



**FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI**

Studijní program: Konstruování strojů a technických zařízení

Číslo studijního programu: N0715A270017

Studijní specializace: Konstruování vozidel a manipulačních zařízení

NÁVRH KONSTRUKCE ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Tomáš Gust

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kořínek

Plzeň 2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš GUST
Osobní číslo:	S22N0028P
Studijní program:	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení
Specializace:	Konstruování vozidel a manipulačních zařízení
Téma práce:	Návrh konstrukce robotického pracoviště
Zadávací katedra:	Katedra konstruování strojů

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Návrh konstrukce robotického pracoviště pro manipulaci s díly. Pracoviště bude doplněno o periferii (např. lepení, kontrola dílů apod.). U výsledného navrženého řešení, provést komplexní zhodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematické specifikace požadavků.
2. Vypracování rozboru technických parametrů, zhodnocení norem.
3. Vypracování konstrukčního řešení.
4. Zhodnocení navrženého řešení.

Konzultant práce: Ing. Jan Prokeš – Strkan s.r.o.

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, S. a KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 1. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3;
[2] HOSNEDL, S.: Části a mechanismy strojů 1. Podklady k přednáškám KKS/CMS1. Plzeň: ZČU, 2012, ISBN 978-80-261-0125-3, <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/16830> příp. <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/cms1/studijni-materialy.html>
[3] HOSNEDL, S. Systémové konstrukční navrhování technických produktů.
[4] Podklady k přednáškám a projektům KKS/ZKM. Plzeň: ZČU, FST, KKS, 2020 <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/zkm/studijni-materialy.html>
[5] Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kořínek**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Ing. Zdeněk Chval, Ph.D.
vedoucí katedry

PŘÍLOHA K ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato příloha doplňuje obecné zadání diplomové práce tak, aby diplomová práce odpovídala řešenému projektu ve firmě STRKAN s.r.o. Studentovi je tak umožněno, použít konkrétní řešení v praxi. Jeho řešení poté bude uvedeno do provozu. Konkrétně se jedná o projekt SK23074 - Robotický nástřik rozpouštědlového lepidla.

Doplňující body zadání:

- Robotické pracoviště slouží k optimalizaci ručního procesu při operaci nanášení lepidla na plastové díly.
- Zařízení je koncipováno na plastové díly o rozměrech cca 300x300x50 mm. Viz model dílu.
- Půdorysný rozměr pracoviště by neměl přesahovat rozměry 3000x3000 mm.
- Výška pracoviště by měla být menší než 3500 mm.
- Použité lepidlo – Korapren FU 35.
- Výbušné prostředí Ex II 3G (Zóna 2).
- Pracoviště musí obsahovat aktivní ventilaci s přípravou na napojení na vzduchotechnický systém v hale.
- Zakládání dílů bude probíhat ručně operátorem.
- Použit robotické rameno výrobce Fanuc nebo ABB.
- Pracoviště koncipovat jako přemístitelné.
- K pracovišti je přiveden tlakový vzduch 10 bar, připojení do elektrické sítě je 3x400V, 50 Hz, 16A
- Řízení pomocí PLC Siemens.
- Na pracovišti provést automatické snímání typu založeného dílu.

Odpovědný pracovník – STRKAN s.r.o.: Ing. Jan Prokeš

V Plzni dne 1.10.2023

Podpis:

STRKAN s.r.o.
Lepánská 628
Raibovčova 301 00 Plzeň
IČ: 29157382, DIČ: CZ29157382

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval/a samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v Seznamu použitých zdrojů, který je součástí této práce a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS STAG.

V Plzni dne:

podpis autora

Poděkování

Velice rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Kořínkovi za podporu při řešení. Dále děkuji společnosti Strkan s.r.o. a konzultantovi Ing. Janu Prokešovi za podporu, cenné rady a možnost řešit vybrané téma jako svou diplomovou práci. Dále oceňuji, že mi bylo umožněno zvolit téma práce, která je zároveň skutečným projektem a navržené zařízení je vyráběno a dodáváno zákazníkovi zmíněné společnosti.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je zkonstruovat robotické pracoviště, které bude optimalizovat proces nanášení rozpouštědlového lepidla na plastové díly ve výbušném prostředí ATEX. V práci jsou systematicky zhodnoceny požadavky ze zadání a poznatky z harmonizovaných norem. V závislosti na zjištěných informacích jsou vytvořeny 2 varianty řešení, ze kterých je po zhodnocení následně vybrána ta optimální. Pro konstrukci je vybráno vhodné robotické rameno s koncovým efektozem. Konstrukce je zároveň podrobená patřičným výpočtům pomocí MKP, je pro ni zhotoven návrh vhodného odsávacího zařízení a je v ní následně provedeno měření rychlosti proudění vzduchu. V závěru je výsledek práce komplexně zhodnocen a je zdokumentována finální podoba celého navrženého zařízení. Výsledkem je komplexní konstrukční návrh robotického pracoviště, které plně nahrazuje ruční operaci nástřiku rozpouštědlového lepidla.

Klíčová slova

Robotika, automatizace, nanášení látek, lakování, stříkací pistole, harmonizované normy, robotická kabina, výbušné prostředí ATEX, efektor, MKP, otočný stůl, odsávací zařízení, bezpečnost, RFID

Abstract

The aim of the thesis is to design a robotic workplace that will optimize the process of applying solvent adhesive to plastic parts in an ATEX explosive environment. The thesis systematically evaluates the requirements from the assignment and the findings from harmonized standards. Depending on the information found, 2 solution options are developed, from which the optimal one is subsequently selected after evaluation. A suitable robotic arm with end-effector is selected for the design. At the same time, the design is subjected to the appropriate calculations using FEM, a suitable exhaust device is designed and the air velocity is subsequently measured. Finally, the result of the work is comprehensively evaluated and the final design of the entire proposed device is documented. The result is a comprehensive design proposal for the robotic workplace that fully replaces the manual solvent adhesive spraying operation.

