvětlení.

Pro tuto aplikaci bylo vybráno osvětlení od výrobce BALLUFF s typovým označením BAE000J. Jedná se o osvětlení kruhového tvaru tvořeného z prstenců LED diod, které mají stálou intenzitu osvětlení a rychlou reakci bez prodlev na rozsvícení a zhasnutí osvětlení (i o velmi krátkém časovém intervalu). Osvětlení ozařuje snímávanou scénu světlem červené barvy. Osvětlení je určeno pro použití v aplikacích Vision systémů.

Pro rozrušení přímého světla na snímávanou scénu tvořenou kovovými součástmi a tím zamezení významným rušivým světelným odleskům, byl vybrán optický filtr BVS typového označení BAM01A7. Jedná se o provedení s rozptylovým sklem.

Vybraný zdroj osvětlení spolu s optickým filtrem jsou uvedeny na obr. 31. [31]



Obr. 31: Osvětlení a optický filtr BALLUFF [31]



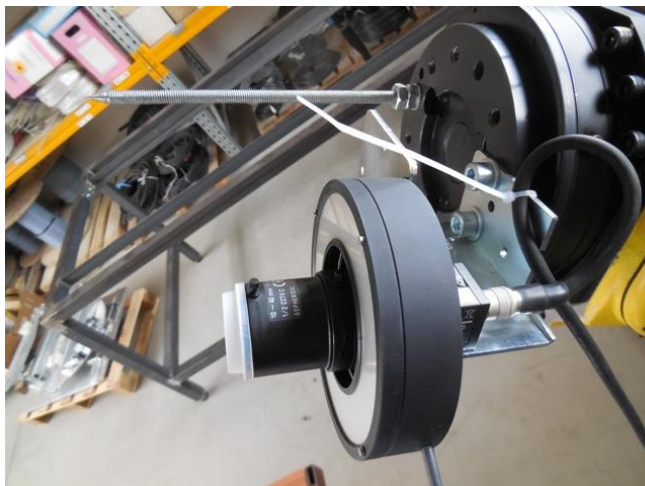
5.3.4 Testování zvoleného iRVision systému

Společnost IVAR a.s. Brno, blízce spolupracující se společností Mont-Tech, s.r.o. Brno, pro své zaměstnance pořádala školení v programování průmyslových robotů značky FANUC. Spolu s určováním souřadných systémů nástroje a obrobku, učením průjezdových bodů a drah koncového efektoru a ovládání robotu pomocí iPendantu, byl jeden školící den věnován nastavení iRVision systému s aplikací navádění koncového efektoru průmyslového robotu do přesné polohy. Školení iRVision systému na žádost probíhalo na aplikaci automatického utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu.

Ve výrobní hale byl pevně ukotven průmyslový robot FANUC R 2000iB 210F a do jeho blízkosti ustaven svařovaný rám s rozměry simulujícími dopravník. Na dopravník byla položena technologická otočná naklápěcí paleta s upnutým rámem automobilového sedadla a s ručně před-šroubovanými šrouby spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Typ použitého rámu automobilového sedadla a technologické palety je totožný s používanými rámy a paletami na montážním pracovišti, které je aktuálně řešeno v návrhu robotizovaného pracoviště (viz. Obr. 7 a Obr. 15).

Na výstupní přírubu průmyslového robotu byl pomocí šroubů připevněn jednoduchý plechový držák pro hardware Vision systému a našroubován ocelový hrot, který simuloval elektrický úhlový utahovák s teleskopickou hlavicí a redukcí. Definice rozměru hrotu proběhla pomocí ořukávání s pevně ustaveným jehlanem. Data z kalibrace hrotu (nástroje) zaznamenával řídicí systém robotu FANUC.

Hardware Vision systému byl sestaven z kamery a zdroje osvětlení specifikovaných v kapitole „5.3.3 Volba Vision systému pro robot FANUC“. Pouze první zkoušky systému proběhly s objektivu typu KEYENCE ½ CCTV C ASPHERICAL IR s ohniskovou vzdáleností 10 – 40mm. Příruba robotu s příslušenstvím a v pozadí rám simulující dopravník je na obr. 32.



Obr. 32: Hardware na přírubě robotu FANUC v době testování

Na pevnou plastovou desku připevněnou k rámu sedadla byla nalepena kalibrační mřížka pro Vision systém se středem v ose jednoho z utahovaných šroubů. Z 3D modelu pracoviště byly odměřeny dovolené vzdálenosti objektivu od sedadla, aby bylo docíleno shodných podmínek s navrhovaným pracovištěm. Nastavení vzdálenosti hrany objektivu od rámu sedadla o hodnotě 180 mm bylo



provedeno. Po zaostření mřížky a nastavení expozice na objektivu se objevil problém s nedostatečnou velikostí snímané oblasti. Problém vyřešila výměna objektivu KEYENCE za objektiv GOYO OPTICAL INC. GMN36014MCN-1.

Kalibrace Vision systému probíhala najížděním ocelového hrotu na středy bodů kalibrační mřížky v přesně stanoveném pořadí. Daný postup kalibrace je uveden v manuálu iRVision systému. Po dokončení kalibrace se pevná deska s nalepenou kalibrační mřížkou zaměnila za šroub určený k utahování.

Průběh kalibrace byl nadefinován v programovacím softwaru Vision systému a následovalo pořízení prvních snímků utahovaného šroubu. Pomocí před-programovaných funkcí byla čtvercovým výběrovým oknem určena oblast vyhledávání. Hledání hlavy šroubu proběhlo pomocí detekce výrazného mezikruží. Ostatní hrany, které by mohly sloužit k vyhledání pozice šroubů, se ručně smazaly. V dalším vyhodnocování snímků se smazané hrany neobjevovaly. Detekované zelené hrany a červeně překryté hrany nechtěné jsou uvedeny na obr. 33.

Následovala testování hledání šroubů. Překvapivě se nalezené oblasti šroubů shodovaly s nadefinovanou předlohou v hodnotě 99,8%. Následně byl program upraven, kdy se hledaly v jednom snímku dva šrouby. Zde bylo docíleno shody s předlohou 99,4% na jednom (šroub umístěný v poloze středu kalibrační mřížky) a 97,8% na druhém nalezeném šroubu. To odpovídá i následné přesnosti navedení koncového efektoru robotu na středy hledaných šroubů.



Obr. 33: Detekované hrany s odstraněním okolních šumů

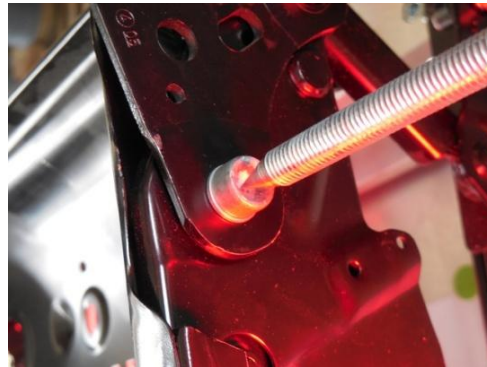
Montované sedadlo má možnost polohování ve dvou na sebe kolmých osách. Jedná se o posuv ve směru jízdy vozidla a výškové nastavení. Poloha sedadla není v průběhu montáže zajištěna ve stálé poloze, a proto proběhlo testování v hledání jednoho šroubu (z pozice středu kalibrační mřížky) s polohováním sedadla do krajních poloh. Snímaná oblast byla po celou dobu dostačující.

Druhý šroub a případně šroub spony pásu nebylo možné v některých polohách nasnímat a tím hodnotit jejich pozici. Protože se ale sedadlo polohuje pouze ve dvou osách a vzdálenosti se mezi šrouby nemění, byl zaveden ofset mezi snímaným šroubem a zbylými šrouby k utažení. Tím se na jeden snímek hodnotí poloha pouze jednoho šroubu a následně pomocí konstantního ofsetu se najíždí na polohu šroubu druhého, případně i na šroub u spony pásu.

Zkoušeno bylo programování pomocí iPendantu v procesu snímání scény, hledání pozice a najíždění trnu na hlavy šroubů. Nejprve se postupovalo v režimu ručního řízení. Na závěr byl celý proces několikrát ozkoušen i v režimu plně automatickém. Přesnost polohování trnu na hlavu šroubu určeného ofsetem, s robotem v plně automatickém režimu, je zobrazena na obr. 34.



Celý průběh testování Vision systému zvoleného pro koncový efektor robotu FANUC, který zde byl popsán, je v přílohách uveden obrazovou formou pro doplnění tohoto textu (viz. Příloha č. 8).

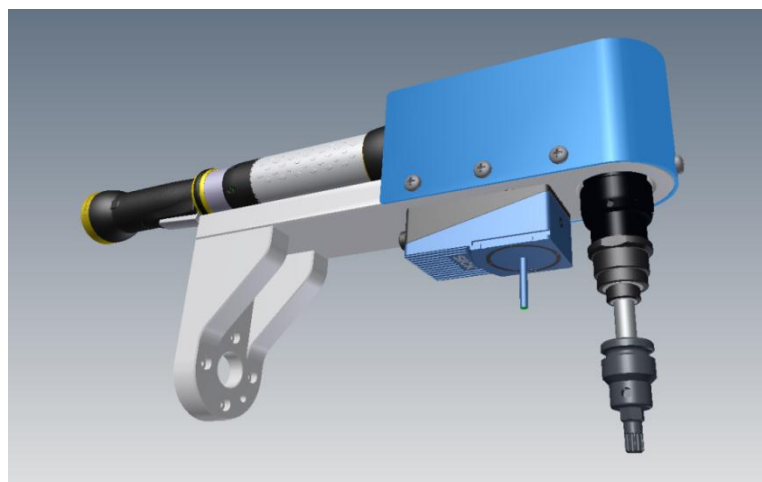


Obr. 34: Ocelový trn automaticky naváděný na střed hlavy šroubu

5.4 Koncový efektor pro robot UR

Návrh konstrukce koncového efektoru pro robot UR10 (viz. Obr. 35) je obdobný konstrukčnímu řešení koncového efektoru pro robot FANUC. Jedinou výraznou změnou v konstrukce jsou menší rozměry efektoru. Těch bylo dosaženo nutnou výměnou hardwaru Vision systému a změnou jeho umístění.

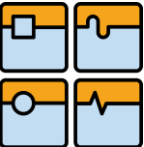
Kompenzační teleskopická hlavice, elektrický uhlový utahovák a redukce jsou použity stejných typů, jako u efektoru pro robot FANUC.



Obr. 35: Koncový efektor pro robot UR

5.4.1 Volba Vision systému pro robot UR

Výběr Vision systému pro koncový efektor robotu UR má jedno významné úskalí. Oproti FANUCu společnost Universal Robots nenabízí žádný hardware ani software, který by byl plně kompatibilní s řídicím systémem robotů UR.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Jednou z variant je použití totožného hardwaru jako u efektoru pro robot FANUC. Programovací Vision software může být zakoupen u komerčních vývojářů, jakými jsou například National Instruments, Matrox, Sherlock a další. Problém je ve výši pořizovací ceny těchto softwarů. Není zde mimo jiné plná záruka, že zakoupený software bude plně kompatibilní s vybraným hardwarem Vision systému a s řídicím systémem robotů Universal Robots. Může se stát, že zakoupený software nebude obsahovat potřebné programovací nástroje, které jsou potřeba pro 2D detekci pozice hledaných šroubů.

Vývoj vlastního programovacího softwaru pro Vision systém je velice náročný na pracovní kapacity a jejich pokročilé znalosti v programovacích jazycích a znalosti v problematice Vision systémů/softwarů. Vývoj je také velmi finančně náročný a hodí se spíše pro výzkumnou činnost. V průmyslové praxi se raději kloní k zakoupení komerčního softwaru od společností s dlouholetou tradicí.

Nakonec tento problém byl vyřešen výběrem Vision systému od společnosti SICK. Ta mezi svými produkty nabízí systémy pro 2D snímání. Po bližší specifikaci v katalogu je nalezen Vision systém typového označení SICK Inspector PI50-IR zobrazený na obr. 36.

Jedná se o Vision systém určený ke kalibraci a navádění průmyslových robotů, tedy je určen pro vyhledávání pozic objektů pomocí definovaných vzorů, naučených hran a pixelů. Dokáže vyhodnotit nasnímané obrazy dle zadaných úkolů a informovat o provedení úkolu formou vyhověl/nehověl. Dokonce může vypisovat pozice hledaných objektů v jednotkách mm pro osy X a Y. Vision systém umí komunikovat s okolními zařízeními a jejich řídicími systémy.



Obr. 36: Kamera SICK Inspector PI50-IR [30]

Hardwarově se jedná o malé kompaktní tělo, které obsahuje řídicí systém, kameru, objektiv a zdroj osvětlení. Kamera je černobílá a rozlišením 640x480 pixelů, běžně zvládá pořídit 40 snímků za sekundu a snímá od vzdálenosti 50 mm. Objektiv má pevnou ohniskovou vzdálenost 10 mm. Osvětlení je červené barvy. Objektiv a zdroj osvětlení jsou vyměnitelné. To pro případ, kdy vybrané parametry nejsou pro požadovanou aplikaci vyhovující. Bližší specifikace je uvedena v Příloha č. 7.

Funkce kamery se programuje v softwaru po propojení kamery s PC. Software obsahuje základní funkce, je přehledný a pro programátora intuitivní. Po vytvoření požadované aplikace se PC odpojí a bez jeho přítomnosti Vision systém pracuje po celou dobu zcela samostatně. [30]



6 ZÁKLADNÍ VÝPOČET KRITICKÝCH KOMPONENT

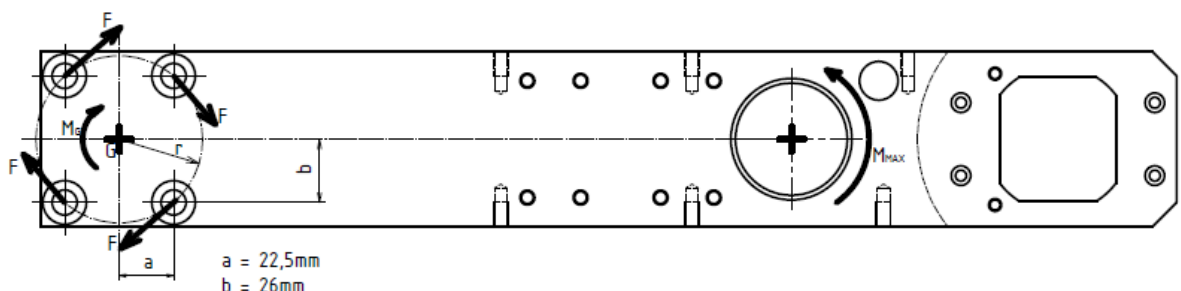
Za kritickou komponentu navrhovaného robotizovaného pracoviště s ohledem na utahování šroubů lze označit navržený koncový efektor. Efektor je namáhán od přitlačné síly působící mezi redukcí a hlavou utahovaného šroubu a přenášeným utahovacím momentem od elektrického utahováku.

Přítlačná síla mezi redukcí a hlavou utahovaného šroubů je oproti konkurenčnímu koncovému efektoru výrobce Faude Automatisierungstechnik minimalizována díky teleskopické kompenzační hlavici. Síla na efektor v ose šroubu je velikosti odpovídající síle pružiny, která vrací kompenzační hlavici do výchozí polohy. Velikost síly vyvozené od této pružiny není společností Atlas Copco uvedena.

Zásadním parametrem pro namáhání koncového efektoru je utahovací moment vyvozený elektrickým uhlovým utahovákem. Ten při maximálním výkonu utahováku nabývá hodnoty až 80 Nm. Prostřednictvím držáku kompenzační hlavice, ve kterém je elektrický utahovák upnut, se přenáší tento moment do celé konstrukce koncového efektoru. Tuhost konstrukce koncového efektoru je ověřena následujícím analytickým výpočtem a provedením výpočtu pomocí simulačního softwaru.

- Analytický výpočet

Analytický výpočet je zaměřen na výpočet šroubového spoje základní desky s deskou ukotvenou k přírubě průmyslového robotu. Spoj je proveden pomocí čtyř šroubů M10x30. Cílem je vypočítat hodnotu minimálního utahovacího momentu pro tyto čtyři šrouby. Utažením šroubů vypočteným utahovacím momentem bude docíleno předpětí ve šroubech, které zajistí přenesení utahovacího momentu od elektrického utahováku ze základní desky na desku ukotvenou k přírubě přes jejich vzájemné plochy dotyku. Tím nebudou šrouby namáhány působením utahovacího momentu od utahováku. Nákres základní desky s označením působení maximálního momentu od elektrického uhlového utahováku a od něho vyvolané síly na šrouby M10, jsou znázorněny na obr. 37. Výpočet šroubového spoje dvou desek vyrobených z hliníku je následující:



Obr. 37: Síly působící na šrouby od max. momentu elektrického utahováku

➤ *Maximální moment od elektrického uhlového utahováku:*

$$M_{MAX} = 80 \text{ Nm}$$

➤ *Reakční moment v těžišti šroubového spoje:*

$$M_G = M_{MAX} = 80 \text{ Nm}$$



DIPLOMOVÁ PRÁCE

- Poloměr roztečné kružnice šroubů:

$$r = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{22,5^2 + 26^2} = 34,38 \text{ mm}$$

- Síla působící na každý šroub od momentu M_G :

$$F = \frac{2 * M_G}{2 * r * i} = \frac{2 * 80}{2 * 34,38 * 4} = 581,73 \text{ N}$$

kde: i počet šroubů ve spoji

- Síla potřebná pro předpětí jednoho šroubu:

$$F_i = \frac{k_n * F}{f_s} = \frac{1,5 * 581,73}{1,05} = 831,04 \text{ N}$$

kde: k_nnávrhový součinitel (voleno 1,5)

f_ssoučinitel tření mezi materiály desek (1,05 – 1,35 pro hliník-hliník)

- Stoupání jednochodého závitu:

$$P_h = P = 1,5 \text{ mm}$$

kde: Prozteč šroubu ($P = 1,5 \text{ mm}$ pro šroub M10)

- Výška základního trojúhelníku v závitu:

$$H = 0,5 * \sqrt{3} * P = 1,299 \text{ mm}$$

- Střední průměr závitu šroubu:

$$d_2 = d - \frac{3}{4} * H = 10 - \frac{3}{4} * 1,299 = 9,026 \text{ mm}$$

kde: dprůměr šroubu ($d = 10 \text{ mm}$ pro šroub M10)

- Moment nutný pro překonání tření v závitech při utahování šroubu:

$$M_z = \frac{F_i * d_2}{2} * \left[\frac{P_h + \pi * f * d_2 * \sec\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi * d_2 - f * P_h * \sec\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right] =$$

$$= \frac{831,04 * 9,026}{2} * \left[\frac{1,5 + \pi * 0,61 * 9,026 * \sec\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}{\pi * 9,026 - 0,61 * 1,5 * \sec\left(\frac{60^\circ}{2}\right)} \right] = 2950,07 \text{ Nmm}$$

kde: fsoučinitel tření v závitech (0,61 pro hliník-ocel)

αúhel metrického závitu dle ISO ($\alpha = 60^\circ$)

\sec $\sec = 1/\cos$



- *Střední průměr mezikruží dosedací plochy pod hlavou šroubu:*

$$d_0 = \frac{s + d_h}{2} = \frac{16 + 10,5}{2} = 13,25 \text{ mm}$$

kde: s..... průměr zápuštěné hlavy šroubu (s = 16 mm pro šroub M10)
d_h..... průměr průchozí díry pro šroub (d_h = 10,5 mm pro šroub M10)

- *Moment nutný pro překonání tření pod hlavou šroubu při utahování:*

$$M_0 = \frac{F_i * f_0 * d_0}{2} = \frac{831,04 * 0,61 * 13,25}{2} = 3358,44 \text{ Nmm}$$

kde: f₀..... součinitel tření mezi deskou a hlavou šroubu (0,61 pro hliník-ocel)

- *Minimální utahovací moment na každý šroub spoje za vzniku žádaného předepnutí šroubu:*

$$M = M_z + M_0 = 2950,07 + 3358,44 = 6308,51 \text{ Nmm} = 6,31 \text{ Nm}$$

Každý šroub šroubového spoje základní deska – deska ukotvená k přírubě průmyslového robotu musí být utažený pod minimálním utahovacím momentem o hodnotě M = 6,31 Nm. Uťahovací moment zajistí předepnutí ve šroubech a tím silový spoj mezi kontaktními plochami obou desek. Tento silový spoj bude přenášet namáhání vyvozené od elektrického uhlového utahováku.