Key words

Robotics, automation, substance application, painting, spray guns, harmonized standards, robotic cabin, ATEX explosive environment, end-effector, FEM, rotary table, exhaust device, safety, RFID

Obsah

1	Úvod.....	17
2	Teoretická část.....	18
2.1	Průmyslový robot	18
2.1.1	Základní rozdělení stacionárních průmyslových robotů.....	18
2.1.2	Parametry stacionárních průmyslových robotů	21
2.2	Efektory pro nanášení látek.....	22
2.2.1	Vysokorychlostní rotační atomizéry	22
2.2.2	Stříkácí pistole	23
2.3	Senzory pro detekci dílů	25
2.3.1	RFID senzory	25
3	Rozbor technických parametrů a zhodnocení norem	26
3.1	Technické požadavky na strojní zařízení.....	26
3.2	Harmonizované normy	26
3.3	Směrnice ATEX 2014/34/EU a ATEX 99/92/EU	31
4	Praktická část	32
4.1	Zhodnocení potřebných parametrů pro konstrukční návrh	32
4.1.1	Varianta A	32
4.1.2	Varianta B.....	33
4.1.3	Zhodnocení a výběr optimální varianty.....	33
4.2	Volba robotu	35
4.3	Prověření dosahů robotu	36
4.4	Volba koncového efektoru	37
4.5	Řízení média do stříkácí pistole	39
4.6	Uchytení robotu na nosné konstrukci kabiny.....	41
4.7	Návrh konstrukce stolu s otočným talířem.....	46
4.7.1	Návrh ložisek uložení otočného talíře	48
4.8	Návrh konstrukce přípravku pro zakládání dílů	51
4.9	Konstrukce a volba odsávacího zařízení	53
4.10	Ovládání a řízení	61

4.10.1	Bezpečnostní zámek dveří s jištěním	62
4.10.2	Indukční snímač clonky v potrubí	62
4.10.3	Indukční snímač parkování robotu	62
4.10.4	Snímač natočení a blokace otáčení stolu	63
4.10.5	RFID Čtečka pro detekci založeného dílu	63
4.10.6	Signalizační a ovládací prvky	64
4.10.7	Rozvaděče a kontroler robotu	65
4.10.8	Ovládání robotu.....	65
4.11	Manipulace a doprava.....	66
5	Ukázka fyzické realizace	68
6	Zhodnocení a závěr	71

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Logo společnosti STRKAN s.r.o.[1]	17
Obrázek 2 - 6-osý Delta robot Fanuc M-3iA/6A s paralelní kinematickou strukturou [4]	18
Obrázek 3 - Redundantní 9-osý robot Schunk LWA se sériovou kinematickou strukturou [5]	18
Obrázek 4 - Schéma pracovního prostoru kartézského robota [6]	19
Obrázek 5 - SCARA Robot ABB [7].....	19
Obrázek 6 – Angulární 6-osý robot Fanuc M-20iD/12L [8]	19
Obrázek 7 – Lakovací 6-osý angulární robot Fanuc P-250iB/15 s dutým zápěstím [11].....	20
Obrázek 8 - Svařovací 6-osý angulární robot Fanuc ARC Mate 120iD [12].....	20
Obrázek 9 - Schéma nanášení látek s využitím přímého elektrostatického systému [14].....	22
Obrázek 10 -Schéma nanášení látek s využitím nepřímého elektrostatického systému [14].....	22
Obrázek 11 - Robotické práškové lakování pomocí vysokorychlostního rotačního atomizéru [15]	23
Obrázek 12 - Řez automatickou stříkací pistolí [16].....	23
Obrázek 13 - Automatická stříkací pistole s integrovanou deskou pro připojení atomizačního, tvarovacího, otevíracího a vyprazdňovacího vzduchu a 2 nanášených látek. [17].....	23
Obrázek 14 - Poměrné srovnání účinnosti přenosu částic látky a jemnosti rozprášení u různých technologií nanášení látek [18].....	24
Obrázek 15 - Pohled na HVLP stříkací pistolí na koncovém efektoru lakovacího robota [20]	24
Obrázek 16 - Schéma funkce RFID senzoru s pasivním tagem. Vpravo čtečka s anténou pro vysílání a příjem dat, vlevo tag s anténou a mikročipem s pamětí. [21].....	25

Obrázek 17 - Zjednodušený blokový diagram procesu hodnocení rizik [26].....	27
Obrázek 18 - Porovnání úrovní PL normy ČSN ISO 13849 a SIL normy ČSN EN 62061 [31]	28
Obrázek 19 - Diagram pro určení úrovně PL dle ČSN EN ISO 13849 [31]	28
Obrázek 20 - Ovládání nouzového zastavení s červeným hřibovitým tlačítkem na žlutém panelu [33]	29
Obrázek 21 - Blokovací dveřní zařízení SICK s jištěním [37]	29
Obrázek 22 - Automatická robotická kabina se 2 roboty [42].....	30
Obrázek 23 - Označení typu zóny ATEX na štítku výrobku určeného do výbušného prostředí.....	31
Obrázek 24 - Detailní vysvětlivky k jednotlivým popiskům štítku s ATEX klasifikací [47].....	31
Obrázek 25 - Koncepční návrh rozložení robotického pracoviště - Varianta A	32
Obrázek 26 - Koncepční návrh rozložení robotického pracoviště - Varianta B	33
Obrázek 27 - Pracovní rozsah robotu Fanuc Paint Mate 200iA/5L [48]	35
Obrázek 28 - Pracovní rozsah robotu ABB IRB 52 [49].....	35
Obrázek 29 - Rozměry plastového dílu určeného pro robotické nanášení lepidla - půdorys.....	36
Obrázek 30 - Rozměry plastového dílu určeného pro robotické nanášení lepidla - bokorys	36
Obrázek 31 - Prověření dosahů robotu v závislosti na zástavbě kabiny a poloze plastových dílů - bokorys	36
Obrázek 32 -Prověření dosahů robotu v závislosti na zástavbě kabiny a poloze plastových dílů - půdorys	36
Obrázek 33 - Nákres stříkací pistole Wagner Ga 1030 bez adaptéru a s adaptérem [50].....	37
Obrázek 34 - Připojovací rozměry zápěstí robota FANUC Paint Mate 200iA/5L [51].....	37
Obrázek 35 - Usazení automatické stříkací pistole na zápěstí robotu.....	38
Obrázek 36 - Rozměry těžiště efektoru vztažené ke středu zápěstí robotu.....	38
Obrázek 37 - Diagram zatížitelnosti robotického ramene v závislosti na poloze těžiště a hmotnosti efektoru [50].....	39
Obrázek 38 - Graf závislosti velikosti tlaku atomizačního vzduchu (bar) na jeho průtočném množství (nl/min).....	39
Obrázek 39 - Proporcionální regulátor tlaku vzduchu SMC ITV2050-ILF2N [52].....	40
Obrázek 40 - SMC Software pro výpočet tlakové ztráty v hadici	40
Obrázek 41 - Znázornění zatěžujících účinků od pohybu robotu vztažené k tabulce č. 4 [50].....	41
Obrázek 42 - Návrh konstrukce pro zavěšení robotu s polohou jejího těžiště.....	42
Obrázek 43 - Definování podpěrných míst konstrukce pro MKP výpočet.....	43
Obrázek 44 - Oblasti kontaktů šroubových spojů v MKP výpočtu.....	43