Kontrola šroubů na pevnost při působení vypočtené síly předpětí ve šroubu a působení momentu nutného pro překonání tření v závitech při utahování, je následující:

- *Napětí od síly předpětí:*

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_s} = \frac{831,04}{58} = 14,328 \text{ MPa}$$

kde: A_s..... výpočtový průřez šroubu (A_s = 58 mm² pro šroub M10)

- *Malý průměr ve vrcholu zaoblení závitového dna:*

$$d_3 = d - \frac{17}{12} * H = 10 - \frac{17}{12} * 1,299 = 8,16 \text{ mm}$$

- *Smykové napětí ve šroubu:*

$$\tau = \frac{16 * M_z}{\pi * d_3^3} = \frac{16 * 2950,07}{\pi * 543,34} = 27,652 \text{ MPa}$$

- *Redukované napětí:*

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_i^2 + 3 * \tau^2} = \sqrt{14,328^2 + 3 * 27,652^2} = 49,992 \text{ MPa}$$

- Smluvní mez kluzu pro šroub M10 z materiálu v pevnostní třídě 8.8:

$$R_{p0,2} = 640 \text{ MPa}$$

- Součinitel bezpečnosti vůči meznímu stavu:

$$k_k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{640}{49,992} = 12,8$$

Součinitel bezpečnosti vůči meznímu stavu namáhání šroubů byl vypočítán s výsledkem 12,8. Toto číslo nám značí, že použité šrouby pro spoj obou desek jsou předimenzované na mezní stavy od působícího namáhání a jsou zcela vyhovující.

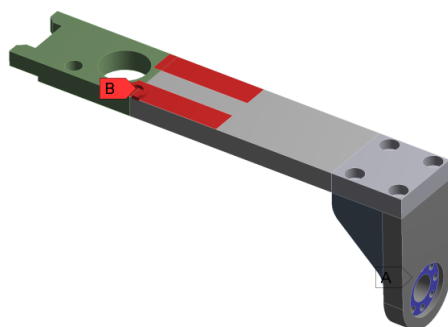
- Výpočet pomocí simulačního softwaru ANSYS

Výpočty namáhání celé konstrukce koncového efektoru a analýza namáhání v oblasti výstužných žebér by byla pomocí analytického výpočtu velice náročná. Z tohoto důvodu byla provedena simulace zatížení koncového efektoru s následnými výpočty namáhání v simulačním softwaru ANSYS Workbench.

Zde vyvstal problém s neznalostí ovládání těchto simulačních programů. O správné nastavení simulace, provedení výpočtů a zobrazení získaných výsledků byl požádán pan Bc. Ivan Jeník, student závěrečného ročníku magisterského studia na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky na Vysokém učení technickém v Brně.

3D modely konstrukce efektoru byly převedeny do formátu .stp a nahrány do simulačního softwaru, kde se pro výpočet zjednodušily (zaslepení závitových otvorů pro šrouby krytování) a vzájemně provázaly pomocí vazeb.

Šroubový spoj obou desek konstrukce efektoru byl vypočítán analyticky k dosažení silového kontaktu stykových ploch pomocí předepnutých šroubů. I díky těmto podmínkám byly vazby mezi oběma deskami definovány jako jeden svařený celek, čímž se zjednodušila simulace a zároveň se výrazně neodklonila od reálné situace.



Obr. 38: Definice parametrů na modelu těla koncového efektoru

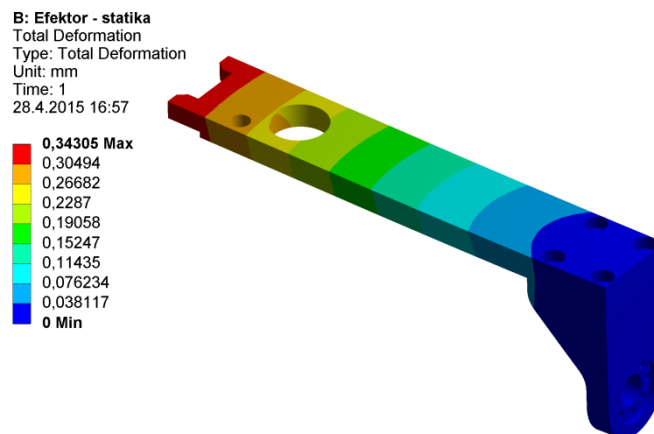
Charakter zatěžování konstrukce koncového efektoru znázorňuje obr. 38. Odkaz A a modře zbarvená plocha značí definici pevného vetknutí konstrukce k výstupní přírubě průmyslového robotu. Dvěma červeným oblastem s označením B je nastaveno namáhání celé konstrukce momentem o hodnotě $M_{MAX} = 80 \text{ Nm}$. Červené plochy obdélníkového tvaru odpovídají ploše pod osmi šrouby, kterými je



ustavena teleskopická kompenzační hlavice spolu s upnutým elektrickým utahovákem k základní desce efektoru.

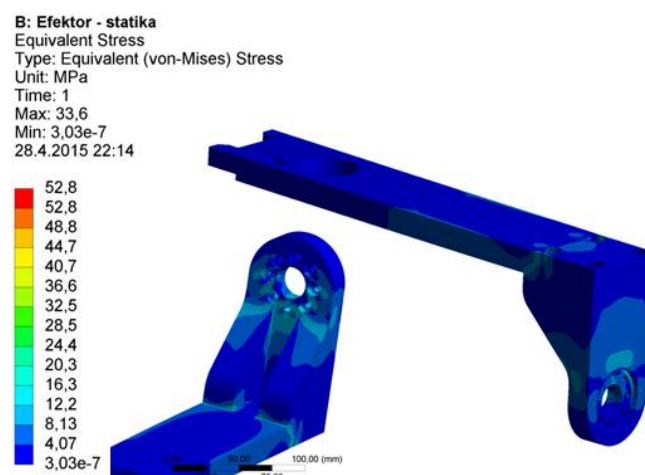
Spolu s nastavením mřížky udávající rozdělení modelu na malé části (čím jemnější mřížka, tím přesnější výsledky simulace a vyšší náročnost výpočtu) byla spuštěna simulace a výpočet efektů zatížení na konstrukci koncového efektoru.

V situaci, kdy by elektrický uhlavý utahovák dosáhl svého maximálního utahovacího momentu, konstrukce koncového efektoru se deformuje v hodnotách uvedených na obr. 39. Míru deformace značí barevná vizualizace a škála uvedená na levé straně obrázku. Software vypočítal, že deformace konstrukce efektoru pevně ukotveného na přírubě průmyslového robotu je v oblasti osy nástroje (osy utahovaného šroubu sedadla) v hodnotě pouhých 0,24 mm.

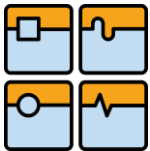


Obr. 39: Deformace konstrukce efektoru

Druhým výstupem provedené simulace byl průběh redukovaného napětí v konstrukci efektoru pod zatížením. Opět barevná vizualizace s přiřazenou škálou se nachází na obr. 40. Nejvyšší hodnoty napětí se nacházejí v rozmezí kolem 15MPa a objevují se v oblastech přechodu desek na výztužná žebra. Mez pevnosti hliníku v tahu je přibližně 450 MPa a v kluzu 300 MPa, a proto je tato konstrukce pod zatížením dostatečně pevná. [13], [34], [35]



Obr. 40: Redukované napětí v konstrukci koncového efektoru



7 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ S PR FANUC

Prvním návrhem robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu je návrh s využitím průmyslového robotu FANUC M-20iA/35M jako základním prvkem robotizovaného pracoviště. Vizualizace vypracovaného návrhu je na obr. 41.



Obr. 41: Návrh robotizovaného pracoviště s průmyslovým robotem FANUC

7.1 Hlavní části robotizovaného pracoviště s PR FANUC

Z obrázku výše uvedeného (viz. Obr. 41) je viditelné použití prvků, které byly vybírány a popsány v předchozích kapitolách. Lze si povšimnout průmyslového robotu FANUC M-20iA/35M a jeho řídicí jednotky R-30iB zabudované do svařovaného standu robotu. Dále v popředí je na ochranném rámu robotizovaného pracoviště uchycena řídicí jednotka elektrického uhlového utahováku Atlas Copco. Navržený koncový efektor pro robot FANUC je samozřejmě ustaven k výstupní přírubě průmyslového robotu.

- Stand

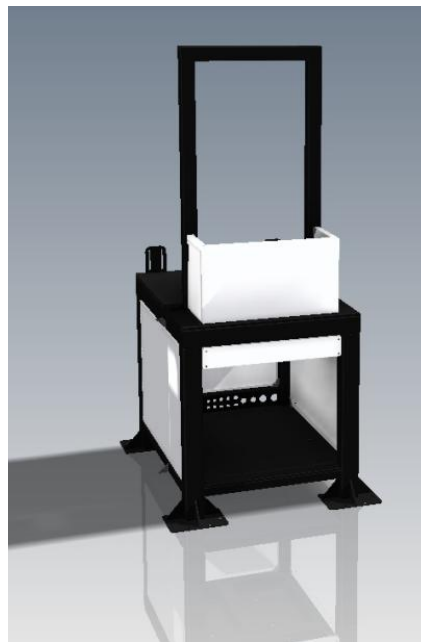
Stand průmyslového robotu, nebo též stojan či stůl pro ukotvení průmyslového robotu a zajištění jeho stability je navržen jako svařenec (viz. Obr. 42). Hlavní obdélníková kostra a tři výztuhy pod upínací deskou jsou svařeny z ocelových profilů 80x80x3. Průmyslový robot je ustaven na ocelové desce tloušťky 25mm. Nad upínací desku vystupují profily 60x60x2, na které je pomocí šroubů připevněn hlavní rozvaděč robotizovaného pracoviště.

Do rozvaděče je vedena elektroinstalace nezbytná pro chod pracoviště. Přístup kabeláže do rozvaděče je umožněn pomocí lišty na zadní stěně standu a dostatečně velkým otvorem na okraji upínací ocelové desky.



Pro zamezení nežádoucího vniknutí operátora do oblasti elektrických rozvodů pracoviště a k samotné řídicí jednotce průmyslového robotu FANUC, stand je opatřen plechovými kryty.

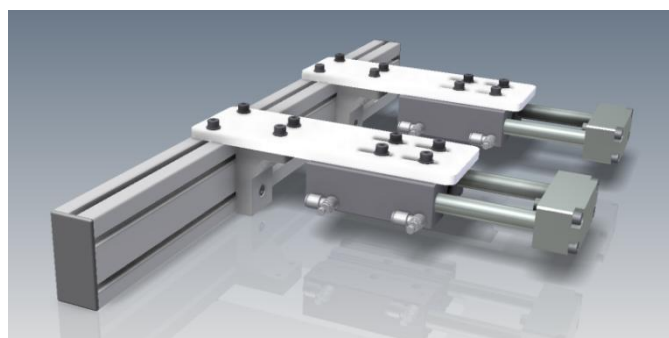
Spodní část standu je v kontaktu s podlahou montážní haly prostřednictvím přivařených patek tloušťky 8mm. Pro vyšší tuhost jsou patky doplněny výztužnými žebry. K ukotvení celého standu je každá patka opatřena čtyřmi otvory pro průchod kotvicích šroubů průměru 12mm.



Obr. 42: Stand průmyslového robotu FANUC

- Upínání palety

Po uplynutí pracovního taktu montážní linky se spouští chod dopravníku a provádí se výměna technologických otočných naklápacích palet s upnutými automobilovými sedadly. Po zastavení dopravníku znovu začíná pracovní takt a operátoři na svých pracovištích odvádějí svou práci. Aby mohli kvalitně pracovat, montážní linka po zastavení palet, díky své konstrukci, zamezí jejich následným posuvům. Z tohoto důvodu můžeme označit použití upínání technologické palety jako jistící prvek montáže na robotizovaném pracovišti.

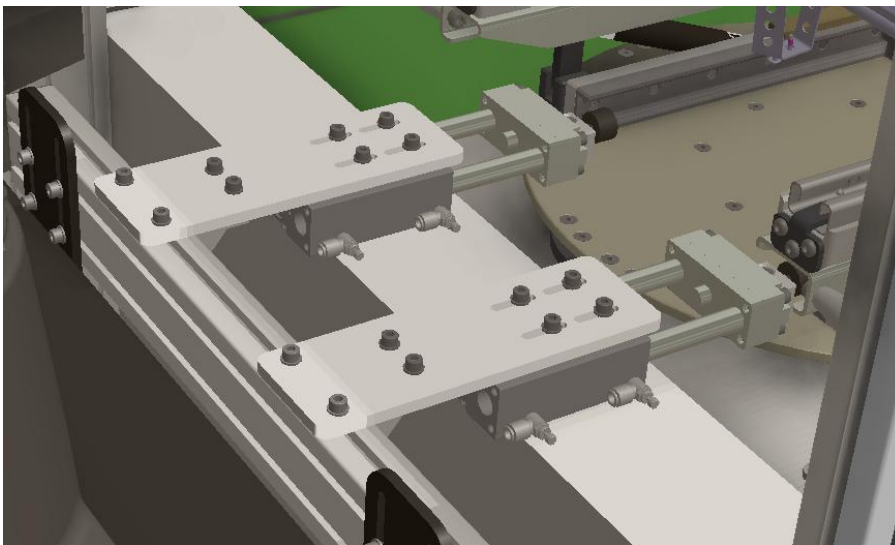


Obr. 43: Upínání technologický otočné naklápací palety



Sestava pro upínání technologické palety, zobrazená na obr. 43, má jako hlavní akční člen použity dva kompaktní pneumatické válce SMC MGPM32-100. Tyto válce u výsuvného pohybu dosahují síly 500 N při pracovním tlaku 0,6 - 0,8 MPa. Touto silou válce přes upnutou ocelovou desku přenášejí sílu na paletu. Paleta je vlivem působící síly tlačena na zadní hranu dopravníku a její poloha ustavena v průběhu celého automatického utahování šroubů spoje opěradlo-sedadlo a spony pásu.

Částí palety, na kterou válce působí, je ocelový doraz. Tento ocelový doraz přímo definuje rozsah naklopení palety se sedadlem v případě, že operátor musí provést montážní operaci na spodní straně sedáku. Upnutí technologické palety pomocí dorazů ilustruje následující obrázek (viz. Obr. 44).



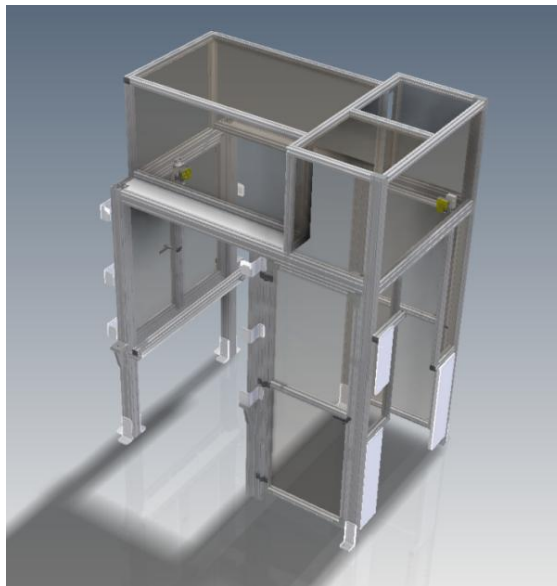
Obr. 44: Upínání technologické palety přes dorazy naklápění

Předchozí obrázek, mimo ustavení palety skrze dorazy, zobrazuje konstrukci celé upínací sestavy. Toto řešení nabízí možnost nastavení celého upínání ve třech osách. Výškové nastavení se provádí pomocí šroubových spojů mezi hliníkovým profilem a kotvícími deskami, které jsou součástí standu. Pohyb ve směru podél dopravníku dovoluje tvar Al profilu. Posuv kolmý na směr pohybu dopravníku zajišťují drážky v 8mm tlustém plechu, na kterém jsou upnuty pneumatické válce.

- Ochranný kryt robotizovaného pracoviště

Pro zamezení vniknutí operátora, kontrolora, úklidového pracovníka, člena vedení podniku a ostatních osob v době činnosti robotizovaného pracoviště, je celé robotizované pracoviště opatřeno ochranným krytem. Jedná se o konstrukci z hliníkových profilů vyplněnou tvrzeným plexisklem. Krytování je průhledné pro případnou vizuální kontrolu chodu robotizovaného pracoviště.

Pro bezpečný přístup do prostoru robotizovaného pracoviště po zastavení činnosti automatického utahování šroubů, slouží pár postranních dveří a zadní dveře půlené. Boční dveře slouží pro vstup operátora do pracoviště za účelem seřízení některé z částí, jako je efektor, upínání palety atd. Zadní půlené dveře poskytují přístup k technologické otočné naklápěcí paletě a upnutému automobilovému sedadlu. V případě nutnosti je možné těmito dveřmi z prostoru robotizovaného pracoviště vyjmout jak sedadlo samostatně, tak s technologickou paletou.



Obr. 45: Krytování robotizovaného pracoviště

Otevření dveří v průběhu automatického utahování šroubů je zamezeno pomocí elektromechanických bezpečnostních zámků od výrobce SICK pod výrobním označením i15 Lock (na obr. 46). Tyto bezpečnostní zámky v průběhu montáže nejen detekují uzavření dveří, ale také je uzamykají. Nemůže tedy nastat náhlé otevření dveří v průběhu montáže s nárazovým zastavením činnosti robotu. Zámek i15 Lock vyžaduje potvrzení požadavku na otevření dveří. V nutnosti okamžitého otevření dveří zámek vyšle signál k ukončení činnosti robotu a následně se odemkne. Pokud požadavek na otevření dveří není akutní, bezpečnostní zámek vyčká na dokončení montážního cyklu robotizovaného pracoviště, až poté se otevírá.



Obr. 46: Bezpečnostní elektromechanický zámek SICK i15 Lock

Ukotvení krytování robotizovaného pracoviště k podlaze montážní haly je uskutečněno pomocí ocelových patek o tloušťce 6 mm.