Obrázek 45 - Silové zatěžující účinky od nouzového zastavení robotu definované funkcí Remote mass	44
Obrázek 46 - Momentové zatěžující účinky od nouzového zastavení robotu definované funkcí Remote mass.....	44
Obrázek 47 - Zatěžující účinek od vlastní tíhy ramene robotu definovaný funkcí Remote mass	44
Obrázek 48 - Informace o vytvořené síti.....	44
Obrázek 49 - Znázornění oblasti pevného kontaktu mezi okem diagonální výtzuhy a přípojného místa v žebro sloupu	45
Obrázek 50 - Výsledky MKP analýzy tuhosti konstrukce kabiny před jejím ztužením	45
Obrázek 51 - Hodnota posunutí uzlu ve středu uchycení robotu před ztužením konstrukce	45
Obrázek 52 - Výsledky MKP analýzy tuhosti konstrukce kabiny po jejím ztužení.....	45
Obrázek 53 - Hodnoty posunutí uzlů v místě uchycení robotu po ztužení konstrukce	45
Obrázek 54 - Pohled na otočný talíř stolu.....	46
Obrázek 55 - Pohled na otočný talíř stolu.....	47
Obrázek 56 - Schéma zatížení uložení otočného talíře stolu	47
Obrázek 57 - Uložení otočného talíře ve spodní konstrukci stolu.....	49
Obrázek 58 - Konstrukce spodní části stolu	50
Obrázek 59 - Výsledky posunutí MKP analýzy otočného talíře	51
Obrázek 60 - Přípravek pro zakládání plastových dílů)	52
Obrázek 61 - Přípravek pro zakládání plastových dílů.....	52
Obrázek 62 - Pohled na celkovou sestavu stolu s otočným talířem	53
Obrázek 63 - Očekávaná plocha nástřiku na 1 plastovém dílu.....	53
Obrázek 64 - Radiální ventilátor Ventra TEM 400-8.....	54
Obrázek 65 - Diagram charakteristik řady ventilátorů Ventra TEM 400	55
Obrázek 66 - Pohled na navržené odsávací zařízení	56
Obrázek 67 - Schéma zatížení kyvné clonky v potrubí	57
Obrázek 68 - Diagram zjištěných závislostí úhlu natočení clonky na minimální potřebné rychlosti proudění vzduchu v potrubí pro různé vzdálenosti těžiště protiváhy od osy rotace clonky.	58
Obrázek 69 - Boční pohled na model clonky.....	58
Obrázek 70 - Ultrazvukový anemometr Windscribe [63].....	59
Obrázek 71 - Body pro měření rychlosti proudění v potrubí	59
Obrázek 72 - Pozice pro měření vertikálních složek rychlostí proudění ve středech obdélníkových úseků odsávací plochy.....	60

Obrázek 73 - Zámek dveří Sick i10 Lock [64].....	62
Obrázek 74 - Posuvné madlo dveří Sick MB1 - BL11 [65].....	62
Obrázek 75 - Tlačítko do prostoru s nebezpečím výbuchu [66].....	62
Obrázek 76 - Indukční snímač do prostoru s nebezpečím výbuchu Turck Bi5-M18-Y1X-H1141 [67]	62
Obrázek 77 - Pohled na umístění zařízení blokace otočného talíře stolu	63
Obrázek 78 - RFID Blokovací zařízení s elektromagnetem SICK MLP1 [68].....	63
Obrázek 79 - Hydraulický nastavitelný tlumič nárazů [69].....	63
Obrázek 80 - Umístění RFID čtečky.....	64
Obrázek 81 - RFID čtečka Turck TN - EM18WD a hard tag 300 SLIX-2 do prostředí s nebezpečím výbuchu [70], [71].....	64
Obrázek 82 - Ovládací panel Siemens KTP700 Basic v rozvaděči	64
Obrázek 83 - LED maják Turck K90LGQPRQ [72]	64
Obrázek 84 - Umístění rozvaděčů na zadní straně pracoviště	65
Obrázek 85 - Pohled na rozvaděč robotu s přídatným vzdušníkem pro systém natlakování robotického ramene	65
Obrázek 86 - Ruční kontrolér Fanuc iPendnant [73].....	66
Obrázek 87 - Znázornění polohy těžiště celého zařízení s vyznačenými strany manipulace.....	66
Obrázek 88 - Schéma výpočtu potřebné hmotnosti vozíku pro manipulaci se zařízením.....	67
Obrázek 89 - Maximální půdorysné rozměry stříkací kabiny	68
Obrázek 90 - Maximální výškový rozměr stříkací kabiny.....	68
Obrázek 91 - Pohled na zařízení před dokončením 1.....	68
Obrázek 92 - Pohled na zařízení před dokončením 2.....	69
Obrázek 93 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 1.....	69
Obrázek 94 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 2.....	70
Obrázek 95 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 3.....	70
Obrázek 96 - Expedice hotového zařízení.....	70
Obrázek E.1 - Pohled na celkový model zařízení 1.....	vi
Obrázek E.2 - Pohled na cekový model zařízení 2.....	vi