- Bezpečnostní rolovací dveře

Poslední částí návrhu jsou bezpečnostní dveře od společnosti STRASSER GmbH. Jedná se o bezpečnostní dveře určené pro použití na strojních zařízeních, na kterých pracují operátoři a vzdálenost mezi nebezpečnou částí stroje a optickou závorou je pro použití optických závor nedostačující.



Pro tento návrh je výpočet bezpečné vzdálenosti optické závory společnosti SICK od pohybujících se částí robotizovaného pracoviště následující:

➤ *Čas nutný pro zastavení celého zařízení:*

$$T = T_{\text{stroj}} + T_{\text{závora}} = 204 + 20 = 224 \text{ ms} = 0,224 \text{ s}$$

kde: T_{stroj} ... čas zastavení zařízení (pro robot FANUC $T_{\text{stroj}} = 204 \text{ ms}$)

$T_{\text{závora}}$... čas detekce přerušení paprsku optické závory

- pro vybranou optickou závoru SICK $T_{\text{závora}} = 20 \text{ ms}$

➤ *Výpočet bezpečné vzdálenosti optické vzdálenosti od zařízení:*

$$S = K * T + 8 * (d - 14) = 2000 * 0,224 + 8 * (24 - 14) = 520 \text{ mm}$$

kde: S bezpečná vzdálenost optické závory od pracujícího zařízení [mm]

K rychlost části těla dle EN ISO 13 855 ($K = 2000 \text{ mm/s}$)

d zvolené rozlišení v závislosti na velikosti snímaného prostoru [-]

- pro navrhované pracoviště plocha 1,2x1,2 m -> $d = 14$

V případě, že vzdálenost vychází nad 500 mm, je možné uvážit rychlost části těla jako 1600 mm/s a bezpečnou vzdálenost přepočítat. Přepočítaný výsledek je poté závazný pro dodržení vzdálenosti. Přepočítaná vzdálenost vychází následovně:

➤ *Přepočítaná bezpečná vzdálenost:*

$$S = K * T + 8 * (d - 14) = 1600 * 0,224 + 8 * (24 - 14) = 438,4 \text{ mm}$$

Pro navrhované robotizované pracoviště s průmyslovým robotem FANUC vychází bezpečná vzdálenost mezi zařízením a optickou závorou v hodnotě 438,4mm. Pro oboustranný přístup do pracoviště je následná hodnota bezpečné vzdálenosti dvojnásobná, tedy 876,5 mm. Při celkové dovolené šířce pracoviště 1300mm je nereálné použít optických závor jako bezpečnostního prvku.

Z tohoto důvodu se přistoupilo na výběr bezpečnostních rolovacích dveří výrobce STRASSER GmbH. Dveře jsou poháněny elektrickým servomotorem a rychlost jejich uzavření/otevření je určena na 1,2 m/s.

Bezpečnost samotných dveří při takové rychlosti pohybu je pomocí patentovaného mechanismu, kdy na spodní hraně pohybujících se dveří se nachází pružná lišta. Při stlačení této lišty se dveře od jejich pohonu mechanicky okamžitě odpojí. Dveře jsou na místě zastaveny, pohon je stále v pohybu a brzděn. Po zastavení se pohon okamžitě vrací zpět do výchozí polohy dveří a při průjezdu bodem rozpojení se mechanismus opět vzájemně spojí a dveře se vysouvají.

Rolovací bezpečnostní dveře byly vybrány taktéž z důvodu prostorové nenáročnosti. Tento vybraný typ dveří zásadně nezvyšuje rozměry navrhovaného pracoviště a udržuje jeho bezpečnost. Tyto rolovací bezpečnostní dveře jsou viditelné na obr. 41, umístěné po stranách ochranného krytu robotizovaného pracoviště v pozici nad dopravníkem. [23], [30], [36], [37]



7.2 Prostorová náročnost pracoviště FANUC

Prostorové omezení pro navrhované robotizované pracoviště je popsáno v kapitole 3.3.1. Povolená hodnota 1300 mm ve směru pohybu dopravníku je dodržena po šířce celého ochranného krytování robotizovaného pracoviště. Pouze v oblasti nad dopravníkem je pracoviště širších rozměrů z nutnosti použití bezpečnostních rolovacích dveří. Přesto v nejširším místě navrhovaného robotizovaného pracoviště je naměřen rozměr 1574 mm.

Rozměrové parametry pro výšku a hloubku navrženého pracoviště nebyly blíže specifikovány. Přesto zadání udává snahu o co nejmenší prostorovou náročnost. Tento návrh dosahuje výškového rozměru 2800 mm. Hloubka pracoviště je naměřena s hodnotou 2455 mm.

Pohled z čela a horní pohled na navrhované robotizované pracoviště s průmyslovým robotem FANUC je na následujícím obr. 47 a obr. 48.

Výkresová dokumentace layoutu navrženého pracoviště s rozměry je přiložena na vnitřní části desek této diplomové práce.



Obr. 47: Přední pohled na pracoviště s robotem FANUC



Obr. 48: Půdorys pracoviště s robotem FANUC

7.3 Odhad pořizovací ceny pracoviště FANUC

Ve spolupráci s pracovníky společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno byl sestaven odhad pořizovacích nákladů na jednotlivé části navrženého robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu s využitím průmyslového robotu FANUC. Rozpis jednotlivých položek s jejich přibližnou pořizovací cenou uvádí tabulka 3.

Odhad pořizovací ceny robotizovaného pracoviště FANUC	
Odhodnocený prvek	Cena v Euro (bez DPH)
Průmyslový robot FANUC	36 600,-
Vision systém	5 350,-
Elektrický uhlový utahovák vč. ŘS	12 000,-
Kompenzační hlavice + redukce	2 500,-
Pneumatické válce + úpravna vzduchu	1 200,-
Bezpečnostní zámky dveří vč. kliky	1 850,-
Bezpečnostní dveře STRASSER	14 000,-
HW a SW řízení robot. prac. bez PLC	21 450,-
Odhodnocení vyrobených částí	Cena v Euro (bez DPH)
Konstrukce standu	10 000,-
Konstrukce koncového efektoru	
Konstrukce upínání palety	
Ochranné krytování robot. prac.	
Odhodnocená činnost	Cena v Euro (bez DPH)
Vývoj návrhu	10 000,-
Výroba a montáž návrhu	8 000,-
Doprava, implementace a zaškolení	
Celková pořizovací cena:	122 950,- Euro

Tabulka 3: Odhad pořizovací ceny robotizovaného pracoviště FANUC

Celkové náklady na zhotovení tohoto navrženého robotizovaného pracoviště jsou stanoveny na částku 122 950,- Euro. Při aktuálním kurzu 27,50 Kč/1,- Euro je pořizovací cena pracoviště 3 381 125,- Kč. [38]



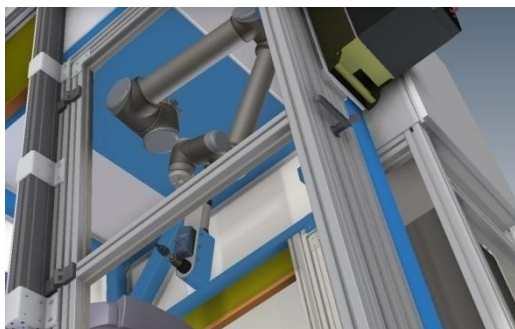
8 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ S PR UR

Pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu s využitím průmyslového robotu UR10 od společnosti Universal Robots, je druhým navrženým robotizovaným pracovištěm. Vizualizace návrhu je na obr. 49.



Obr. 49: Návrh robotizovaného pracoviště s průmyslovým robotem UR

Výjimečností návrhu je ukotvení průmyslového robotu UR10 k upínací desce, která se nachází v horní části svařovaného rámu pracoviště (viz. Obr. 50). Průmyslový robot UR10, s hmotností pouhých 28 kg, tak visí v pracovním prostoru robotizovaného pracoviště v pozici shora dolů.



Obr. 50: Uchycení robotu UR10 na horní upínací desku rámu



8.1 Hlavní části robotizovaného pracoviště s PR Universal Robots

Při pohledu na obr. 49, je v popředí rámu robotizovaného pracoviště viditelná řídicí jednotka vybraná v předchozím textu k elektrickému úhlovému utahováku Atlas Copco. Pod rozvaděčem se uvnitř průhledného krytování nachází skříň řídicího systému k průmyslovému robotu UR10.

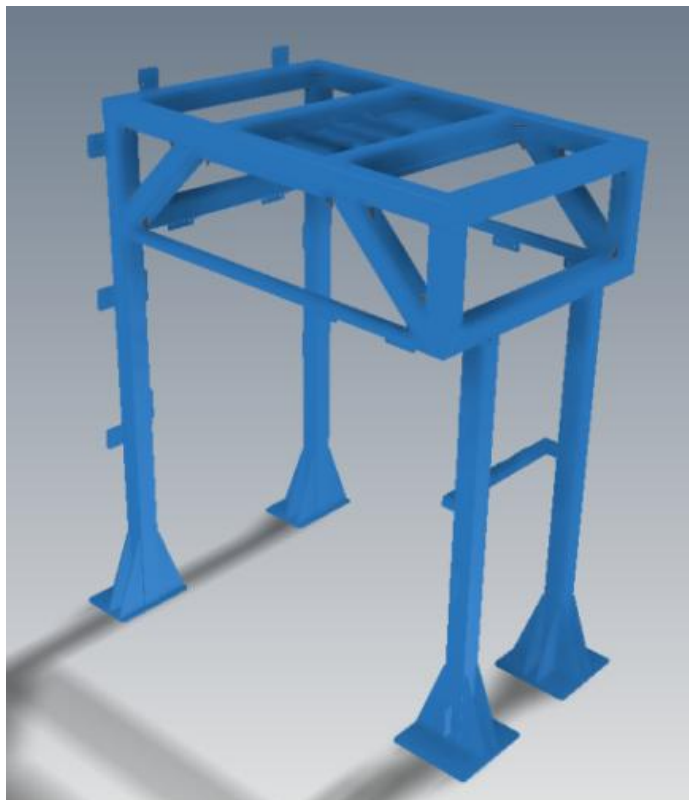
Navržený koncový efektor pro robot UR10, jehož součástí je elektrický úhlový utahovák a hardware Vision systému SICK, je upnut na přírubě robotu (obr. 50).

- Svařovaná konstrukce

Hlavním prvkem tohoto navrženého robotizovaného pracoviště je svařovaná konstrukce. Jedná se o svařenec ocelových profilů rozměru 100x100x3 mm a upínací desky pro ustavení průmyslového robotu s tloušťkou 25 mm. Výztuhy upínací desky v horní části konstrukce a výztuhy na bocích rámu jsou tvořeny z ocelových profilů 50x50x2 mm.

Pro vyšší stabilitu celé konstrukce jsou na nohách rámu přivařeny patky o rozměru 400x400 mm a tloušťky 10 mm. Patky jsou doplněny žebry, které zvyšují tuhost konstrukce vzhledem k ukotvení na podlahu montážní haly. Ukotvení je realizováno pomocí 8 šroubů na předních patkách a 4 šroubů na patkách zadních. Otvory v patkách mají průchozí díry pro kotvící šrouby průměru 12 mm.

Na popsané svařované konstrukci, zobrazené na obr. 51, jsou viditelné navařené plechy tloušťku 8 – 10 mm s průchozími otvory. Skrze tyto otvory jsou ke svařované konstrukci pomocí šroubů ustaveny rámy dveří a krytů tvořených z Al profilů. Tyto hliníkové rámy zvyšují tuhost konstrukce v její spodní části.



Obr. 51: Svařovaná konstrukce navrhovaného robotizovaného pracoviště



- Kryt skříně řídicí jednotky

Na svařované konstrukci, v oblasti pod hlavním rozvaděčem robotizovaného pracoviště, je pomocí šroubových spojů uchycen rám z Al profilů (viz. obr. 52). Rám je vyplněn tvrzeným plexisklem, které chrání proti nežádoucímu vniknutí osob k samotné skříně řídicího systému průmyslového robotu UR10, i k elektroinstalaci vedené z celého pracoviště do hlavního rozvaděče.



Obr. 52: Kryt skříně řídicího systému robotu UR

- Boční a zadní půlené dveře

Pro vstup povolane osoby do pracovního prostoru robotizovaného pracoviště jsou k dispozici po jeho bocích dveře z Al profilů vyplněných tvrzeným plexisklem.

Na zadní straně robotizovaného pracoviště se nachází půlené dveře ze stejných materiálů jako dveře boční. Ty slouží k lepšímu přístupu k technologické otočné naklápací paletě s upnutým automobilovým sedadlem přímo v místě montáže. V případně nutnosti je možné těmito dveřmi z robotizovaného pracoviště odebrat jak samotné automobilové sedadlo, tak i sedadlo upnuté na technologické paletě.

Detekce uzavření těchto dveří a jejich uzamčení v průběhu montážního procesu je zajištěno použitím bezpečnostních elektromechanických zámků SICK i15 Lock (viz. Obr. 46), které využívá i předchozí návrh pracoviště.

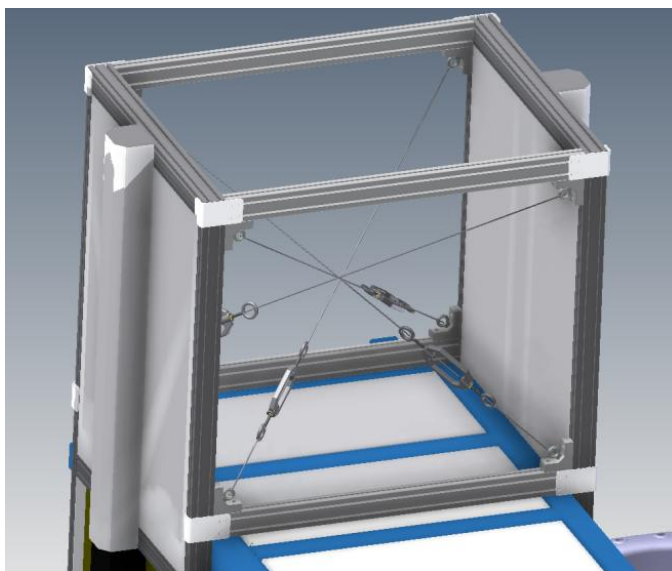
- Bezpečnostní dveře

Prostor nad dopravníkem je nutné ochránit před nežádoucím vniknutím operátora do pracovního prostoru robotizovaného pracoviště. Pro použití optické závory platí stejná situace jako u pracoviště s robotem FANUC. Bezpečné vzdálenosti optické závory od zařízení, o hodnotě 438,4 mm (na obou stranách pracoviště), je nemožné dosáhnout při celkové šířce pracoviště pouhých 1300 mm.

Řešením je opakované použití bezpečnostních dveří od společnosti STRASSER GmbH. Dveře jsou poháněny servomotorem s rychlostí otevírání/zavírání 1,2 m/s. Oproti rolovacím dveřím u pracoviště s robotem FANUC, jsou tyto bezpečnostní dveře s pohybující se celou pevnou deskou. To je příčinou značného navýšení výšky celého návrhu robotizovaného pracoviště.

Hlavním důvodem pro použití bezpečnostních dveří s pohybem pevné desky je zachování celistvosti svařované konstrukce bez výřezů a dalších úprav, které by rolovací bezpečnostní dveře vyžadovaly. Svařovaná konstrukce je tak méně členitá a méně složitá na výrobu.

Rám bezpečnostních dveří je pomocí šroubových spojů připevněn ke svařované konstrukci. Čtyři Al profily a spojovací plechy tloušťky 6 mm navzájem propojují bezpečnostní dveře nad svařovanou konstrukcí. Pomocí čtyř ocelových lan je propojení dveří navíc předepnuto. Způsob ukotvení a způsob zvýšení tuhosti bezpečnostních dveří nad svařovanou konstrukcí je zobrazen na obr. 53.

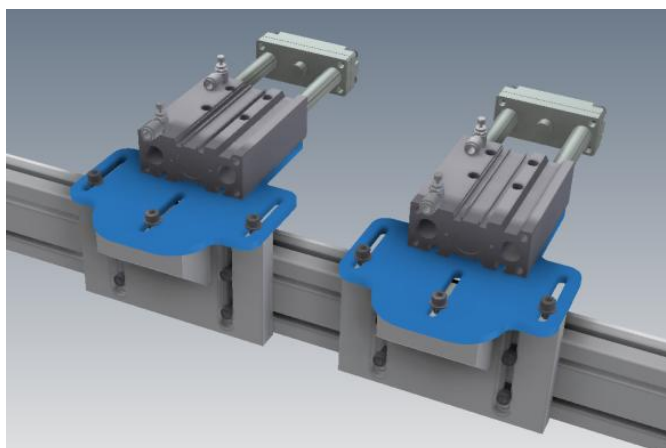


Obr. 53: Předepínání bezpečnostních dveří propojených Al profily

- Upínání palety

Upínání je navrženo s pneumatickými válci SMC MGPM-32-100 o síle 500 N při výsuvném pohybu (pracovní tlak 0,6 - 0,8 MPa). Touto silou válce, přes ocelové desky upnuté na akčním členu, přenášejí sílu na technologickou paletu. Paleta je vlivem působící síly tlačena na zadní hranu dopravníku a její poloha ustavena v průběhu celého automatického utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Funkce je obdobná jako u návrhu pracoviště s robotem FANUC.

Pneumatické válce je možná polohovat ve třech osách za účelem seřízení upínacích válců do správné polohy (viz. Obr. 54). [36]



Obr. 54: Upínání technologické otočné naklápěcí palety u UR



8.2 Prostorová náročnost pracoviště UR

Prostorové omezení pro navrhované robotizované pracoviště je popsáno v kapitole 3.3.1. Povolená hodnota 1300 mm ve směru pohybu dopravníku je dodržena po šířce celého ochranného krytování robotizovaného pracoviště. Pouze v oblasti nad dopravníkem je pracoviště širších rozměrů z nutnosti použití bezpečnostních dveří STRASSER. Přesto v nejširším místě navrhovaného robotizovaného pracoviště nad dopravníkem je naměřen rozměr 1438 mm.

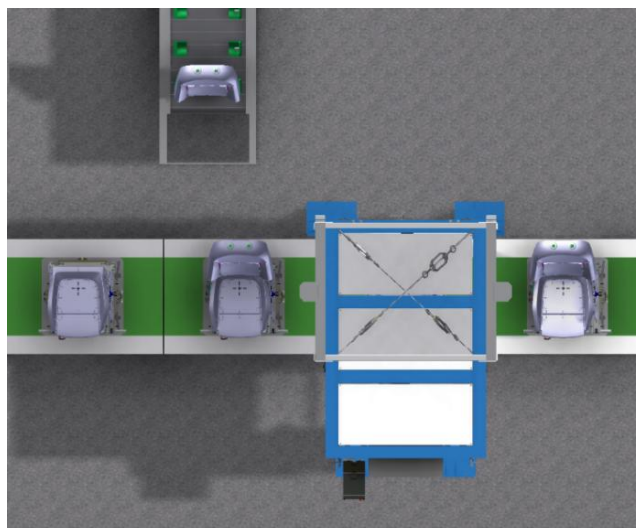
Rozměrové parametry pro výšku a hloubku navrženého pracoviště nebyly blíže specifikovány. Tento návrh dosahuje výškového rozměru 3770 mm. Hloubka pracoviště je naměřena s hodnotou 2200 mm.

Pohled z čela a horní pohled na navrhované robotizované pracoviště s průmyslovým robotem UR je na následujícím obr. 55 a obr. 56.

Výkresová dokumentace layoutu navrženého pracoviště s rozměry je přiložena na vnitřní části desek této diplomové práce.



Obr. 55: Přední pohled na pracoviště s robotem UR



Obr. 56: Půdorys pracoviště s robotem UR

8.3 Odhad pořizovací ceny pracoviště UR

Ve spolupráci s pracovníky společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno byl sestaven odhad pořizovacích nákladů na jednotlivé části navrženého robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu s využitím průmyslového robotu Universal Robots. Rozpis jednotlivých položek s jejich přibližnou pořizovací cenou uvádí tabulka 4.

Odhad pořizovací ceny robotizovaného pracoviště UR	
Odhodnocený prvek	Cena v Euro (bez DPH)
Průmyslový robot UR	28 500,-
Vision systém	8 500,-
Elektrický uhlový utahovák vč. ŘS	12 000,-
Kompenzační hlavice + redukce	2 500,-
Pneumatické válce + úpravna vzduchu	1 200,-
Bezpečnostní zámky dveří vč. kliky	1 850,-
Bezpečnostní dveře STRASSER	14 000,-
HW a SW řízení robot. prac. bez PLC	22 910,-
Odhodnocení vyrobených částí	Cena v Euro (bez DPH)
Konstrukce standu	10 000,-
Konstrukce koncového efektoru	
Konstrukce upínání palety	
Ochranné krytování robot. prac.	
Odhodnocená činnost	Cena v Euro (bez DPH)
Vývoj návrhu	10 000,-
Výroba a montáž návrhu	8 000,-
Doprava, implementace a zaškolení	
Celková pořizovací cena:	119 460,- Euro

Tabulka 4: Odhad pořizovací ceny robotizovaného pracoviště UR

Celkové náklady na zhotovení tohoto navrženého robotizovaného pracoviště jsou stanoveny na částku 119 460,- Euro. Při aktuálním kurzu 27,50 Kč/1 Euro je pořizovací cena pracoviště 3 285 150,- Kč. [38]



9 ČASOVÉ ROZLOŽENÍ MONTÁŽNÍHO CYKLU

Maximální povolený časový úsek montážního cyklu, jinak také pracovní takt montážní linky, je zadavatelem diplomové práce stanoven na 30 sekund. V tomto čase je nutné provést všechny úkony na robotizovaném pracovišti, které jsou spojené s automatickým utahováním šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu.

Ve skutečnosti je takt pracovní linky prodlužován v závislosti na množství objednaných sedadel. Tato situace přesto nemění požadovanou hodnotu maximálního povoleného časového úseku, ve kterém musí robotizované pracoviště provést zadaný úkol. Ten stále zůstává stejný a každá uspořená vteřina z celkových 30 bude hodnocena pozitivně.

Jakmile začne odečítání z maximálního povoleného časového úseku montážního cyklu, robotizované pracoviště musí zahájit montážní proces nezbytnými úkony. Ty mohou být rozděleny do dvou základních skupin:

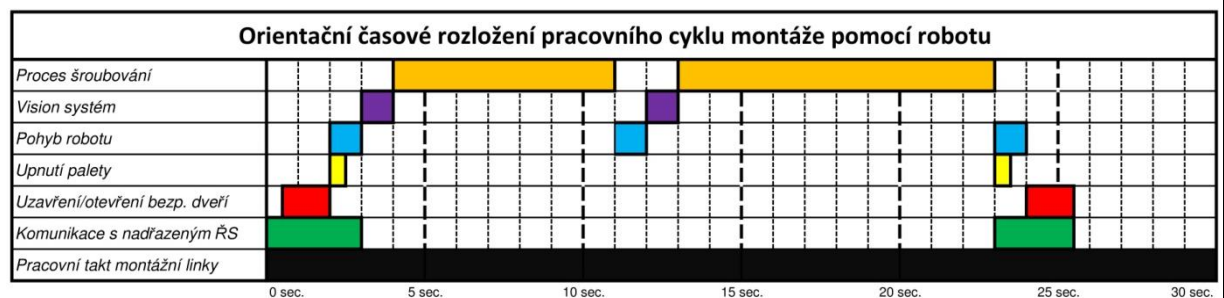
- Pozorovatelné

Mezi pozorovatelné úkony montážního procesu můžeme uvést uzavření bezpečnostních dveří, zajištění palety do polohy, přejezdy koncového efektoru průmyslového robotu po stanovené dráze a operace šroubování každého z pěti šroubů.

- Nepozorovatelné


Jedná se o komunikace mezi řídicími systémy robotizovaného pracoviště, robotu, Vision systému, elektrického uhlového utahováku a řídicím systémem všem předchozím systémům nadřazeným. Další časy zabírá snímání a vyhodnocení scény pomocí Vision systému.

Posloupnost všech těchto úkonů a jejich časové ohodnocení je těžko odhadnutelné bez předchozích zkušeností. Z tohoto důvodu byl postup úkonů s jejich přibližnou časovou náročností sestaven na základě videozáznamu práce obdobného robotizovaného pracoviště navrženého od společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno a z následných připomínek od zaměstnanců této společnosti, kteří mají zkušenosti s řízením těchto úkonů a znají jejich přibližné časové hodnoty.



Graf č. 1: Orientační časové rozložení pracovního cyklu

Z grafu (viz. Graf č. 1) zaznamenávajícího orientační časový plán rozložení pracovního cyklu montáže pomocí robotu, lze vyčíst předpokládanou dobu trvání automatického utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu pomocí průmyslového robotu. Jedná se o přibližnou dobu montáže v hodnotě 25,5 sekundy.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Maximální povolený časový úsek pro montáž v navrhovaném pracovišti je znázorněn na časové ose poli černé barvy. Tento čas je v hodnotě pracovního taktu montážní linky a má hodnotu 30 sekund. Odpočet času se zahájen zastavením technologické otočné naklápěcí palety s upnutým sedadlem na určeném místě montáže. Po uplynutí doby pracovního taktu se opět rozbíhá dopravník a přesouvá palety se sedadly na další montážní pracoviště.

Samotné časové rozložení pracovního cyklu je zahájeno komunikací řídicího systému robotizovaného pracoviště s nadřazeným systémem montážní haly, ověřením přítomnosti palety a zadáním úkolů montáže.

Políčka červené barvy udávají doby uzavírání a otevírání bezpečnostních dveří. Jak lze vyčíst z grafu, upínání palety a zahájení pohybu průmyslového robotu je spuštěno až po uzavření bezpečnostních dveří. Na druhé straně není povoleno otevřít bezpečnostní dveře do doby, než je robot ustaven ve výchozí poloze a technologická paleta se sedadlem je odepnuta.

Modrá políčka znázorňují časovou náročnost přejezdů průmyslového robotu z výchozí polohy na polohu snímání jedné strany sedadla, přejezd robotu na polohu snímání druhé strany sedadla a pohyb zpět do výchozí polohy.

Fialová políčka značí časovou náročnost snímání scény a vyhodnocení obrazu pomocí Vision systému.

Přejezdy koncového efektoru na středy hlav šroubů, přísuvy a samotné šroubování jsou znázorněny v grafu pod barvou oranžovou. Jedná se o dva časově nejnáročnější úseky montáže pomocí průmyslového robotu. Rozdílná délka času utahování je dána jiným počtem šroubů na každé straně sedadla (viz. Obr. 13).

Rezervou mezi ukončením pracovního taktu montážní linky a orientačním rozložením pracovního cyklu montážního pracoviště je hodnota 4,5 sekundy.



10 MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

Při nákupu nového vozu se nabízí výběr z velkého množství výrobců a jejich produktových typů. Široký výběr vytváří otázku, který vůz má například kvalitnější, pohodlnější a vybavenější sedadla. Hodnotit různé druhy sedadla může každý nakupující s uvedením spousty kladných i záporných připomínek. Sedadlo má moc měkké polstrování, sedadlo má moc nízkou výšku posazení, tvar opěradla není příjemný, ale potah z textilie je pěkně provedený. Co člověk, to názor.

Totožná situace nastává při výběru nového výrobku, nástroje, stroje či celého pracoviště. Hodnocení může probíhat subjektivně pomocí soutěží, povoláním odborníka na zhodnocení celé situace nebo lze použít objektivních systematických a racionálních metod s matematickým přístupem k celé situaci.

Pro hodnocení vypracovaných návrhů se použije objektivní metody s matematickým přístupem, kterou je technicko-ekonomické hodnocení. Jedná se o volbu různých vlastností návrhu s přiřazenou hodnotou jejich důležitosti v samotném návrhu. Každá vlastnost má svou hodnotu, ale i jednotku, a tak není možné je dohromady pouze sečíst a vynést výsledek. Je zapotřebí dostat všechny vlastnosti na stejnou úroveň jednotné hodnoty a k tomu poslouží multikriteriální hodnocení.

Multikriteriální hodnocení rozlišuje několik metod, kde mezi nejpoužívanější patří:

- bazická bodová metoda
- metoda pořadí
- metoda PATTERN

[39]

10.1 Bazická bodovací metoda

Zvolenou metodou pro vypracování multikriteriálního hodnocení je bazická bodovací metoda. Přístup při hodnocení je konán ve dvou směrech a ty jsou následující:

- Technický - směr vyjadřující funkční vlastnosti návrh
- Ekonomický – směr vyjadřující náklady k dosažení funkčních vlastností

Pro každý směr bude vytvořena tabulka, ve které bude zaznamenán průběh hodnocení. Postup tvorby tabulky pro technický směr je následující:

- *Prvním krokem je definice sledovaných technických parametrů, na které bude nahlíženo. Obvyklý počet parametrů je 1 – 100 s označení T:*

T ₁	Délka pracovního cyklu
T ₂	Momentová únosnost průmyslového robotu
T ₃	Prostorová náročnost pracoviště
T ₄	Znalost programování průmyslového robotu

- T₅ Zaručená kompatibilita jednotlivých prvků pracoviště
- T₆ Náročnost implementace robotizovaného pracoviště
- T₇ Variabilita pracoviště k budoucímu rozšíření automatizace

➤ *Definice stupnice kvalitativního a kvantitativního hodnocení t_i:*

- t₁ = 0 - nedostačující
- t₁₁ = 10 - excelentní

➤ *Přiřazená váha významu daného parametru g_n:*

$$0 < g_n \leq 1$$

➤ *Vztah pro matematické vyjádření technické hodnoty τ:*

$$\tau = \frac{g_1 * t_1 + g_2 * t_2 + \dots + g_n * t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i * t_i)}{\sum_{i=1}^n g_i * t_{max}} \leq 1$$

kde: n.....počet hodnocených parametrů [-]

➤ *Tvorba tabulky s dosazením hodnot, výpočtem a následným hodnocením technického směru τ u vypracovaných variant:*

Multikriteriální hodnocení – technický směr τ							
n	Parametr	Ozn.	Váha	Návrh FANUC		Návrh UR	
			g _n	t _i	t _n	t _i	t _n
1	Délka cyklu	T ₁	0,9	9	8,1	7	6,3
2	Moment. únosnost	T ₂	0,7	7	4,9	6	4,2
3	Prostor. náročnost	T ₃	0,7	4	2,8	5	3,5
4	Znalost program.	T ₄	0,5	7	3,5	2	1
5	Kompatibilita	T ₅	0,6	8	4,8	7	4,2
6	Implementace	T ₆	0,5	6	3	4	2
7	Variabilita	T ₇	0,3	8	2,4	3	0,9
Technické hodnocení τ:				0,70		0,53	

Tabulka 5: Technický směr multikriteriálního hodnocení

➤ *Stanovení parametrů ekonomických, které budou zohledňovány v hodnocení ekonomického směru ε:*

- T₁ Pořizovací náklady
- T₂ Provozní náklady
- T₃ Servisní náklady

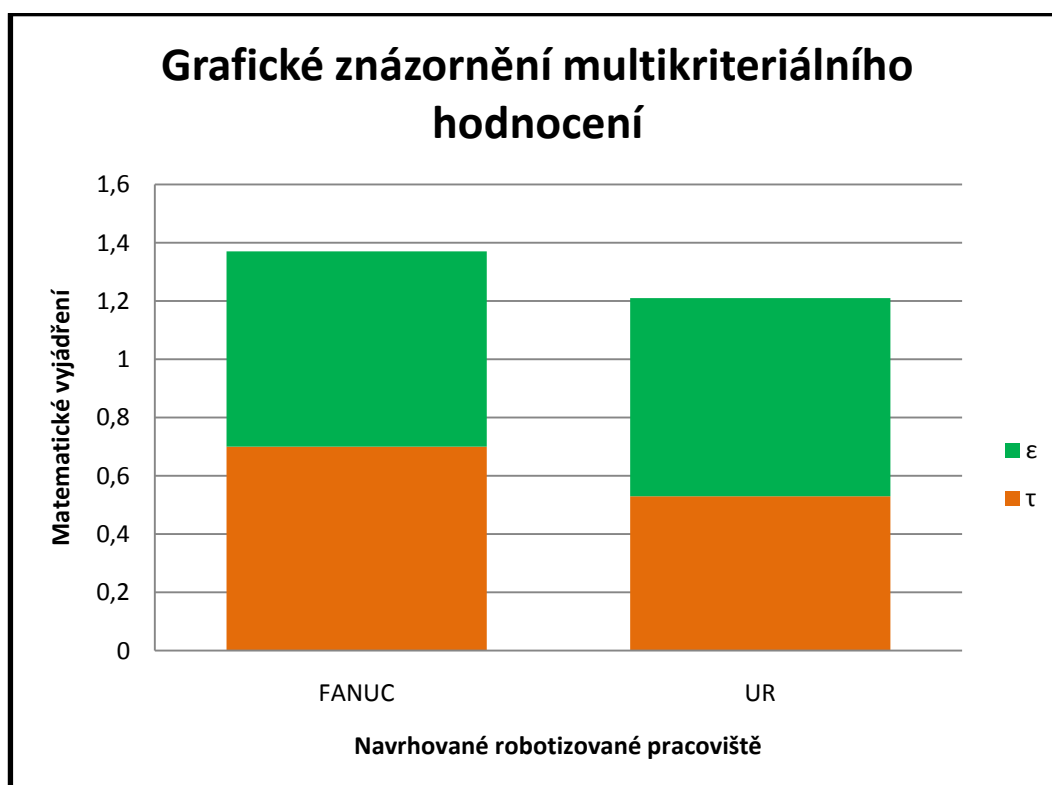


- Tvorba tabulky s dosazením hodnot, výpočtem a následným hodnocením ekonomického směru ε u vybraných variant:

Multikriteriální hodnocení – ekonomický směr ε							
n	Parametr	Ozn.	Váha	Návrh FANUC		Návrh UR	
				t_i	t_n	t_i	t_n
1	Pořizovací náklady	T_1	0,9	7	6,3	7	6,3
2	Provozní náklady	T_2	0,7	7	4,9	6	4,2
3	Servisní náklady	T_3	0,5	6	3	7	3,5
Ekonomické hodnocení ε :				0,68		0,67	

Tabulka 6: Ekonomický směr multikriteriálního hodnocení

Z konečných hodnot technického a ekonomického hodnocení, uvedených v tabulka 5 a tabulka 6, byl sestaven graf č. 2. V něm jsou sečteny výsledné hodnoty τ a ε pro každé robotizované pracoviště zvlášť. Pracoviště s vyšším součtem obou hodnot je vyhodnoceno jako vhodné pro podrobné rozpracování, výrobu a následnou implementaci do montážní haly výrobce automobilových sedadel. Z grafu je zřejmé, že vybranou variantou je robotizované pracoviště, které je vybaveno průmyslový robot od společnosti FANUC. [39]



Graf č. 2: Grafické znázornění multikriteriálního hodnocení



11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRHU ROBOT. PRACOVIŠTĚ

Na základě multikriteriálního hodnocení obou návrhů robotizovaného pracoviště bylo vybráno za vhodné realizovat návrh pracoviště s průmyslovým robotem FANUC. Nyní nastává čas pro ekonomické hodnocení. Toto hodnocení porovná stávající montážní pracoviště s navrženým robotizovaným pracovištěm z pohledu pořizovacích nákladů a přibližného vymezení časového úseku, ve kterém se mají vynaložené finanční prostředky na robotizované pracoviště navrátit a začít přinášet úspory pro výrobce automobilových sedadel.

- Ekonomické hodnocení stávajícího pracoviště

Stávající montážní pracoviště je v činnosti na třisměnný provoz, kde jedna směna trvá 8 hodin. Po dobu jedné směny provádí montáž na pracovišti jeden operátor.

- *Roční časový fond – pro 1 směnu o délce 8 hodin:*

$$R\check{C}F = 2016 h$$

- *Roční náklady na obsluhu pracoviště (stanovené zadavatelem DP):*

$$N_{operator} = n_{oper.} * N_{m\acute{e}sic} * n_{m\acute{e}sic} = 3 * 50\ 000 * 12 = 1\ 800\ 000, - K\check{c}$$

kde: $n_{oper.}$...počet pracujících operátorů na montážním pracovišti [-]

$N_{m\acute{e}sic}$...měsíční náklady na jednoho operátora [Kč]

$n_{m\acute{e}sic}$...počet měsíců v roce [-]

- *Pořizovací cena stávajícího pracoviště:*

$$P_{mont. prac.} = 750\ 000, - K\check{c}$$

- *Odpisy na stávající montážní pracoviště (odpisy vztahené k předpokládané době opotřebitelnosti zařízení – 10 let):*

$$O_{mont. prac.} = \frac{P_{mont. prac.}}{100} * X_0 = \frac{750\ 000}{100} * 10 = 75\ 000, - K\check{c}$$

kde: X_0odpisový koeficient [%]

- *Výpočet odpisového koeficientu:*

$$X_0 = \frac{100}{t_{\acute{z}ivot.}} = \frac{100}{10} = 10\%$$

kde: $t_{\acute{z}ivot.}$předpokládaná doba opotřebitelnosti zařízení [rok]



- *Roční náklady na údržbu a opravy – stanoveno 5% z pořizovací ceny:*

$$N_u = \frac{P_{mont. prac.}}{100} * 5 = \frac{750\,000}{100} * 5 = 37\,500, - \text{ Kč}$$

- *Náklady na spotřebu elektrické energie:*

$$N_e = P_{př} * RČF * t_p * S_e * P_s = 1,8 * 2016 * 0,65 * 5 * 3 = 35\,380, - \text{ Kč}$$

kde: $P_{př}$ součet příkonů všech zařízení pracoviště [kW]

t_ppřibližný čas provozu (stanoveno 65% jednoho pracovního taktu)

S_epřibližná sazba elektrické energie [Kč/kWh]

P_spočet pracovních směn [-]

- *Roční provozní náklady na stávající pracoviště:*

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{operator} + O_{mont. prac.} + N_u + N_e = \\ &= 1\,800\,000 + 75\,000 + 37\,500 + 35\,380 = 1\,947\,880, - \text{ Kč} \end{aligned}$$

- *Ekonomické hodnocení zvoleného návrhu robotizovaného pracoviště*

Navržené robotizované pracoviště je určeno pro nepřetržitý provoz, tedy po dobu tří osmihodinových směn, ve kterých pracují na stávajícím montážním pracovišti tři operátoři.