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Skupiny parametrů sledovaných u průmyslových robotů	21
Tabulka 2 – Zjednodušené SWOT Hodnocení navržených koncepčních variant.....	34
Tabulka 3 - Srovnání hlavních parametrů robotů FANUC Paint Mate 200iA/5L a ABB IRB 52 [47], [48]	35
Tabulka 4 - Nejméně příznivé zatěžující účinky od robotu při různých provozních stavech vztažené ke středu jeho paty [50]	41
Tabulka 5 - Zatěžující účinky od vlastní tíhy kabiny a robotu	42
Tabulka 6 - Souhrn vstupních parametrů pro návrh ložisek uložení otočného talíře.....	47
Tabulka 7 - Hodnoty koeficientů statického zatížení	48
Tabulka 8 - Vstupní parametry výpočtu	53
Tabulka 9 - Vstupní parametry výpočtu minimálního požadovaného objemového průtoku čerstvého vzduchu v kabině	54
Tabulka 10 - Souhrn vstupních parametrů výpočtu kyvné clonky.....	57
Tabulka 11 - Naměřené hodnoty rychlosti proudění v sacím potrubí.....	59
Tabulka 12 - Naměřené hodnoty vertikálních složek rychlostí proudění nad odsávací plochou na pozicích dle obrázku č. 73.....	60
Tabulka 13 - Soupis jednotlivých kroků cyklu zařízení a navržených snímacích a bezpečnostních prvků	61
Tabulka 14 - Vstupní parametry výpočtu potřebné hmotnosti vozíku pro manipulaci se zařízením	67

Přehled použitých zkratk a symbolů

a	Vzdálenost horního ložiska od plochy otočného talíře
AA	Atomizační vzduch
ATEX (Ex)	Prostředí s nebezpečím výbuchu
b	Rozteč ložisek
c	Vzdálenost síly od středu ložisek
C₀	Statická únosnost ložiska
CA	Ovládací vzduch
CE	Evropská shoda
C_{LEL,max}	Maximální přípustná koncentrace LEL pro kabinu
C_x	Součinitel odporu vzduchu pro daný tvar plochy
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrný proud
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
F	Síla od hmotnosti obsluhy
F_{AX}	Axiální reakční síla
F_{Gi}	Tíhové účinky od nosné konstrukce a ramene robotu
F_h	Vodorovná síla od ramene robotu
F_{IAx}	Silová bilance v axiálním směru
F_p	Síla vzniklá prouděním vzduchu na přídavné ploše kyvné clonky
f_s	Součinitel statické bezpečnosti
F_v	Svislá síla od ramene robotu
g	Konstanta gravitačního zrychlení
G₁	Tíhová síla od hmotnosti levé strany clonky
G₂	Tíhová síla od hmotnosti pravé strany clonky
G_L	Tíhová síla od celkové hmotnosti kabiny
G_m	Tíhová síla od hmotnosti vozíku
HVLP	Vysoký objem - nízký tlak
IP	Stupeň krytí
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
i_{ts}	Počet dílů na 1 cyklus stroje

k_1	Podíl rozpouštědel v lepidle Korapren FU 35
k_2	Koeficient odhadovaného odparu rozpouštědel
k_3	Koeficient nehomogenity koncentrace ovzduší v kabině
k_p	Bezpečnostní součinitel převrácení
l_1	Vzdálenost těžiště T_1 od osy otáčení clonky
l_2	Vzdálenost těžiště T_2 od osy otáčení clonky
l_3	Vzdálenost nositelky síly F_p od osy otáčení
l_d	Vzdálenost těžiště vozíku od středu kola
LED	Elektroluminiscenční dioda
LEL	Dolní mez výbušnosti
LEL_L	Dolní mez výbušnosti směsi lepidla Korapren FU 35
m_1	Hmotnost levé strany kyvné clonky
m_2	Hmotnost pravé strany kyvné clonky
m_A	Hmotnostní spotřeba lepidla Korapren FU 35
m_{ξ}	Hmotnost obsluhy
M_h	Vodorovný moment od ramene robotu
m_i	Hmotnosti nosné konstrukce a ramene robotu
M_{iA}	Momentová bilance k bodu A
M_{iB}	Momentová bilance k bodu B
M_{iG}	Moment působící na kyvnou clonku proti směru hodinových ručiček
M_{iGL}	Moment vznikající od tíhy manipulované kabiny
M_{iV}	Moment působící na kyvnou clonku ve směru hodinových ručiček
M_{ivo}	Moment vznikající tíhy vozíku k bodu klopení
MKP	Metoda konečných prvků
m_L	Hmotnost kabiny
\dot{M}_{max}	Maximální hmotnost nastříkaných hořlavých hmot za 1 hodinu
M_v	Svislý moment od ramene robotu
m_v	Hmotnost vozíku
PL	Úroveň vlastností
PLC	Programovatelný logický automat
P_{OI}	Ekvivalentní statické zatížení I
P_{OII}	Ekvivalentní statické zatížení II

Q_{\min}	Minimální požadovaný průtok čerstvého vzduchu v kabině
R_a	Radiální reakce v ložisku A
R_b	Radiální reakce v ložisku B
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
SA	Tvarovací vzduch
S_A	Očekávaná doba nástřiku na 1 dílu
SIL	Úroveň integrity bezpečnosti
S_t	Obsah čelní plochy 3D tištěného dílu
SW	Software
T_1	Těžiště levé strany kyvné clonky
T_2	Těžiště pravé strany kyvné clonky
T_b	Těžiště kabiny
TR4HR	Čtyřhranný čtvercový dutý profil
TROBD	Čtyřhranný obdélníkový dutý profil
t_s	Předpokládaná doba 1 cyklu stroje
T_v	Těžiště vozíku
v_v	Rychlost proudění v potrubí
VZV	Vysokozdvíhový vozík
X_0	Koeficient statického zatížení pro radiální složku reakce
x_1	Kolmá vzdálenost nositelky síly G_2 od osy otáčení clonky
x_2	Kolmá vzdálenost nositelky síly G_1 od osy otáčení clonky
Y_0	Koeficient statického zatížení pro axiální složku reakce
z_1	Přední přesah vozíku
z_2	Vzdálenost těžiště břemene
α	Úhel natočení kyvné clonky
ρ_v	Hustota vzduchu při 20°C

1 Úvod

Hlavním cílem diplomové práce je zákazníkovi společnosti Strkan s.r.o., který působí v oblasti automotive, implementovat do výrobní haly robotické pracoviště, které bude částečně automatizovat výrobní proces manipulace a nanášení lepidla na plastové díly, které slouží jako interiérové součásti do automobilů. Pracoviště by mělo zvýšit efektivitu výroby a oddělit pracovníky od škodlivin, kterým mohou být vystaveni během ručního nanášení lepidla. Pracoviště zároveň musí splňovat standardy týkající se předpisů a norem z hlediska bezpečnosti strojních zařízení a implementace strojů do prostředí s případným nebezpečím výbuchu.