- *Pořizovací náklady na robotizované pracoviště:*

$$P_{robot. prac.} = 3\,381\,125, - \text{ Kč}$$

- *Odpisy na robotizované pracoviště – životnost průmyslových robotů počítána na 40 000 hodin -> 6,6 let:*

$$O_{robot. prac.} = \frac{P_{robot. prac.}}{100} * X_0 = \frac{3\,381\,125}{100} * 15,15 = 512\,240, - \text{ Kč}$$

kde: X_0odpisový koeficient [%]

- *Výpočet odpisového koeficientu:*

$$X_0 = \frac{100}{t_{život.}} = \frac{100}{6,6} = 15,15\%$$

kde: $t_{život.}$předpokládaná doba opotřebitelnosti zařízení [rok]

- *Roční náklady na údržbu a opravy – stanoveny 2% z pořizovací ceny:*

$$N_u = \frac{P_{robot. prac.}}{100} * 2 = \frac{3\,381\,125}{100} * 2 = 67\,622, - \text{ Kč}$$



➤ *Náklady na spotřebu elektrické energie:*

$$N_e = P_{př} * RČF * t_p * S_e * P_s = 4 * 2016 * 0,8 * 5 * 3 = 96\,768, - Kč$$

kde: $P_{př}$ součet příkonů všech zařízení pracoviště [kW]
 t_ppřibližný čas provozu (stanoveno 80% jednoho pracovního taktu)
 S_epřibližná sazba elektrické energie [Kč/kWh]
 P_s počet pracovních směn [-]

➤ *Roční provozní náklady na stávající pracoviště:*

$$N_2 = O_{mont. prac.} + N_u + N_e = 512\,240 + 67\,622 + 96\,768 = 676\,630, - Kč$$

• Celkové ekonomické zhodnocení

Výstupní hodnotou celkového ekonomického zhodnocení je doba návratnosti vynaložených finančních prostředků na nové robotizované pracoviště. Návratnost investic se pohybuje v řádu let.

➤ *Rozdíl pořizovacích nákladů:*

$$P_r = P_{robot. prac.} - P_{mont. prac.} = 3\,381\,125 - 750\,000 = 2\,631\,125, - Kč$$

➤ *Rozdíl provozních nákladů:*

$$N_c = N_1 - N_2 = 1\,947\,880 - 676\,630 = 1\,271\,250, - Kč$$

➤ *Počet let do návratnosti investic:*

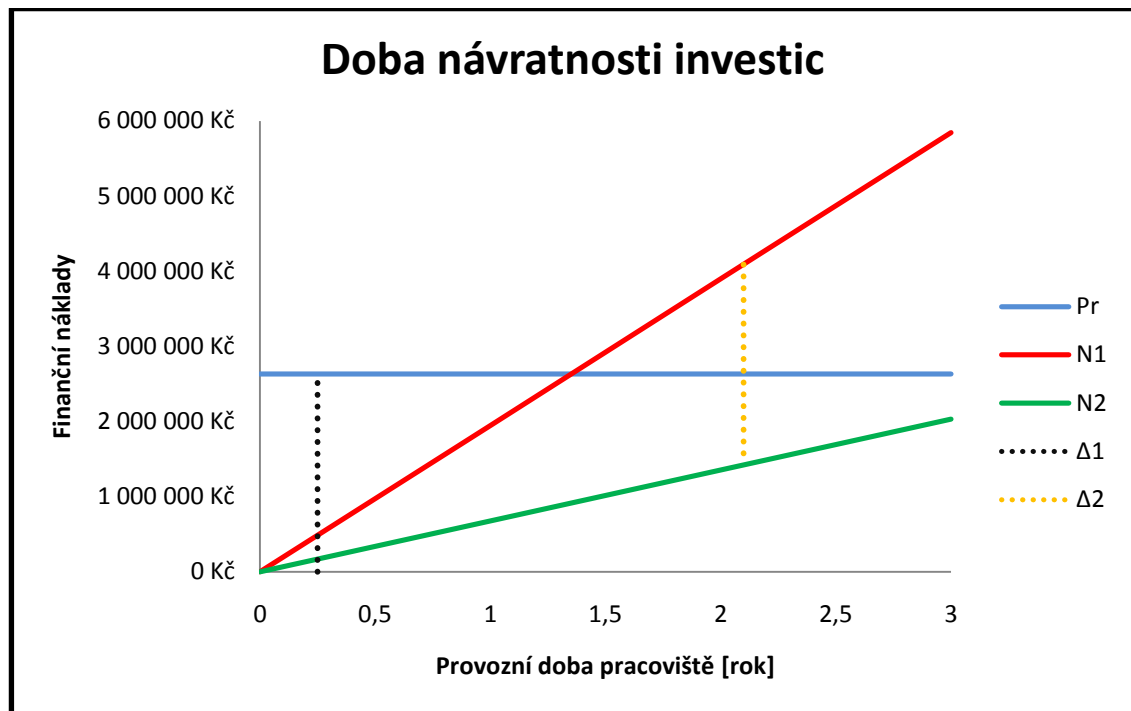
$$N_i = \frac{P_r}{N_c} = \frac{2\,631\,125}{1\,271\,250} \cong 2,1 \text{ let}$$

Při nahrazení tří operátorů na stávajícím montážním pracoviště jedním průmyslovým robotem se návratnost vynaložených investic přibližně pohybuje v rozmezí 2,1 roku. Hlavním prvkem, který zásadně ovlivnil dobu návratnosti investic, jsou finanční náklady, které musí výrobce automobilových sedadel vynaložit na tři operátory stávajícího montážního pracoviště.

Výpočtem rozdílu pořizovacích hodnot je získán hlavní finanční rozdíl Δ_1 mezi pracovišti, který je nutné v průběhu provozních let dorovnat.

Protože stávající a navržené pracoviště mají v průběhu činnosti jisté náklady na svůj provoz, i s těmito financemi se musí počítat. Rozdíl těchto dvou částek, označený jako Δ_2 , po dobu chodu obou pracovišť stále narůstá.

Rok návratnosti lze zobrazit také v podobě grafu. Zatímco rozdíl pořizovacích nákladů Δ_1 je v průběhu let stále konstantní, rozdíl provozních nákladů Δ_2 stále narůstá. Požadovaná doba návratnosti investic nastává v případě, kdy Δ_2 nabude stejné hodnoty jako Δ_1 . Celé znázornění tohoto průběhu uvádí graf č. 3. [13], [23], [40]



Graf č. 3: Doba návratnosti investic na robotizované pracoviště



12 BEZPEČNOST ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ

Na počátku 90. let 20. století začíná Evropská unie aplikovat myšlenku volného pohybu zboží a osob po evropském vnitřním trhu. S touto myšlenkou vyvstal úkol sjednocení požadavků a předpisů (například bezpečnostní předpisy pro stroje a zařízení), které by platily pro všechny členské státy Evropské unie a zajistily by tak všem rovnocenné podmínky. Tím bylo zahájeno vydávání EU směrnic. Tyto evropské směrnice prošly odsouhlasením všemi členskými státy Evropské unie a slouží jako návody pro tvorbu norem národních. Národní normy se od sebe mohou navzájem lišit, některé mohou být na požadavcích zpřísněny. Přesto každá národní norma obsahuje minimálně požadavky uvedené ve vydané směrnici EU. Jednou z mnoha směrnic EU je 2006/42/ES, která se týká bezpečnosti strojních zařízení a vztahuje se na strojní zařízení; vyměnitelná přídatná zařízení; bezpečnostní součásti; příslušenství pro zdvihání; řetězy, lana s popruhy; snímatelná mechanická převodová zařízení a neúplná strojní zařízení.

Ze směrnic vydaných Evropskou unií vznikají národní normy. Národní technické normy pro bezpečnost strojních zařízení se dělí na tři základní skupiny:

- Norma typu A

Základní bezpečnostní norma všeobecně platná pro všechny strojní zařízení. Norma definuje obecně platné základní pojmy a základní postupy při konstruování strojních zařízení. Obsahem je například popis postupu při řešení analýzy rizik a s tím spojenou volbou vhodných bezpečnostních a ochranných opatření.

- Norma typu B

Skupinová bezpečnostní norma, která je rozdělena na dvě podskupiny:

Norma typu B1: Norma, která zohledňuje jednotlivé bezpečnostní aspekty, jakými jsou bezpečná vzdálenost, rozměry mezer, teploty povrchů a mnohé další

Norma typu B2: Norma, která zohledňuje jednotlivá bezpečnostní zařízení, jakými jsou zařízení pro nouzová zastavení, dvouruční ovládací zařízení, ochranné kryty a mnohé další.

- Norma typu C

Výrobní norma, která je zaměřená na detailní bezpečnostní a hygienické požadavky na konkrétní typy strojů a jejich příbuzné skupiny. Příkladem mohou být lisy mechanické, hydraulické a další.

Mezi hlavní harmonizované bezpečnostní normy pro strojní zařízení, vycházející z vydaných směrnic EU, patří následující:

ČSN EN ISO 14121-1: 2008

Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika

ČSN EN ISO 12100-1: 2004

Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci

ČSN EN ISO 13849-1: 2007

Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích a řídicích systémů



12.1 Analýza rizik strojního zařízení

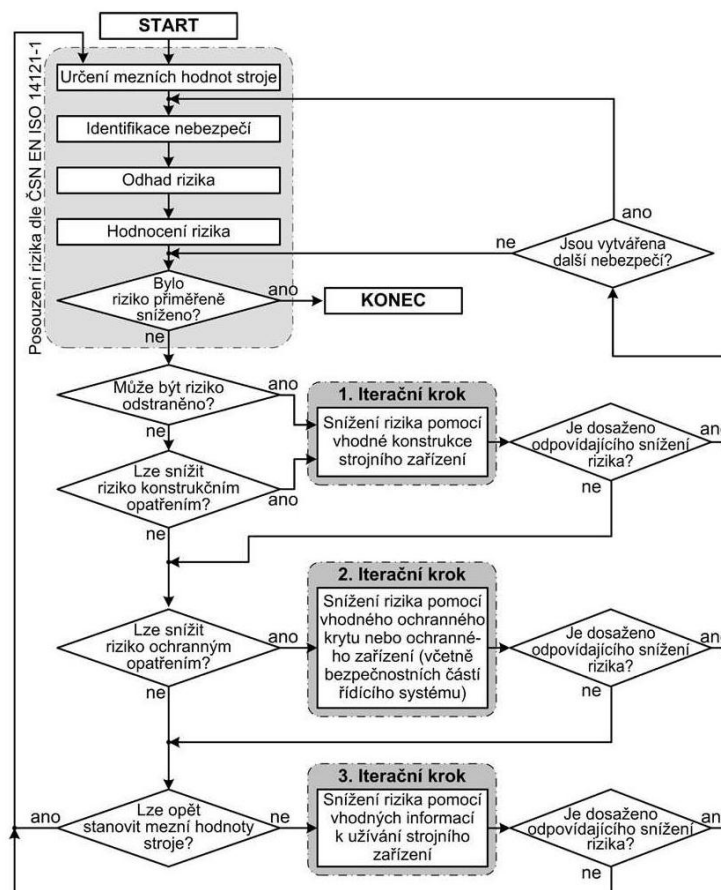
Strojní zařízení musí mít vytvořenu svou analýzu rizik a tím prokázat, že odpovídá bezpečnostním normám. V případě, že strojní zařízení je ve shodě s příslušnými normami, je mu prohlášena shoda a může být prodáván na evropském trhu a uveden do provozu.

Celý proces provedené analýzy rizik musí být pečlivě dokumentován, archivován a výrobce na požádání musí dokumentaci doložit. V případě, že analýza rizik není zdokumentována, je považována za neprovedenou a strojní zařízení není shodné s platnými normami. V případě, že takové zařízení je přesto uvedeno v provoz, nejen v případě úrazu hrozí uplatnění sankcí ve správním řízení nařízeném kompetentním dozorcím orgánem.

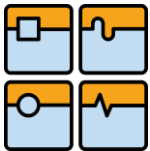
Analýza rizik celého návrh robotizovaného pracoviště by svým rozsahem mohla být provedena jako samostatná diplomová práce. Z tohoto hlediska je v této diplomové práci provedena pouze zjednodušená analýza rizik.

- Princip analýzy rizik

Principem analýzy rizik je v první řadě obeznámení okolí s posuzovaným strojním zařízením. Následuje určení mezních hodnot strojního zařízení a identifikace možných nebezpečí. Pro každé nebezpečí je třeba odhadnout riziko, zhodnotit jeho závažnost a vhodným opatřením riziko snížit alespoň na únosnou mez. Na závěr celé analýzy je třeba vše řádně zdokumentovat a archivovat.



Obr. 57: Diagram iterační metody „Tři kroky“ dle ČSN EN ISO 12100-1 [42]



Postup analýzy rizik lze dle normy ČSN EN ISO 12100-1 vykonat dle iterační metody nazývané „Tři kroky“. Tato iterační metoda je popsána ve formě diagramu s popisky na obr. 57. Metoda pracuje s počátečním posouzením rizika podle normy ČSN EN ISO 14121-1 a následujícím odstraněním rizika pomocí až tří iteračních kroků. Takto je analýza konána do doby, kdy všechna rizika strojního zařízení jsou považována za snížená na přijatelnou bezpečnou mez a zároveň je stroj prohlášen za bezpečný a ve shodě s platnými bezpečnostními normami. [41], [42], [45], [46]

12.2 Popis strojního zařízení a určení mezních hodnot

Strojní zařízení v podobně robotizovaného pracoviště je určeno pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Pracoviště je umístěno na stávající montážní lince v těsné blízkosti s dalšími montážními pracovišti, na kterých provádí montáž operátoři.

Hlavním prvkem zařízení, který vykonává montáž sedadel, je průmyslový robot s připojeným koncovým efektozem. Součástmi koncového efektoru jsou elektrický uhlavý utahovák a hardware Vision systému.

Celé zařízení je obsluhováno třemi řídicími systémy. Řídicí systém celého pracoviště komunikuje s nadřazeným řídicím systémem celé montážní haly, od něhož přijímá zadané úkoly a informuje o splnění úkolu. Zároveň zajišťuje řízení celého zařízení, komunikaci mezi řídicími systémy průmyslového robotu a elektrického utahováku, poskytuje údaje ze sensorických systémů a komunikuje s uživatelem.

Uživatelé tohoto zařízení jsou řádně proškolení pracovníci údržby, kteří jsou oprávněni k údržbě robotizovaných pracovišť a prvků, jako například hardware Vision systému. Operátoři (montážní dělníci) na sousedních montážních pracovištích, kteří mohou přijít do kontaktu s tímto robotizovaným pracovištěm, musí být proškoleni o bezpečnosti práce, pohybu v blízkosti robotizovaného pracoviště a poučení o dodržování kázně na pracovišti. Kontakt s širokou veřejností je téměř vyloučen.

Bližší specifikace celého zařízení je uvedena v předcházejících kapitolách této diplomové práce.

- Mezní hodnota použití

Provozní režim robotizovaného pracoviště je plně automatický. V případě potřeby je možné pracoviště uvést do režimu servisního, kdy osoba provádějící servis volí režim ručního řízení, režim údržby nebo režim seřízení a programování průmyslového robotu.

Osoby, které mohou zasahovat do činnosti robotizovaného pracoviště, musí být řádně proškoleni a vykazovat určitou úroveň odbornosti. Jedná se o údržbáře a techniky se znalostí průmyslových robotů.

Za další osoby, které mohou být v blízkosti robotizovaného pracoviště na montážní hale, lze považovat operátory obsluhující přilehlá montážní pracoviště, pracovníky úklidových čt, pracovníky údržby, kontrolory montážních procesů, administrativní pracovníky, vedení společnosti a návštěvníky montážní haly. Kontakt s širokou veřejností je téměř vyloučen.



- Mezní hodnota prostorová

Rozsah pohybu strojního zařízení je definován pracovním dosah průmyslového robotu (viz. Obr. 18). Přesto pracovní dosah není plně využit. Nebezpečný prostor robotizovaného pracoviště je vymezen ochranným krytím (ploty), které zabraňují vniknutí osob do pracovního prostoru.

Přesné rozměry navrženého robotizovaného pracoviště jsou uvedeny na výkresu vloženém na vnitřní straně desek této diplomové práce.

Obsluha technologických palet s automobilovým sedadlem je plně automatická. Vstup osob do pracovního prostoru je pouze v případě údržby zařízení. Před vstupem osoby provádějící údržbu, je celé pracoviště pomocí dotekové obrazovky na hlavním rozvaděči zastaveno, přístupové dveře s elektromechanickými bezpečnostními zámky jsou otevřeny a až poté je možný vstup do pracovního prostoru pracoviště.

Přívod energie do pracoviště je proveden skrze hlavní rozvaděč pracoviště, do kterého je zavedeno napětí 3x400 V / 50 Hz a tlakový vzduch s tlakem 0,6 - 1 MPa.

- Mezní hodnota časová

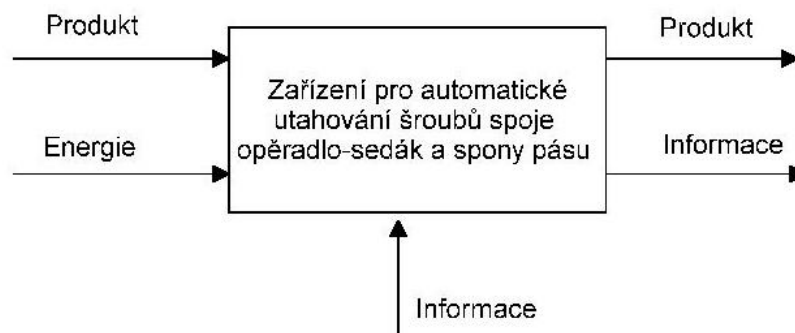
Životnost robotizovaného pracoviště se odvíjí od životnosti průmyslového robotu, která je uvažována jako 40 000 provozních hodin, tedy přibližně 6,6 roku. Před vypršením této doby bude nezbytné provést revizi celého pracoviště a zhodnotit aktuální stav pracoviště. Servisní intervaly je možné stanovit po zhotovení finální verze pracoviště.

- Mezní hodnota ostatní

Robotizované pracoviště je instalováno uvnitř montážní haly, které disponuje standardní vzdušnou vlhkostí a teplotou prostředí mezi 15 – 30°C. [44], [45]

12.2.1 Systémová analýza strojního zařízení

Dalším nezbytným krokem v tvorbě analýzy rizik je analýza systémová. Ta spočívá ve vytvoření blokového schématu strojního zařízení, v identifikaci relevantních nebezpečí spojených s konstrukcí strojního zařízení.



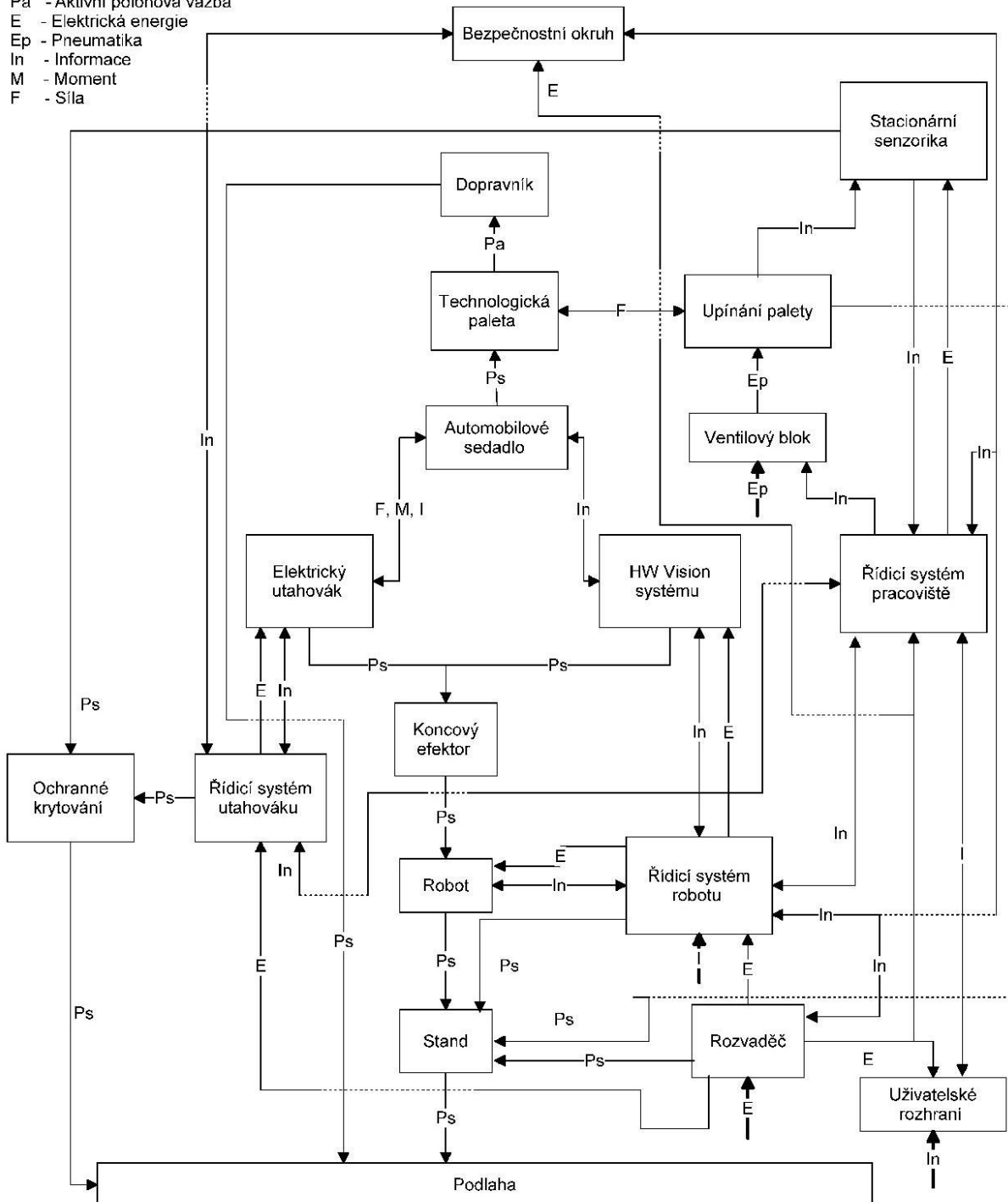
Obr. 58 Zjednodušené schéma zařízení

Zjednodušené schéma zařízení, tedy robotizovaného pracoviště, je zobrazeno na obr. 58. Z obrázku je zřetelné, jaké vstupy jsou dodány do pracoviště k provedení montáže a co je následným výstupem celého procesu.



Podrobnější rozbor zařízení pomocí rozvinutějšího schématu je na obr. 59. Ze schématu lze vysledovat logickou stavbu strojního zařízení a jejich vzájemné funkční, energetické a zástavbové propojení. [41]

Ps - Pasivní polohová vazba
Pa - Aktivní polohová vazba
E - Elektrická energie
Ep - Pneumatika
In - Informace
M - Moment
F - Síla



Obr. 59: Podrobné schéma strojního zařízení s přehledem vzájemného propojení

**12.2.2 Identifikace nebezpečí a odhad jeho počátečního rizika**

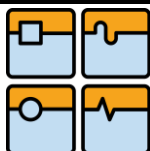
Ze schématu na obr. 59 lze identifikovat jednotlivá relevantní nebezpečí s ohledem na konstrukci stroje. Pro výpis identifikovatelných nebezpečí je vytvořena následující tabulka 7, kde je zapsán každý jednotlivý blok ze schématu s popisem jeho pozice v zařízení, přiřazeným nebezpečím a typem nebezpečí dle normy ČSN EN ISO 12100-1.

Komponenta	Poloha v systému	Nebezpečí	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-1
Podlaha		-----	-----
Stand	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none">• Výška od podlahy s následkem odření, zakopnutí a pádu	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2)
Rozvaděč	Prostor elektroinstalace a řídicích systémů	<ul style="list-style-type: none">• Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku živé části nebo části, která se stala živou při závadě	Elektrická nebezpečí (4.3)
Uživatelské rozhraní (PC)	Prostor elektroinstalace a řídicích systémů	<ul style="list-style-type: none">• Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku části, která se stala živou při závadě	Elektrická nebezpečí (4.3)
Řídicí systém pracoviště	Prostor elektroinstalace a řídicích systémů	<ul style="list-style-type: none">• Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku živé části nebo části, která se stala živou při závadě	Elektrická nebezpečí (4.3)
Řídicí systém robotu	Prostor elektroinstalace a řídicích systémů	<ul style="list-style-type: none">• Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku živé části nebo části, která se stala živou při závadě• Nepohodlí způsobené teplem vyzařeným ze zdrojů tepla• Nepohodlí a hluk způsobené chladičím systémem	Elektrická nebezpečí (4.3), Tepelná nebezpečí (4.4), Nebezpečí hluku (4.5)
Robot	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none">• Vymrštění způsobené zrychlením• Stlačení způsobené přiblížením k pevné části• Zachycení či naražení způsobené pohyblivostí strojního zařízení• Popálení či smrt způsobené elektrickým proudem při doteku s	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2), Elektrická nebezpečí (4.3), Tepelná nebezpečí (4.4), Nebezpečí hluku (4.5)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

		<p>živou částí či částí, která se stala živou při závadě</p> <ul style="list-style-type: none"> • Popálení způsobené tepelným zářením servopohonů • Nepohodlí a hučení v uších způsobené hlukem od pohybujících se částí 	
Koncový efektor	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> • Vymrštění způsobené zrychlením • Stlačení způsobené přiblížením k pevné části • Zachycení či naražení způsobené pohybující se částí 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2)
Řídicí systém utahováku	Prostor elektroinstalace a řídicích systémů	<ul style="list-style-type: none"> • Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku části, která se stala živou při závadě 	Elektrická nebezpečí (4.3)
Elektrický utahovák	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> • Vymrštění způsobené zrychlením • Stlačení způsobené přiblížením k pevné části • Zachycení či naražení způsobené pohybující se částí • Vtažení a zachycení způsobené rotujícími prvky • Popálení či smrt elektrickým proudem při doteku části, která se stala živou při závadě • Nepohodlí způsobené teplem vyzářeným ze zdrojů tepla 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2), Elektrická nebezpečí (4.3), Tepelné nebezpečí (4.4)
HW Vision systému	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> • Vymrštění způsobené zrychlením • Stlačení způsobené přiblížením k pevné části • Zachycení či naražení způsobené pohybující se částí • Poškození zraku a bolest hlavy způsobená optickým zářením 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2), Nebezpečí záření (4.7)

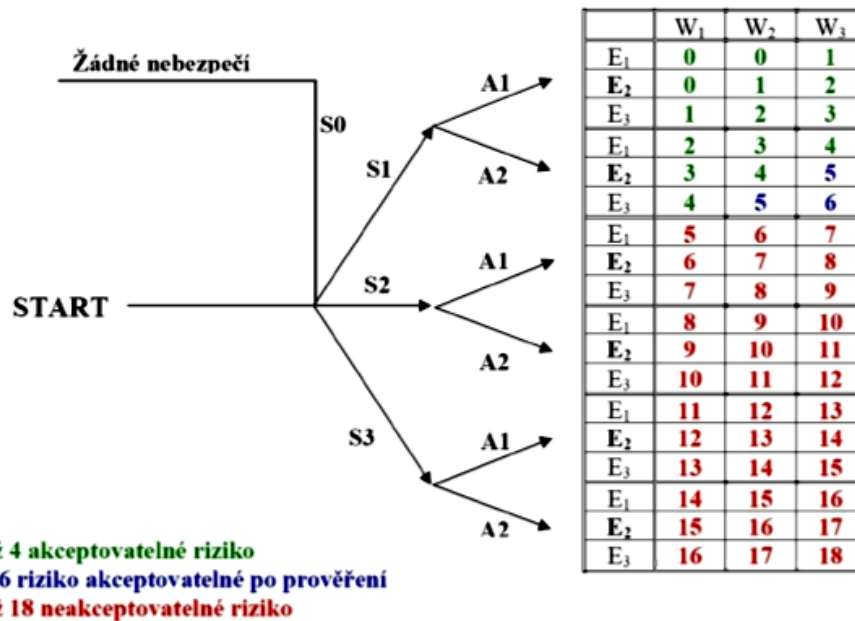


Ventilový blok	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> Nepohodlí a hučení v uších způsobené unikajícím tlakovým vzduchem 	Nebezpečí hluku (4.5)
Upínání palety	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> Vymrštění, stažení, naražení a stříhání způsobené zrychlením (kinetická energie), přiblížením pohybující se části k pevné a pohybujícími prvky Nepohodlí a hučení v uších způsobené unikajícím tlakovým vzduchem 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2), Nebezpečí hluku (4.5)
Stacionární senzorika	Pracovní prostor robotu	<ul style="list-style-type: none"> Stlačení způsobení přiblížením pohybujících se prvků k pevné části 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2)
Ochranné krytování	Periferie pracovního prostoru robotu	<ul style="list-style-type: none"> Zakopnutí a pád způsobené výškou od podlahy 	Mechanická nebezpečí (4.2.1, 4.2.2)
Dopravník	Pracovní prostor robotu	-----	-----
Technologická paleta	Pracovní prostor robotu	-----	-----
Automobilové sedadlo	Pracovní prostor robotu	-----	-----
Bezpečnostní okruh		-----	-----

Tabulka 7: Identifikovaná relevantní nebezpečí strojního zařízení [44]

Po identifikaci relevantních nebezpečí následuje identifikace nebezpečí s ohledem na celý životní cyklus zařízení. Součástí identifikace nebezpečí je odhad jejich počátečního rizika. Posouzení rizika a přiřazení hodnoty závažnosti se děje pomocí grafu pro odhad velikosti rizika s definovanými hranicemi akceptace rizik (viz. Graf č. 4). Životní cyklus strojního zařízení lze rozdělit do čtyř období:

- Výroba, montáž, transport a instalace zařízení
- Seřízení a testování zařízením před spuštěním do plného provozu
- Provoz
- Likvidace zařízení



Graf č. 4: Graf pro odhad velikosti rizika s hranicí akceptovatelnosti [41]

Význam jednotlivých kombinací písmen s číslem je uveden v následující tabulce (viz. Tabulka 8).

Závažnost škody případně úrazu:	
S0	Žádné nebezpečí
S1	Lehké poškození s přechodnými následky
S2	Těžké zranění s trvalými následky
S3	Smrt
Vystavení osob nebezpečím (doba pobytu v oblasti nebezpečí):	
A1	Zřídka až častěji
A2	Často až trvale
Možnost vyvarování se nebo omezení škody (úrazu):	
E1	Možné
E2	Možné za určitých okolností
E3	Sotva možné
Pravděpodobnost výskytu škody (úrazu):	
W1	Malá či nepravděpodobná
W2	Střední, tzn., že je pravděpodobný výskyt škody vícekrát za život jedince
W3	Velká, tzn., že je možný častý výskyt škody

Tabulka 8: Kritéria závažnosti škody a pravděpodobnosti výskytu rizika [41]

[41], [46], [47]

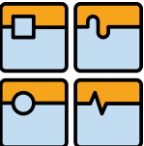
12.2.3 Hodnocení a případné snížení rizika

V následující tabulce (viz. Tabulka 9) je ukázán postup odhadu počátečního rizika na jednom identifikovaném nebezpečí, které vzniká v průběhu provozu robotizovaného pracoviště. Takovéto formuláře jsou vypisovány pro všechna evidovaná nebezpečí, zaznamenávají postupy pro snižování rizika a prohlásí opatření za dostatečná až v případě, kdy riziko bude akceptovatelné a opatření dostačující.

Formuláře pro odhad rizika jsou zálohovány a v případě potřeby výrobcem předkládány jako dokument o provedení analýzy rizik pro dané strojní zařízení.

VUT v Brně FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO ODHAD RIZIKA Zpracoval: Bc. Jan Kafuněk		Robotizované pracoviště FANUC
				Datum: 18. 5. 2015
Číslo nebezpečí	Identif. číslo	Označení nebezpečí 1. Mechanická nebezpečí		
3.3	1	Nebezpečí od pohybujících se částí stroje		
Životní etapa stroje:	Provoz	Nebezpečný prostor: Pracovní dosah robotu		
Ohrožení osoby:	Obsluha, okolní operátoři, návštěvníci	Provozní stav stroje: Stroj v provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí vymštnění, stlačení, zrychlení, naražení, stříhu, odření Robot v automatickém režimu montáže			
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 – Smrt		Velikost rizika 18
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – Často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Sotva možné		
	Pst. Výskytu nebezpečné situace:	W2 – Výskyt škody vícekrát za život		
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci (dle ČSN EN ISO 12100-1:2004)				
Popis opatření:	Pracoviště je oploceno pro zamezení vniknutí osob do pracovního prostoru. Přístupové dveře jsou v průběhu provozu uzamčeny elektromechanickými bezpečnostními zámky. Pro vstup do pracovního prostoru nutno potvrdit odemknutí bezpečnostních zámek a pro spuštění opět potvrdit uzavření dveří.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 – Smrt		Velikost rizika 12
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – Možné za určitých okolností		
	Pst. Výskytu nebezpečné situace:	W1 – Malá či nepravděpodobná		
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření (dle ČSN EN ISO 12100-1:2004)				
Popis opatření:	Bezpečnostní zámky dveří umožňují otevření přístupových dveří zevnitř pracovního prostoru. Začátek provozu pracoviště je předem signalizován specifickým zvukovým signálem a zařízení má časovou prodlevu ke spuštění do plného automatického cyklu.			
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžká zranění (trvalé následky)		Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečné situace:	W1 – malá		
KROK 3: Informace pro používání (dle ČSN EN ISO 12100-1:2004)				
Popis opatření:	Řádně proškolený personál oprávněný k obsluze a údržbě zařízení. Informace s výstrahami a popisem stavu stroje řádně uvedené v návodu k zařízení. Výstražné tabulky a popisky viditelně umístěné na zařízení.			
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžká zranění (trvalé následky)		Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – možné		
	Pst. Výskytu nebezpečné situace:	W1 – malá		
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná.	Jan Kafuněk		Dne: 19.5.2015

Tabulka 9: Formulář pro odhad a snížení rizika [41]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 86
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ZÁVĚR

Předložená diplomová práce je složena ze dvou základních částí. Část rešeršní je věnována konstrukci a současnému stavu montážního procesu u automobilových sedadel se zaměřením na šroubové spoje. Část konstrukční popisuje postup při návrhu dvou rozdílných variant robotizovaného pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu. Postup návrhu je zahájen zpracováním požadavků a podkladů od zadavatele diplomové práce. Následuje výběr průmyslového robotu, návrh konstrukce koncového efektoru včetně elektrického utahováku a HW Vision systému, až po konečný celkový návrh pracoviště.

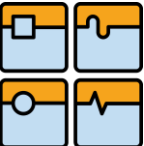
Pomocí multikriteriálního hodnocení obou navržených pracovišť je dána přednost robotizovanému pracovišti s průmyslovým robotem od výrobce FANUC před pracovištěm s robotem od společnosti Universal Robots. Vybrané pracoviště s pořizovacími náklady 122 950,- Euro, má vypočtenou návratnost vynaložených investic na 2,1 roku (v porovnání se stávajícím montážním pracovištěm obsluhovaným operátory). Délka pracovního cyklu navrženého robotizovaného pracoviště je 25,5 sekundy, což je o 4,5 sekundy kratší, nežli je stanoven nejrychlejší pracovní takt samotné montážní linky. Závěrem je na vybranou variantu robotizovaného pracoviště aplikována zjednodušená analýza rizik.

Dle mého názoru navrhované robotizované pracoviště pro automatické utahování šroubů spoje opěradlo-sedák a spony pásu, jehož návrhem se zabývá tato diplomová práce, plní většinu vstupních požadavků kladených od zadavatele diplomové práce, společnosti Mont-Tech, s.r.o. Brno. Jediným nesplněným parametrem je šířka robotizovaného pracoviště ve směru pohybu dopravníku, která je přesáhnutá o necelých 200mm od povolených 1300 mm. Nesplnění rozměru je důsledkem minimálního poskytnutého prostoru s nárokem na maximální bezpečnost operátorů v těsné blízkosti navrženého robotizovaného pracoviště. Nicméně se dá předpokládat, že zákazník, u kterého bude pracoviště instalováno, bude tuto rozměrovou odchylku s největší pravděpodobností akceptovat.