Jelikož se jedná o nesériově vyráběné zařízení, bude potřeba před předáním zákazníkovi odzkoušet jeho funkčnost a patřičně jej otestovat. Zároveň je na zařízení nutné před uvedením do provozu provést posouzení o shodě.

Diplomová práce bude strukturována do několika částí. V první části bude provedena rešerše přidružených odvětví z robotiky, efektorů pro nástřik látek a snímacích zařízení. Následně se bude zabývat systematickou specifikací požadavků zadání a přidružených norem, kterým zařízení bude podléhat a musí před uvedením do provozu splňovat. Ve třetí části v návaznosti na předešle zjištěné poznatky bude zhotoveno několik možných koncepčních variant, mezi kterými bude následně rozhodnuto pro variantu finální, která bude v následující části detailně konstrukčně zpracována a podrobena patřičným výpočtům. Bude pro ni zároveň zpracován postup ovládání a řízení s ohledem na bezpečnost a efektivitu výrobního procesu. V samotném závěru se práce bude zabývat komplexním zhodnocením navrženého pracoviště jako celku. Následně bude v práci zdokumentován proces výroby, kompletace a testování pracoviště před předáním zákazníkovi a uvedením do provozu.



Obrázek 1 - Logo společnosti STRKAN s.r.o.[1]

2 Teoretická část

2.1 Průmyslový robot

Průmyslovým robotem se rozumí automaticky řízený, přeprogramovatelný víceúčelový manipulátor, který je programovatelný ve třech nebo více osách. Může být stacionární a nebo být spojen s mobilní pohyblivou platformou. Stacionární průmyslové roboty lze dělit podle mnoha kritérií, mezi ty nejčastější patří rozdělení podle kinematické struktury, počtu stupňů volnosti, geometrie pracovního prostoru, způsobu použití či jejich generace.[2]

2.1.1 Základní rozdělení stacionárních průmyslových robotů

Podle kinematické struktury [3]

- **Sériové** - Mají otevřený kinematický řetězec manipulátoru.
- **Paralelní** - Mají uzavřený kinematický řetězec manipulátoru.
- **Hybridní** - Kombinace sériových a paralelních kinematických řetězců.

Podle počtu stupňů volnosti [3]

- **Univerzální** - Roboty s 6 stupni volnosti. Poloha koncového efektoru je v prostoru jednoznačně definována
- **Redundantní** - Roboty s více než 6 stupni volnosti. S výhodou lze využít ve stísněných prostorech.
- **Deficitní** - Roboty s méně než 6 stupni volnosti. Jsou vhodné pro aplikace v rovině



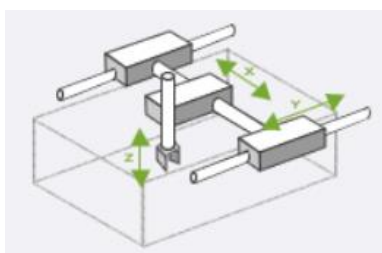
Obrázek 2 - 6-osý Delta robot Fanuc M-3iA/6A s paralelní kinematickou strukturou [4]



Obrázek 3 - Redundantní 9-osý robot Schunk LWA se sériovou kinematickou strukturou [5]

Podle geometrie pracovního prostoru [3, 9]

- **Kartézské** - Přímočaré sériové roboty, které disponují 3 osami(X,Y,Z).
- **SCARA** - Sériové 4-osé roboty s 3 rotačními a 1 přímou osou ve směru Z.
- **Cylindrické** - Roboty se 3 osami. Rotační osa je doplněna 2 přímočarými posuvy.
- **Angulární** - Roboty nejčastěji s 6 rotačními osami. Vyznačují se svojí univerzálností.
- **Sférické** - Roboty se 3 sériovými osami, 2 rotační osy doplněny 1 přímočarou. Dnes většinou nahrazeny roboty angulárními.



Obrázek 4 - Schéma pracovního prostoru kartézského robota [6]



Obrázek 5 - SCARA Robot ABB [7]



Obrázek 6 – Angulární 6-osý robot Fanuc M-20iD/12L [8]

Podle generace [10]

- **Nultá** - Roboty bez zpětné vazby, jakákoliv snímaná porucha odpojí robota od přívodu energie a je nutné ji odstranit člověkem.
- **Prvá** - Roboty mají několik předem definovaných podprogramů a jednoduchou zpětnou vazbu (jsou částečně adaptivní).
- **Druhá** - Podle příslušného kritéria optimalizace je robot schopen zvolit ten nejvhodnější z předem definovaných programů.
- **Třetí** - Roboty s umělou inteligencí, které pomocí získaných dat dokáží vytvořit optimální program dle zadaného úkolu.
- **Čtvrtá** - Plně autonomní roboty samostatně si volící úkol i cíl.

Podle způsobu použití [9, 13]

- **Lakovací** - Nejčastěji angulární 6-osé roboty s dutým ramenem a zápěstím, kudy je vedené tlakové médium do efektoru. Roboty disponují hermeticky uzavřenými pohony a speciálními napájecími vodiči pro aplikace s nebezpečím výbuchu. Často bývají vybaveny krycí tkaninou chránící jejich části před vnikem částic laku. Výrobci k robotům dodávají speciální ovládací software pro snadné programování.
- **Svařovací** - Převážně angulární roboty s pojezdem a vysoce přesnými pohony pro nastavení polohy svařování či řezání. Roboty jsou vybaveny podavačem drátu a dutým ramenem a zápěstím pro jeho vedení k svářecí hubici, která je upevněna na zápěstí. Nezbytným příslušenstvím těchto robotů je zdroj pro svařování, který je společně s rozvaděčem umístěn mimo pracovní prostor a je s robotem spojen pomocí kabelů.
- **Manipulační** - Roboty různých typů, hlavní doménou této kategorie je variabilita koncových efektorů v závislosti na konkrétní aplikaci. Lze se v praxi setkat s elektrickými či pneumatickými efektorů. V některých aplikacích může být kladen důraz na vysokou nosnost robota, proto výrobci nabízejí širokou škálu robotů pro konkrétní výběr.