Vzhledem k aktuálnímu rozsahu této práce je nemožné se některým oblastem věnovat podrobněji. Přesto obsah informací a rozsah zpracování považuji za dostatečný vzhledem k zadání diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Auto SAP: Sdružení automobilového průmyslu. [online]. [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/>
- [2] KÉZROVÁ, Eva. Cena lidského života je 18,5 miliónu korun. In: Observatoř bezpečnosti silničního provozu [online]. Centrum dopravního výzkumu, 2013 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/>
- [3] Just-in-Time: Philosophy of complete elimination of waste. In: TOYOTA: Toyota Global Site [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.toyota-global.com/>
- [4] Citace.com [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>
- [5] Classicdrive.com [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.classicdriver.com/>
- [6] Presseportal.de [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.presseportal.de/>
- [7] Johnsoncontrols.cz [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.johnsoncontrols.cz/>
- [8] Porsche Car Configurator. Porsche Inter Auto CZ spol. s r.o. [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.porsche.com/>
- [9] ŠKODA AUTO car configurator. ŠKODA AUTO a.s. [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://cc-cloud.skoda-auto.com/cze/cze/cs-cz>
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. *The theory of basic kinematic chain structures and its effect on their application in the design of industrial robot positioning mechanisms*. Brno: CERM, 2001, 70 s. ISBN 80-720-4196-7.
- [11] Doležalová s.r.o.: Prodej a servis nářadí. Nářadí Doležalova s.r.o [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.narex-makita.cz/>
- [12] Google: Česká republika. Google [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=V%C3%BDrobce+automobilov%C3%BDch+sedadel&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=awkTVenWM4T3UPXVg5gM
- [13] Atlas Copco: Czech Republic. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.atlascopco.cz/>
- [14] "Milníky průmyslu". *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. Praha: Vogel Publishing, 2014, č. 12, 62 - 67.
- [15] SPARC a roboty na AUTOMATICA 2014. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. Praha: Vogel Publishing, 2014, č. 7, 8, 60 - 61.
- [16] KO-KEN TOOL CO., LTD. Ko-KenTools [online]. 2013 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.koken-tool.co.jp/catalog/en/#page=1>
- [17] Universal Robots. UNIVERSAL ROBOTS A/S. [online]. [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: <http://www.universal-robots.com/cs/>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 88
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [18] Universal Robots v Praze. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. Praha: Vogel Publishing, 2014, č. 6, s. 11.
- [19] UNIVERSAL ROBOTS. User Manual: UR10 / CB3 Originalinstructions [online]. Version 3.0. Universal Robots A/S, 2014 [cit. 2015-03-22]. Dostupné z: http://www.universal-robots.com/media/8764/ur10_user_manual_gb.pdf
- [20] Robot pomáhá zlevnit výrobu. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. Praha: Vogel Publishing, 2014, č. 6, s. 50.
- [21] First Robot Collaborates Directly with Employees in Volkswagen Plant. HighBeam: Research [online]. 2013 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.highbeam.com/doc/1G1-341238768.html>
- [22] Roboty zjednodušily soustružení plastových dílů. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství, Monotematická příloha Plasty*. Praha: Vogel Publishing, 2015, č. 3, s. 28.
- [23] FANUC: Průmyslové roboty. FANUC Robotics [online]. 2009 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.fanucrobotics.cz/cs>
- [24] KUKA Robotics: Průmyslové roboty. [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
- [25] Příručka pro dodavatele. Krajská hospodářská komora Královéhradeckého kraje [online]. 2006 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/2-prumysl-plastu/prirucka-pro-dodavatele.pdf>
- [26] Product Characteristics Classification (CC/SC Standard): KSS 050. KSS: KeySafetySystems [online]. 2012 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: http://www.keysafetyinc.com/supplier_docs/1033079_3.pdf
- [27] FANUC Robot M-20iA/35M: FANUC CORPORATION. [online]. 2013 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: http://www.robotforum.ru/assets/files/Fanuc_pdf/M-20iA35M_linebuilder_manual_EN_02.pdf
- [28] Integrated Robot Vision iRVision. FANUC Intelligent Robot [online]. 2014 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.fanucsa.co.za/Data/INTELLIGENT.pdf>
- [29] Designfax: Tech for OEM Design Engineers. Measuring robots ensure 'just-in-time' assembly of car seats [online]. 2013, April 2013 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.designfax.net/cms/dfx/opens/article-view-dfx.php?nid=4&bid=231&et=featurearticle&pn=01>
- [30] SICK: Sensor Intelligence. SICK [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/Pages/Homepage1.aspx>
- [31] BALLUFF: sensors worldwide. [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.balluff.com/balluff/MCZ/cs/home.jsp>
- [32] SONY: For Professionals. [online]. 2005 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <https://pro.sony.com/bbsc/home.do>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 89
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [33] GOYO OPTICAL: Industrial Lenses. [online]. 1991 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.gyooptical.com/products/industrial/manual.html>
- [34] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vik. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [35] E-konstruktor: Portál pro strojní konstruktéry. [online]. 2013 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/>
- [36] STRASSER: inspired by ideas. [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.strasser-gmbh.com/en/>
- [37] SMC Detailní katalog pneumatických prvků 2011: Lineární a kyvné pohony, úchopné hlavice a snímače polohy. svazek 3. Brno, Česká republika: SMC Corporation, 2011.
- [38] Kurzycz: Kurz Eura, Euro EUR, aktuální kurzy koruny a měn [online]. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/>
- [39] KNOFLÍČEK, R. *Mobilní robotické systémy*. Brno: ÚVSSR FSI VUT Brno, 1996.
- [40] FALTA, L. *Robotizované pracoviště pro ukládání 25 kg pytlů maltové směsi na paletu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 89 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..
- [41] *MM Průmyslové spektrum: Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2009. ISSN 1212-2572.
- [42] BLECHA, Petr. Management technických rizik u výrobních strojů: Technical risk management in production machines : teze habilitační práce. Brno: VUTIUM, 2010, 32 s. ISBN 978-80-214-4062-3.
- [43] *Safety Pocket Reader: Normy v Evropě - Teorie a praxe*. Praha: SICK Sensor Intelligence, 2014.
- [44] VINCENC, J. *Návrh zařízení pro testování a měření ovládacích sil automobilových sedadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 103 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Bradáč, Ph.D..
- [45] Bezpečnost a rizika strojních zařízení. *MM Průmyslové spektrum: Odborné strojírenské zpravodajství*. Praha: Vogel Publishing, 2013, č. 6, 84 - 85.
- [46] ČSN EN ISO 14121-1. Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika - Část 1: Zásady. Praha: ČNI, 2008.
- [47] ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: ČNI, 2011.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
2D		Dvourozměrný
3D		Třírozměrný
a	[mm]	Horizontální vzdálenost středu šroubu od těžiště šroubového spoje
A _l		Hliník
A _s	[mm ²]	Výpočtový průřez šroubu
b	[mm]	Vertikální vzdálenost středu šroubu od těžiště šroubového spoje
Bc.		Akademický titul
CC		Critical Characteristics
CCD		Zařízení s nábojovou vazbou
CNC		Computer numeric control – počítačem řízeno
ČSN		Česká státní norma
d	[mm]	Průměr šroubu
d ₀	[mm]	Střední průměr mezikruží dosedací plochy pod hlavou šroubu
d ₂	[mm]	Střední průměr závitu šroubu
d ₃	[mm]	Malý průměr ve vrcholu zaoblení závitového dna
d _h	[mm]	Průměr průchozí díry pro šroub
d _r	[-]	Zvolené rozlišení pro velikost snímané plochy
DPH		Daň z přidané hodnoty
E		Elektrická energie
E _p		Pneumatika
EN		Evropská norma
EU		Evropská unie
f	[-]	Součinitel tření v závitech
f _o	[-]	Součinitel tření mezi deskou a hlavou šroubu
f _s	[-]	Součinitel tření mezi materiály desek
F	[N]	Síla působící na každý šroub od momentu M _G
F _i	[N]	Síla potřebná pro předpětí jednoho šroubu
FMEA		Analýza poruch a jejich důsledků
FSI		Fakulta strojního inženýrství
g _n	[-]	Přiřazená váha významu daného parametru
H	[mm]	Výška základního trojúhelníku v závitu
HW		Hardware
i	[-]	Počet šroubů ve spoji
In		Informace



DIPLOMOVÁ PRÁCE

ISO		Mezinárodní organizace pro normalizaci
k_k	[-]	Součinitel bezpečnosti vůči meznímu stavu
k_n	[-]	Návrhový součinitel
K	[mm/s]	Rychlost části těla dle EN ISO 13855
Kč		Koruna česká – měna
LCD		Display z tekutých krystalů
LED		Svítilivá dioda
M	[Nm]	Minimální utahovací moment na každý šroub spoje za vzniku žádaného předepnutí šroubu
M_G	[Nm]	Reakční moment v těžišti šroubového spoje
M_{MAX}	[Nm]	Maximální moment od elektr. uhlového utahováku
M_o	[Nm]	Moment nutný pro překonání tření pod hlavou šroubu při utahování
M_z	[Nm]	Moment nutný pro překročení tření v závitech při utahování šroubů
n	[-]	Počet hodnocených parametrů
$n_{m\acute{e}s\acute{i}c}$	[-]	Počet měsíců v roce
$n_{oper.}$	[-]	Počet pracujících operátorů na mont. pracovišti
N_1	[Kč]	Roční provozní náklady na stávající pracoviště
N_2	[Kč]	Roční provozní náklady na robotizované pracoviště
N_c	[Kč]	Rozdíl provozních nákladů
N_e	[Kč]	Náklady na spotřebu elektrické energie
N_i	[rok]	Počet let do návratnosti investic
$N_{m\acute{e}s\acute{i}c}$	[Kč]	Měsíční náklady na jednoho operátora
$N_{operator}$	[Kč]	Roční náklady na obsluhu pracoviště
NC		Numerical control - číslicové řízení
N_u	[Kč]	Roční náklady na údržbu a opravy
$O_{mont.prac.}$	[Kč]	Odpisy na stávající montážní pracoviště
$O_{robot.prac.}$	[Kč]	Odpisy na robotizované pracoviště
Obr.		Obrázek
Ozn.		Označení
P	[mm]	Rozteč šroubů
P_h	[mm]	Stoupání jednochodého závitu
$P_{mont.prac.}$	[Kč]	Pořizovací cena stávajícího pracoviště
$P_{př}$	[kW]	Součet příkonů všech zařízení pracoviště
P_r	[Kč]	Rozdíl pořizovacích nákladů
$P_{robot.prac.}$	[Kč]	Pořizovací náklady na robotizované pracoviště
P_s	[-]	Počet pracovních směn
P_a		Aktivní polohová vazba
P_s		Pasivní polohová vazba
$P_{st.}$		Pravděpodobnost



DIPLOMOVÁ PRÁCE

PC		Osobní počítač
PLC		Průmyslový počítač
PR		Průmyslový robot
r	[mm]	Poloměr roztečné kružnice
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu pro šroub daného materiálu
RČF	[h]	Roční časový fond pro 1 směnu
ŘS		Řídicí systém
s	[mm]	Průměr zápusťné hlavy šroubu
S	[mm]	Bezpečná vzdálenost optické závory od zařízení
S_e	[Kč/kWh]	Přibližná sazba elektrické energie
SC		Significant Characteristics
SW		Software
t_i	[-]	Stupnice kvalitativního a kvantitativního hodnocení
t_p	[%]	Přibližný čas provozu
$t_{\text{život.}}$	[rok]	Předpokládaná doba opotřebitelnosti zařízení
T	[s]	Čas nutný pro zastavení celého zařízení
$T_{1...n}$	[-]	Definované technické a ekonomické parametry
T_{stroj}	[s]	Čas zastavení zařízení
$T_{\text{závora}}$	[s]	Čas detekce přerušení paprsku optické závory
UR		Universal Robots – výrobce průmyslových robotů
UVSSR		Ústav výrobních strojů, systémů a robotů
vč.		Včetně
VUT		Vysoké učení technické
X_o	[%]	Odpisový koeficient
Δ_1	[Kč]	Finanční rozdíl pořizovacích cen pracoviště
Δ_2	[Kč]	Finanční rozdíl provozních nákladů na pracoviště
α	[°]	Úhel metrického závitu dle ISO
ε	[-]	Ekonomická hodnota pro multikriteriální hodnocení
σ_i	[MPa]	Napětí od síly předepnutí
σ_{red}	[MPa]	Redukované napětí
τ	[-]	Technická hodnota pro multikriteriální hodnocení
τ_s	[MPa]	Smykové napětí ve šroubu
.stp		Formát 3D modelů pracoviště

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha

Příloha č. 1: Výkres délek přejezdů koncového efektoru robotu

Příloha č. 2: Technická specifikace robotu M-20iA/35M [23]

Příloha č. 3: Komunikace se servisním oddělením společnosti Universal Robots

Příloha č. 4: Technická specifikace robotu UR10 [17]

Příloha č. 5: Parametry výkonové a rozměrové elektrického utahováku od Atlas Copco ETV ST81-70-13 [13]

Příloha č. 6: Technická specifikace objektivu GOYO OPTICAL GMN36014MCN-1 [33]

Příloha č. 7: Technické parametry kamery SICK Inspector PI 50

Příloha č. 8: Průběh testování iRVision systému v obrazech

- Výkresová dokumentace

15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště FANUC

15xxx-04-00-00 Koncový efektor

15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště Universal Robots

- CD příloha

- 2015_DP_Kafunek_Jan_133566

- 2015_Poster_DP_Kafunek_Jan_133566

- Výkresová dokumentace

- ✓ 15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště FANUC

- ✓ 15xxx-04-00-00 Koncový efektor

- ✓ 15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště Universal Robots

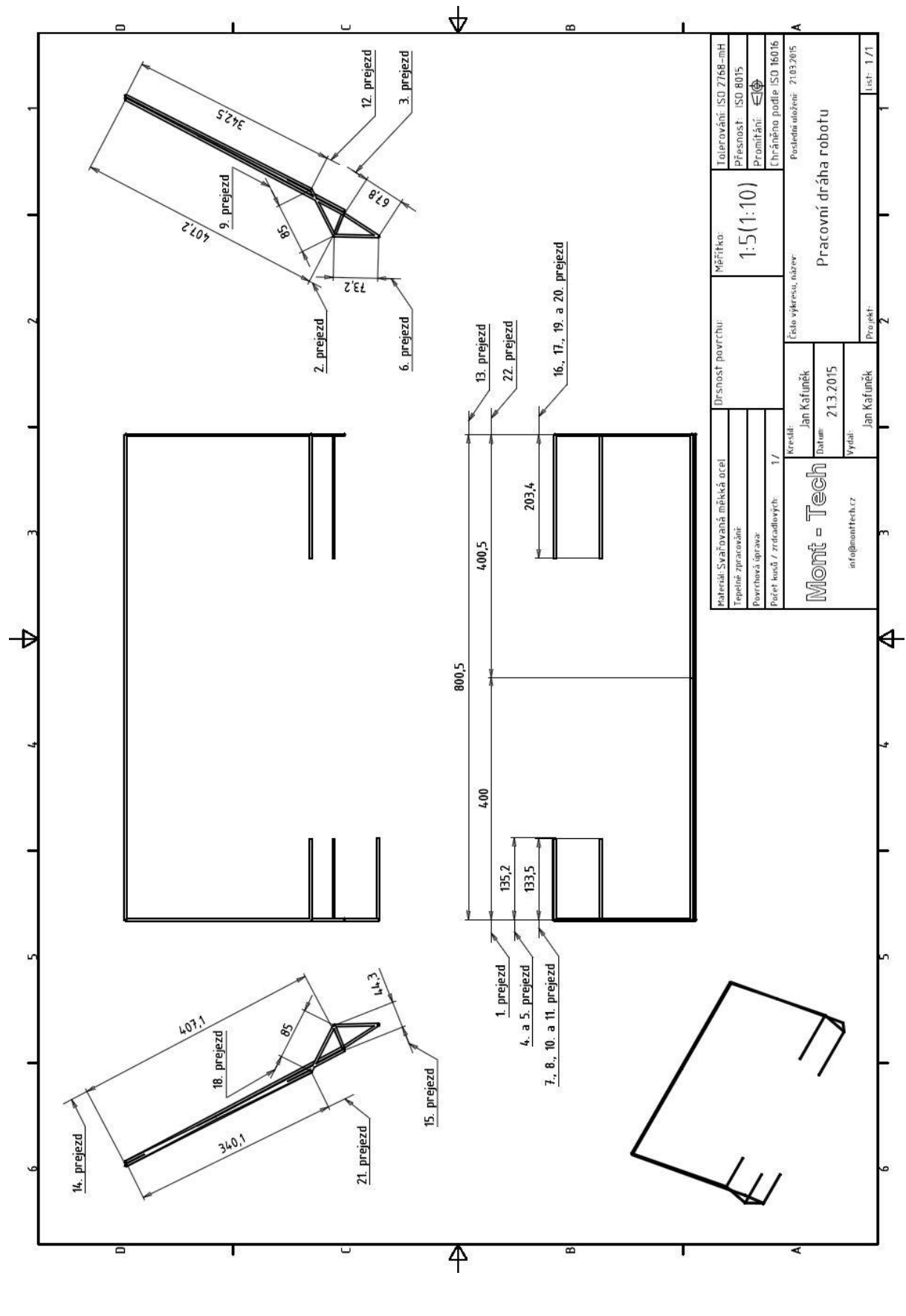
- 3D Data

- ✓ 15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště FANUC.stp

- ✓ 15xxx-00-00-00 Robotizované pracoviště Universal Robots.stp



Příloha č. 1: Výkres délek přejezdů koncového efektoru robotu





Příloha č. 2: Technická specifikace robotu M-20iA/35M [23]

FANUC

Domů > Produkty > Průmyslové roboty > M-20 Series > M-20iA/35M

M-20iA/35M

Technická data



Model	M-20iA/35M
Řízené osy	6
Řízení	R-30iB
Maximální zatížitelnost zápěstí	35
Opakovatelnost	0.08
Váha	252
Dosah	1811
Rozsah pohybu	J1 370 J2 260 J3 458 J4 400 J5 280 J6 900
Maximální rychlost	J1 180 J2 180 J3 200 J4 350 J5 350 J6 400
Moment	J4 110/4 J5 110/4 J6 60.0/1.5
IP krytí	Tělo IP54 std. (IP 55 volitelné) zápěstí & J3 rameno IP67



Příloha č. 3: Komunikace se servisním oddělením společnosti Universal Robots



Jan Kafuněk [REDACTED]

Max. torque

Počet zpráv: 9

Jan Kafuněk [REDACTED]

20. března 2015 13:00

Komu: support@universal-robots.com

Dear Universal Robots!

I'm student from Brno University of Technology and I have a question about your robots UR10 and UR5. I work on my diploma thesis, topic is about car seats assembly process and I really want to use your robot (UR5 or UR10) for my solution. I saw the same application on your web sides and I found few web pages about this application in Lear Corporation, Besigheim, Germany.

At this web pages is written, that maximum possible screw torque which is provided by end-effector (electric screwdriver) is up to 35Nm (with UR5). I'd like to know, if this information is correct and which max. torque values by end-effector can I have in application with UR10 and UR5? I still can't find this information in your manuals.

Thank you for your time and informations!

Bc. Jan Kafuněk

Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

20. března 2015 13:14

Komu: Jan Kafuněk [REDACTED]

Hello,

Here is a list of the max for each joint size - hope this helps.

Max. joint torques

Table of max. torque values for the different joint sizes

JOINT SIZE	TORQUE
Size 0	12 Nm
Size 1	28 Nm
Size 2	56 Nm
Size 3	150 Nm
Size 4	330 Nm

Best regards
Per Lordin Nielsen
Corporate Technical Support

Universal Robots A/S
support@universal-robots.com



Jan Kafuněk [redacted]
Komu: Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

20. března 2015 13:41

Dear Per Londin Nielsen!

Thank you! These informations are exactly what I need. But now I have problem - which joint sizes are applied on UR10 and UR5.

I expect, that: UR10 - base is Size 4, shoulder and elbow is Size 3 and wrists are Size 2
UR 5 - base is Size 3, shoulder and elbow is Size 2 and wrists are Size 1
UR 3 - base is Size 2, shoulder and elbow is Size 1 and wrists are Size 0

Is it correct or I'm wrong?

Thank you and have a nice day!

Jan Kafuněk
[Citovaný text byl skryt]

Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>
Komu: Jan Kafuněk [redacted]

20. března 2015 13:43

Hi,

UR10 has size 2,3 and 4

UR5 has size 3 and 1

UR3 has size 2,1 and 0

Regards

Per

Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>
Komu: Jan Kafuněk [redacted]

20. března 2015 13:46

Sorry,
Misread your email.