Obrázek 7 – Lakovací 6-osý angulární robot Fanuc P-250iB/15 s dutým zápěstím [11]



Obrázek 8 - Svařovací 6-osý angulární robot Fanuc ARC Mate 120iD [12]

2.1.2 Parametry stacionárních průmyslových robotů

Každý průmyslový robot by měl mít od výrobce definované určité charakterizující parametry, dle kterých lze určit limity jeho použití v dané aplikaci. Tyto parametry lze dělit do několika skupin. [3]

Geometrické	Pracovní prostor - Prostor určený tvarem a objemem, který je definován dosahem efektoru Provozní prostor – Prostor určený tvarem a objemem, který je vyplněn konstrukcí robotu během všech jeho provozních možností Opakovaná přesnost polohování
Statické	Pevnost, tuhost
Kinematické	Kinematická struktura Počet stupňů volnosti (počet jednotlivých os) Rychlost Zrychlení
Dynamické	Momenty setrvačnosti, dynamická tuhost
Výkonové	Nosnost, účinnost
Provozní	Hmotnost, způsob montáže, výkon, příkon, specifikace energetických přívodů
Spolehlivostní	Životnost, doba bezporuchové činnosti
Poměrové	Poměrná hmotnost, poměrná rychlost, poměrná energetická náročnost
Řídící	Způsob řízení pohybu, operační paměť
Konstrukční	Typ konstrukce, typ pohonu, typ řídicího systému, rozsah senzorických prvků
Ekonomické	Pořizovací cena, provozní náklady

Tabulka 1 - Skupiny parametrů sledovaných u průmyslových robotů

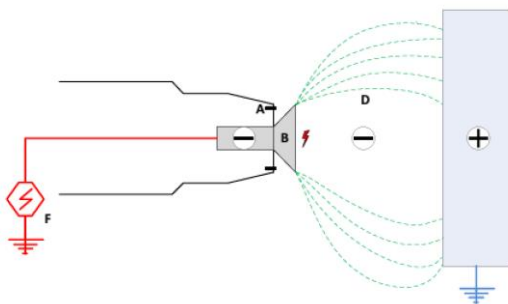
2.2 Efektory pro nanášení látek

Koncový efektor je stěžejní částí průmyslového robota. Pro nanášení látek na díly z různého materiálu se převážně využívá vysokorychlostních rotačních atomizérů a nebo stříkacích pistolí. Zatímco vysokorychlostní rotační atomizéry pracují na principu odstředivých sil a elektrostatického nabíjení nanášené látky, tak stříkací pistole pouze stlačeným vzduchem rozprašují a upravují parametry nástřiku nanášených látek.

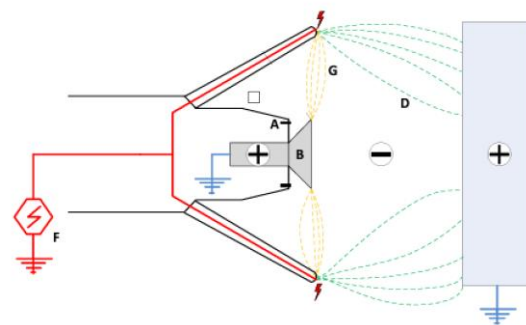
2.2.1 Vysokorychlostní rotační atomizéry

Jak bylo řečeno na začátku kapitoly, vysokorychlostní rotační atomizéry využívají odstředivé síly a tvaru zvonového kalíšku pro jemné rozprášení částic nanášené látky. Rotační zvon je poháněn stlačeným vzduchem a může dosahovat rychlosti až 70 000 ot/min. K zvýšení přilnavosti barvy na cílový díl a pro zvýšení rovnoměrnosti nástřiku je využíváno přívodu vysokonapěťového elektrostatického náboje o velikosti až 90 000 V DC, který záporně nabije částice látky před jejím rozprášením. Záporné nabití částic nanášené látky lze realizovat přímo či nepřímo. Na obrázcích č. 9 a č. 10 jsou schematicky znázorněny tyto principy. [14]

U přímé metody, která je používána zejména u látek na bázi rozpouštědel kvůli jejich nízké vodivosti, je vysokonapěťový náboj přiváděn na rotační zvonový kalíšek a nabití barvy je realizováno ještě před jejím rozprášením. U metody nepřímé je vysokonapěťový náboj přiváděn na elektrody v okolí rotačního kalíšku. To má za následek ionizaci vzduchu v jeho okolí a nabíjení částic látky při jejich průchodu ven z kalíšku. Nepřímá metoda je využívána pro látky na bázi vody. Nezávisle na tom, jaká metoda je použita, jsou částice nabitы záporně a cílový povrch nabit kladně či uzemněn. [14]

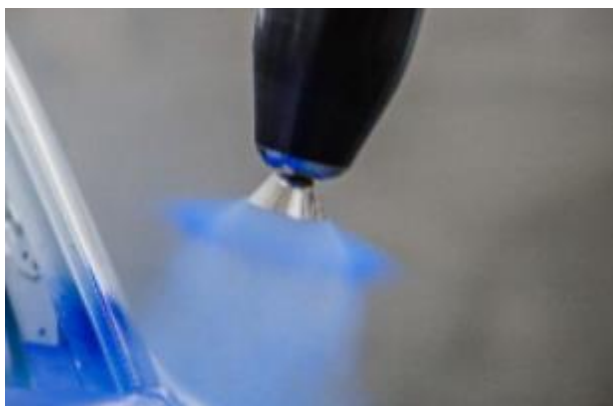


Obrázek 9 - Schéma nanášení látek s využitím přímého elektrostatického systému [14]



Obrázek 10 - Schéma nanášení látek s využitím nepřímého elektrostatického systému [14]

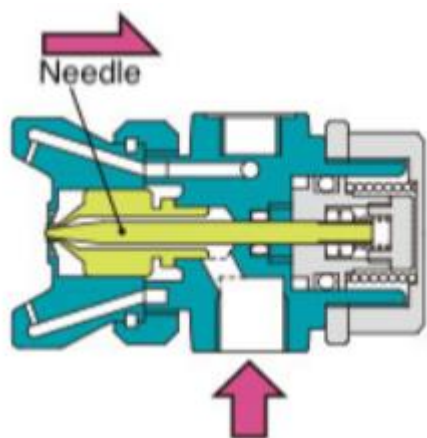
Hlavní výhodou těchto systémů je vysoká výrobní produktivita a efektivní nanášení látek na velké díly. Díky vysoce jemně rozprášeným částicím lze dosáhnout lepší kvality nástřiku. Naopak nevýhodou tohoto systému může být menší přesnost nástřiku než u lakovacích pistolí, vyšší pořizovací cena, vyšší energetická náročnost provozu a nemožnost dosáhnout jiného než kruhového vzoru nástřiku. Technologie je využívána převážně pro práškové lakování velkých plošných dílů.



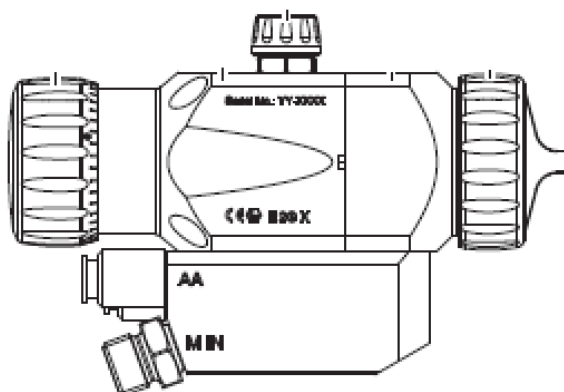
Obrázek 11 - Robotické práškové lakování pomocí vysokorychlostního rotačního atomizéru [15]

2.2.2 Stříkací pistole

Na rozdíl od vysokorychlostních rotačních atomizérů se stříkací pistole používají i ručně. Tudíž škála typů a možnost jejich výběru je zásadně větší. Automatické stříkací pistole se od těch manuálních liší v snadnější regulovatelnosti a nastavitelnosti parametrů nástřiku. Regulace je realizována pomocí stlačeného vzduchu. Princip funkce lze popsat tak, že stlačený vzduch odtlačí jehlu v trysce a zároveň se smísí s nanášenou látkou a rozptýlí ji na jemné částice. Tento vzduch je nazýván atomizačním či otevíracím. Některé pistole mají tyto funkce oddělené a různými tlaky řídí velikost otvoru trysky a atomizaci s látkou. Existují typy pistolí, kde je řízen navíc i vzor nástřiku pomocí vzduchu tvarovacího a také nabízejí možnost proplachu vyprazdňovacím vzduchem. Standardní nástřikový kruhový vzor je tvarovacím tlakem zeštíhlen a výsledný vzor má oválnější tvar. Velikost atomizačního vzduchu ovlivňuje i velikost rozptýlených částic látky. [16]



Obrázek 12 - Řez automatickou stříkací pistolí [16]

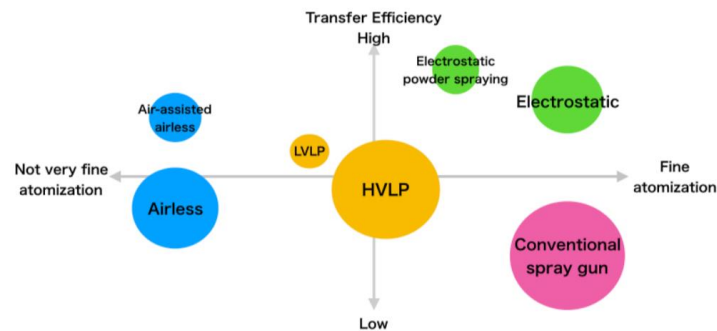


Obrázek 13 - Automatická stříkací pistole s integrovanou deskou pro připojení atomizačního, tvarovacího, otevíracího a vyprazdňovacího vzduchu a 2 nanášených látek. [17]

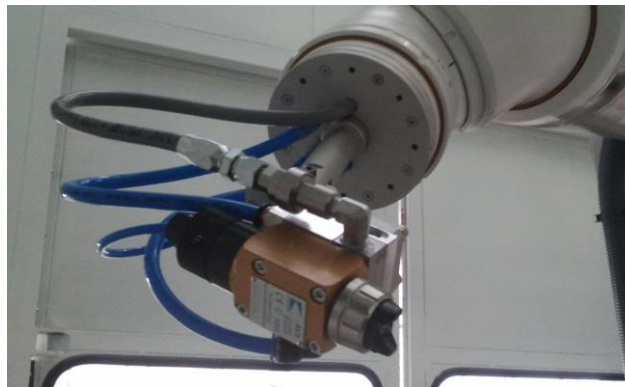
Stříkácké pistole se dále liší dle použití technologie nástřiku a výrobci nabízejí širokou škálu produktů. Automatické stříkácké pistole se převážně dělí na konvenční a HVLP (High-Volume, Low-pressure). Konvenční pistole většinou pracují se stlačeným vzduchem od 20 do 30 bar a vyznačují se svojí univerzálností, pořizovací cenou a jemností nástřiku. Bohužel mají relativně malou účinnost přenosu částic látky na výrobek a nemusí se hodit na nástřiky na bázi rozpouštědel kvůli jejich těkavosti a nadbytečným emisím. HVLP stříkácké pistole pracují se zdatelně nižšími tlaky stlačeného vzduchu (5-10 bar) a jsou v některých aplikacích nasazovány kvůli účinnostem a emisním problémům konvenčních pistolí, neboť mají zhruba o 20% větší účinnost nástřiku. Pro kompenzaci nízkého tlaku vzduchu využívají jeho většího průtočného množství. Jsou vhodné na nástřik látek na bázi rozpouštědel, ale naopak se nehodí pro látky s vysokou viskozitou kvůli jejich nízké schopnosti látky atomizovat. [18], [19]

Samostatným typem, který může být používán, jsou stříkácké pistole, které místo stlačeného vzduchu využívají tlaku hydraulického válce, který stlačuje látku přes malý otvor a tím ji jemně rozpráší. Tento typ není v průmyslové automatizaci běžně využíván. Znamenalo by to nadbytečné náklady na hydraulickou aparaturu, protože tyto pistole pracují s tlaky 10-20 MPa a běžně využívané rozvody tlakového vzduchu takový tlak neposkytují. Nenabízí navíc dostatečnou přesnost a jemnost nástřiku a jsou daleko více vhodné na exteriérové nástřiky. [18], [19]

Na obrázku č. 14 lze vidět poměrné srovnání účinnosti přenosu částic látky a jemnosti rozprášení všech typů stříkáckých zařízení. Konvenční a HVLP pistole tvoří optimální řešení z hlediska účinnosti, pořizovací ceny, provozních nákladů a jemnosti rozprášení látky.