UR10 - base and shoulder is Size 4, and elbow is Size 3 and wrists are Size 2

UR 5 - base, shoulder and elbow is Size 3 and wrists are Size 1

UR 3 - base and shoulder is Size 2, elbow is Size 1 and wrists are Size 0

Regards

Per

Jan Kafuněk [redacted]
Komu: Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

23. března 2015 14:27

Dear Mr. Nielsen.

I'm sorry, but I have next question about our previous communication. I expect that values of maximal allowed torque in each joint is value for torques with direction around the axis of the joint. But which allowed values of torque are in other directions (around axis which is perpendicular to the axis of the joint)? The torques which acts compressive load to the bearing inside the joints. Picture for illustration is added. I hope it helps.

Thank you, Jan Kafuněk
[Citovaný text byl skryt]



UR10 with axis.bmp
4089K



Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

23. března 2015 14:36

Komu: Jan Kafuněk [redacted]

Hello Jan,

Can you show a situation where none of the joints are having a torque.
The situation you have shown on the illustration. The torque is moved to the Base.

I think you will be in the singularity situation if the torque is not in one of the joints.

Best regards
Uffe Nortoft

Corporate Technical Support

Universal Robots A/S
support@universal-robots.com

Jan Kafuněk [redacted]

23. března 2015 15:52

Komu: Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

Hello Uffe!

Hope, it's last question! Torque with direction around the axis of the joint is clear. Now I added next picture, where is a torque from actuator (screw driver up to 80 Nm) which acts as a bending moment to the bearings inside the joint. I like to know allowed value of this torque with respect to lifetime of bearing.

Thank you and have a nice day!

Jan
[Citovaný text byl skryt]



UR5_Robot02.jpg
372K

Corporate Tech Support <support@universal-robots.com>

23. března 2015 16:47

Komu: Jan Kafuněk [redacted]

Hello Jan,

This is fully allowed.

As I understand your drawing it is the wrist 1 that have the torque from the screwdriver.

We often see in screw applications that the screwdriver is mounted perpendicular to the wrist 3 axes, that is a fine way.

Best regards
Uffe Nortoft

Corporate Technical Support

Universal Robots A/S
support@universal-robots.com



Příloha č. 4: Technická specifikace robotu UR10 [17]



UNIVERSAL ROBOTS

Technická specifikace UR10

Obj.č. 110110

Neneseme žádnou odpovědnost za jakékoli tiskové chyby nebo technické změny.

6-osé robotické rameno s operačním rádiem 1300 mm

Hmotnost:	28.9 kg															
Nominální zatížení (Nosnost):	10 kg															
Operační rádius:	1300 mm															
Rozsah kloubů:	+/- 360°															
Rychlost:	Základna a rameno: 120°/s. Ostatní klouby: 180°/s. Nástroj: cca 1 m/s.															
Opakovatelná přesnost:	+/- 0,1 mm															
Rozměry základny:	Ø190 mm															
Počet stupňů volnosti:	6 otočných kloubů															
Rozměry kontroléru (ŠxVxH):	475 mm x 423 mm x 268 mm															
Porty I/O:	<table><thead><tr><th></th><th>Kontrolér</th><th>Připojení nástroje:</th></tr></thead><tbody><tr><td>Digitální vstupy</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>Digitální výstupy</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>Analogové vstupy</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>Analogové výstupy</td><td>2</td><td>-</td></tr></tbody></table>		Kontrolér	Připojení nástroje:	Digitální vstupy	16	2	Digitální výstupy	16	2	Analogové vstupy	2	2	Analogové výstupy	2	-
	Kontrolér	Připojení nástroje:														
Digitální vstupy	16	2														
Digitální výstupy	16	2														
Analogové vstupy	2	2														
Analogové výstupy	2	-														
Napájení vstupů a výstupů:	24 V 2A kontrolér a 12 V/24 V 600mA nástroj															
Komunikační rozhraní:	TCP/IP 100 Mbit; IEEE 802.3u, 100BASE-TX Ethernet & Modbus TCP															
Programování:	Grafické uživatelské rozhraní PolyScope na 12" dotykové LCD obrazovce															
Hlučnost:	Tichý															
Stupeň krytí IP:	IP54															
Příkon:	Cca 350 W při používání typického programu															
Bezpečnost:	15 pokročilých bezpečnostních funkcí Bezpečný provoz dle normy: EN ISO 13849:2008 PL d EN ISO 10218-1:2011, klauzule 5.4.3															
Materiály:	Hliník, plast ABS, plast PP															
Provozní teplota:	Robot může pracovat při teplotách v rozmezí 0-50 °C															
Napájení:	100-240 VAC, 50-60 Hz															
Kabeláž:	Kabel mezi robotem a kontrolérem (6 m) Kabel mezi dotykovou obrazovkou a kontrolérem (4,5 m)															

Universal Robots A/S
Energivej 25
DK-5260 Odense S
Dánsko
+45 89 93 89 89

www.universal-robots.com
sales@universal-robots.com

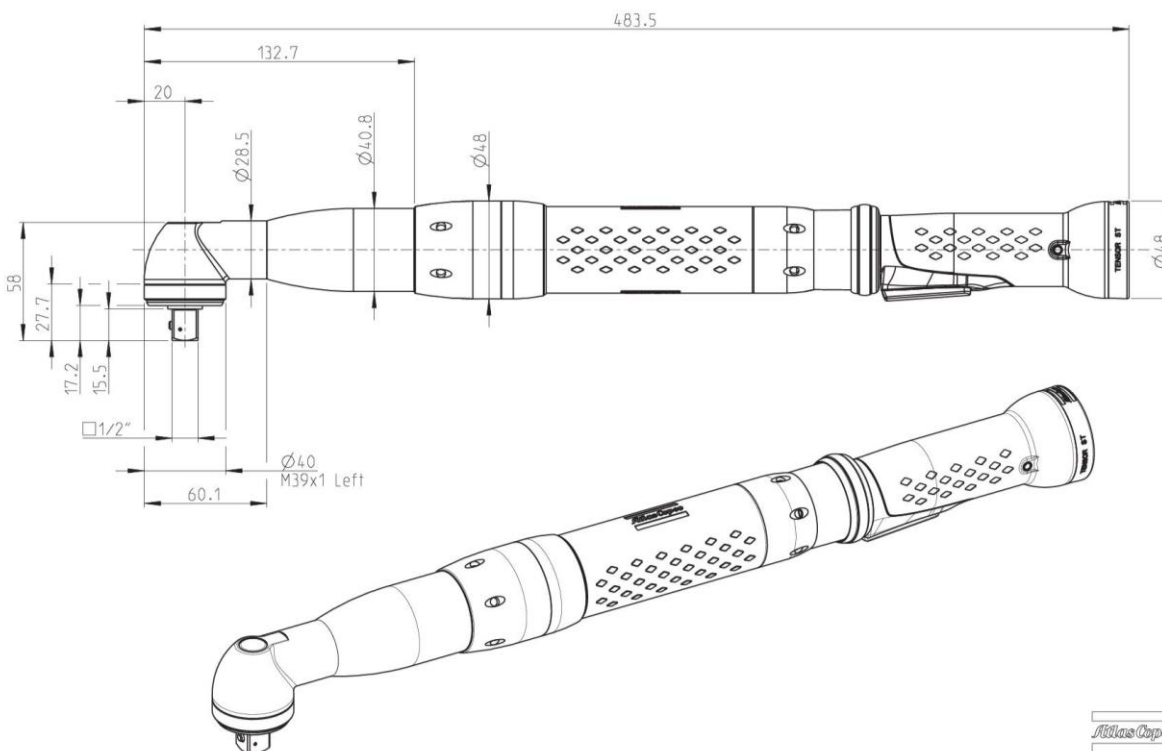
NOVÉ RYSY:
Absolutní enkodéry
Nastavitelné bezpečnostní parametry
TUV certifikace pro provoz ve spolupráci s lidmi





Příloha č. 5: Parametry výkonové a rozměrové elektrického utahováku od Atlas Copco ETV ST81-70-13 [13]

Technické údaje	
Typ modelu	Úhlové
Otáčky	790 r/min
Hmotnost	2.3 kg
Rozsah utahovacího momentu	20 - 80 Nm
Délka	485 mm
Vzdálenost CS	20 mm
Výška	58 mm
Výkon motoru	1300 W
Napětí motoru	200 Volt
Motor voltage type	3 a.c.
Výstupní čtyřhran	12.7 mm
Standard hlučnosti	ISO 15744
Akustický tlak	<70 dB(A)
Standard vibrací	ISO 28927-2
Hodnota vibrací	<2.5 m/s ²



Atlas Copco

Date	Scale	Ordering No.	Model
2014-02-19	1:2	8433 2053 48	ETV ST81-70-13



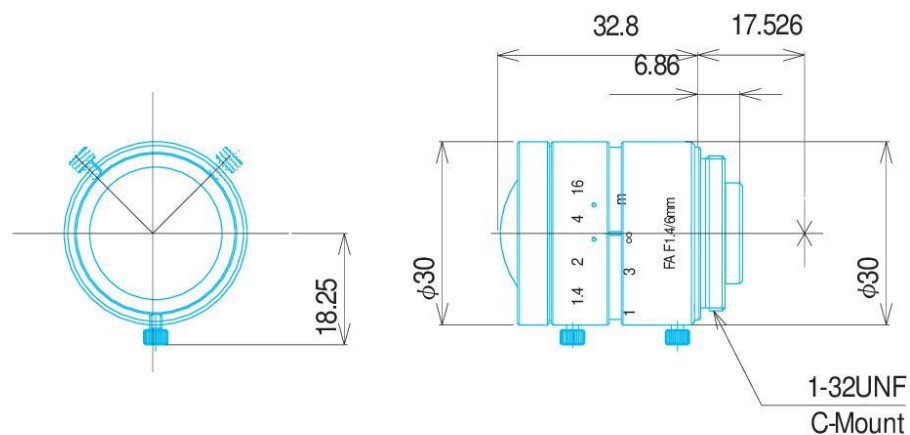
Příloha č. 6: Technická specifikace objektivu GOYO OPTICAL GMN36014MCN-1 [33]

GOYO OPTICAL INC.

Industrial Lens

Manual Lenses

Item No. GMN36014MCN-1



ITEM NO.		GMN36014MCN-1
Focal Length		6 (mm)
Iris Range		F1.4 - 16
Angle of View (Hx V x D)	1/2"	59.4° x 44.5° x 74.3°
	2/3"	81.9° x 61.2° x 102.9°
MOD		0.1 (m)
Filter Thread		-
Dimension (D x L)		φ 30.0 x 33.0 (mm)
Weight		65 (g)

GOYO OPTICAL Inc.

Japanese Office

3-8-31 HAMAZAKI,
ASAKA,
SAITAMA 351-0033,
JAPAN,
TEL:048-474-2235
FAX:048-474-7373
E-MAIL:info@goyooptical.com

German Office

KURHAUSSTR,3
ROOM N°19
D-55543 BAD KREUZNACH
GERMANY
TEL:0671-4822255
FAX:0671-43603
E-MAIL:info@goyooptical.com



DIPLOMOVÁ PRÁCE

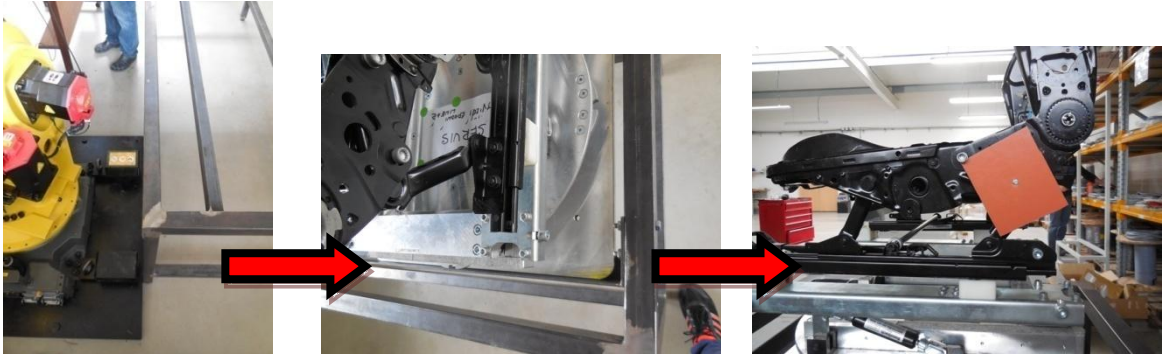
Příloha č. 7: Technické parametry kamery SICK Inspector PI 50 [30]

H Technical data		VSPF- SF2113 PI50	VSPF- SF2413 PI50IR
Working distance	50 ... ∞ mm		
Working distance, internal illumination	50 ... 200 mm		
Field of view, internal illumination	22 x 15 ... 79 x 58 mm ²		
Optics	Exchangeable		
Max performance	200 fps		
Typical performance	40 fps		
Repeatability			
- Position	±0.2 pixels (object locator) ±0.1 pixels (blob)		
- Angle	±0.05° (object locator) ±0.02° (blob)		
Toolset	Object locator Blob, Pixel count, Edge pixel count, Polygon, Pattern		
Number of inspections	32 regions		
Reference images	32 objects		
Offline support	Emulator		
Production control			
- Operator interface	SOPAS, Inspector Viewer Web Server		
- Data store and retrieve	30 images device log Record images on PC Store images to FTP		
- Ethernet communication	EtherNet/IP, Ethernet Raw configurable Web API		
- I/O box extension	5 inputs for object selection 16 outputs		
Resolution	640 x 480 pixels		
Light source	White ring light: 6x high power LEDs IR ring light, 850 nm		
- LED class	Risk group 1 (low risk, IEC62471:2006) Risk group 0 (low risk, IEC62471:2006)		
Spectral response	Approx. 400 ... 750 nm Approx. 370 nm... 900 nm		
Supply voltage VS	24 VDC ±20 %		
- Ripple	< 5 Vpp		
- Current consumption	< 450 mA without load		
Digital outputs	3 outputs 24 V (B-type)		
- Outputs current	100 mA		
- Default outputs	No object detect, all pass, any fail		
- Configurable outputs	Output by logical expressions Store images to FTP overflow		
Control of external light	5 V TTL		
Digital inputs	4 inputs 24 V		
- Configurable inputs	External trigger, encoder, external teach, reference object selection		
- Max encoder frequency	40 kHz		
Interface	100 Mb Ethernet		
Ambient temperature ⁽¹⁾	Operation: 0 ... 45 °C Storage: -20 °C ... 70 °C		
Housing material	Aluminum		
- Window material	PMMA (plastic)		
Weight	350 g		
Enclosure rating	IP 67		
Mechanical shock load	EN 60068-2-27		
Vibration load	EN 60068-2-6		
Device specific accessories ⁽²⁾			
- Lenses, focal length	6 mm 8 mm 10 mm 16 mm		
- Glass front filters ⁽²⁾	Red (> 588 nm) Green (544 ± 53 nm) Blue (468 ± 62 nm) Visible block filter (> 730 nm)		
- Dome	Optimal for 50 mm working distance		
- I/O extension box	4 inputs, 8 outputs		
- I/O module	2 extra digital inputs 8 extra digital outputs		
- Inspector Viewer	Live image/log/statistics view and reference object change		



Příloha č. 8: Průběh testování iRVision systému v obrazech

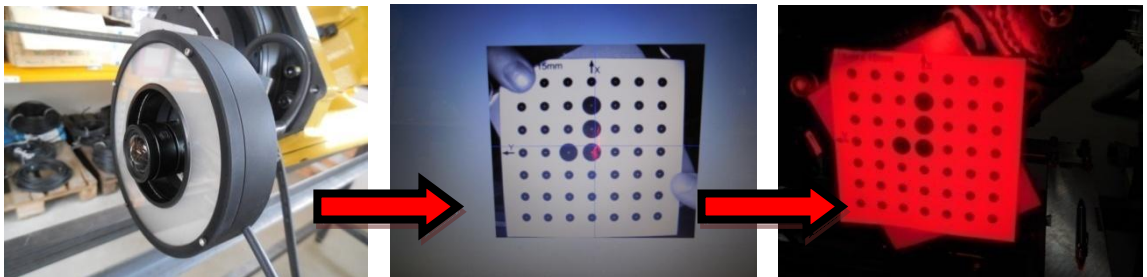
- Příprava pracoviště – ustavení robotu, dopravníku, palety a rámu sedadla



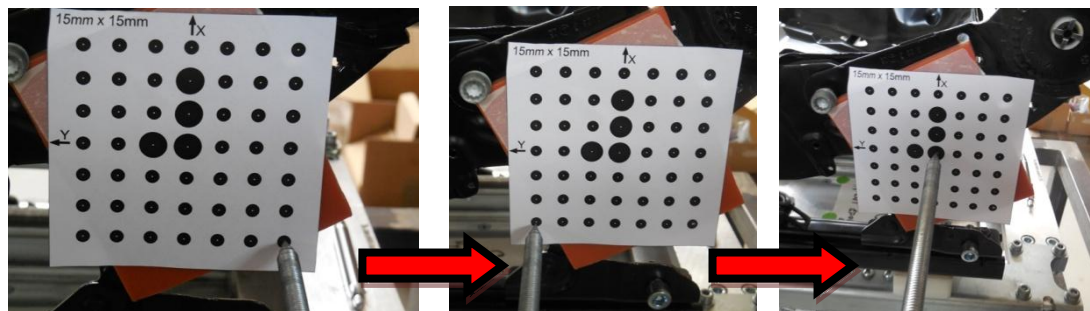
- iRVision systém – Upevnění iRVision hardwaru s trnem na přírubu, seřízení a otestování



- Výměna objektivu – Výměna objektivu a první zkoušky snímání celé kalibrační mřížky

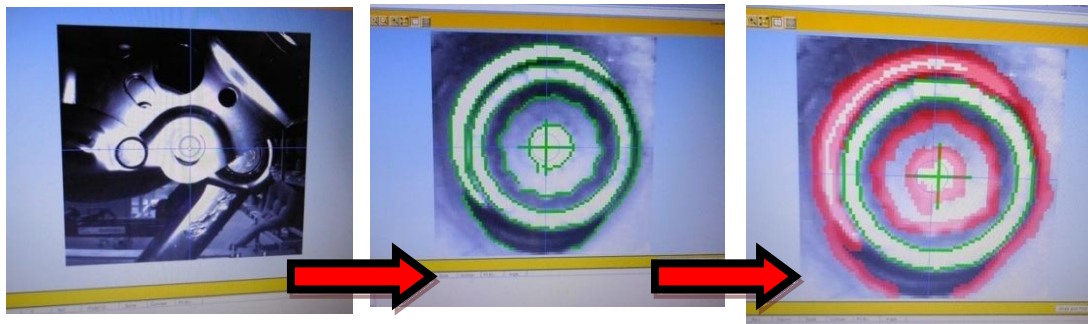


- Kalibrace obrazu – Kalibrace Vision systému pomocí ocelového trnu a kalibrační mřížky





- Definice hledané oblasti – Hledání hlavy šroubů pomocí mezikruží s odstraněním šumů



- Hledání šroubů – Hledání různě napolohovaných šroubů, hodnoty shody se vzorem



Model ID	Score	Contrast	Fit Err.
1	99.4	98.6	0.783
1	97.8	80.2	1.201

Model ID	Score	Contrast	Fit Err.
1	99.8	125.3	0.585

- Automatický režim – Výsledky polohování trnu s robotem v automatickém režimu