Obrázek 14 - Poměrné srovnání účinnosti přenosu částic látky a jemnosti rozprášení u různých technologií nanášení látek [18]



Obrázek 15 - Pohled na HVLP stříkácké pistoli na koncovém efektoru lakovacího robota [20]

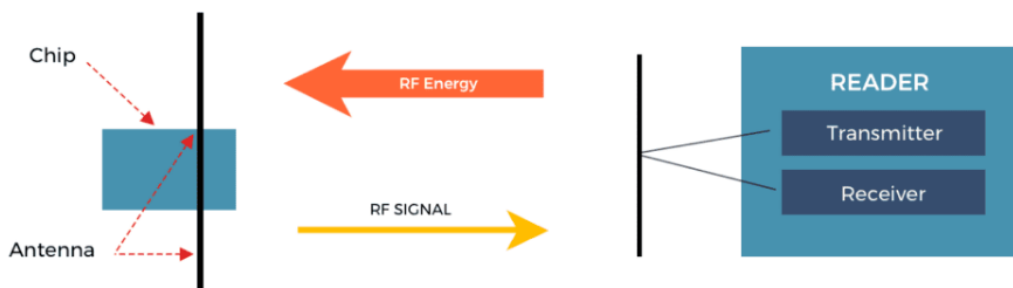
2.3 Senzory pro detekci dílů

Ze zadání plyne požadavek, aby na pracovišti bylo zavedeno snímání typu založeného dílu a systém robota si tak mohl načíst patřičný program a tím byl eliminován prostor pro navolení špatného programu obsluhou. Snímače indukční, kapacitní a optické jsou pro danou aplikaci nedostačující, protože rozlišují pouze stav sepnuto/rozepnuto. Nabízí se možnost použití kamerového systému či senzoru RFID. Kamerový systém je pro danou aplikaci příliš sofistikovaný a jeho pořizovací cena je vysoká. Naopak RFID čtečky lze zakoupit za relativně nízkou cenu.

2.3.1 RFID senzory

RFID senzory využívají bezdrátové komunikační technologie, která k přenosu dat mezi čtečkou a tagem nebo etiketou využívá rádiový signál. Tagy lze rozdělit na aktivní, který má vlastní zdroj energie, pasivní, které nemají vlastní zdroj energie, a poloaktivní, které mají vlastní zdroj energie, ale nevyužívají jej ke komunikaci s čtečkou. Výhodou aktivních tagů je díky svému vlastnímu zdroji energie vysílat data na velké vzdálenosti, naopak pasivní tagy jsou určeny pro komunikaci na vzdálenosti do několika centimetrů, ale jsou více kompaktní a levné. [21]

U pasivních tagů probíhá komunikace se čtečkou, jen když jsou v určité vzdálenosti, což závisí také na velikosti vysílané frekvence rádiového signálu. Princip přenosu dat spočívá ve vyslání elektromagnetické energie pomocí antény na čtečce. Pokud je tag v dostatečném dosahu, tak využije energii pro své napájení a vyslání radiofrekvenčního signálu pomocí své antény zpět k anténě čtečky. Signál je následně dekodován a vyhodnocen řídicím systémem. Tagy mohou být koncipovány jako nálepkové či jako drobné součástky různé velikosti s plastovým krytím. Pokud je tag zabudován či pevně spojen s daným předmětem, jedná se o tzv. hard tag. [21], [22]



Obrázek 16 - Schéma funkce RFID senzoru s pasivním tagem. Vpravo čtečka s anténou pro vysílání a příjem dat, vlevo tag s anténou a mikročipem s pamětí. [21]

3 Rozbor technických parametrů a zhodnocení norem

Cílem této kapitoly je shrnout potřebné parametry ze zadání a technické požadavky, kterým zařízením podléhá. V počátku této kapitoly bude proveden stručný souhrn předpisů a hlavních relevantních harmonizovaných norem. Následně budou zmíněna omezení a stěžejní předpisy vyplývající ze směrnic ATEX 2014/34/EU, ATEX 99/92/EU. Požadavky ze zadání, technických norem a patřičných předpisů budou následně zohledněny v konstrukčním návrhu robotického pracoviště.

3.1 Technické požadavky na strojní zařízení

Každý výrobce musí před uvedením výrobku či zařízení na trh prokázat jeho soulad s pravidly EU. Tyto předpisy blíže specifikují zákony 90/2016 Sb. a 22/1997 Sb., ve kterých je popsáno jaké náležitosti musí být před tímto úkonem splněny. Zákon 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení blíže specifikuje předpisy, které se týkají bezpečnosti strojních zařízení. Zároveň výrobci nařizuje provést posouzení rizik a eliminovat případná nebezpečí plynoucí z povahy zařízení nebo zavést případná opatření pro minimalizaci těchto rizik. [23], [24]

Zákon zároveň prikazuje, že je pro každé zařízení před uvedením na trh nutné poskytnout technickou dokumentaci, návod k obsluze v příslušném jazyce, označení CE a prohlášení o shodě, kterého lze dosáhnout vzetím v úvahu relevantních harmonizovaných technických norem. Tyto dokumenty je nutné povinně certifikovat akreditovaným subjektem. [23], [24]

3.2 Harmonizované normy

Slouží jako nejjednodušší prostředek pro posouzení shody, lze je dělit do 3 hlavních kategorií.[25]

Kategorie A

Základní bezpečnostní normy - souhrn obecných požadavků, zásad a nařízení pro konstrukci strojních zařízení

Kategorie B

Skupinové bezpečnostní normy - jsou vztažené ke konkrétním bezpečnostním prvkům konkrétní skupiny strojních zařízení. Lze je dělit na podskupiny:

B1 - Zaměřují se na aspekty bezpečnosti, jako je například bezpečná vzdálenost, hluk či teplota.

B2 - Vztahují se ke konkrétním bezpečnostním prvkům

Kategorie C

Bezpečnostní normy pro stroje - Jsou vztažené ke konkrétnímu typu zařízení. Detailně popisují požadavky a konstrukční zásady. Mají přednost před normami kategorií **A** a **B**.

Robotická pracoviště zpravidla podléhají široké škále harmonizovaných norem, které jsou zpravidla navázány na normu ČSN EN ISO 12100, jenž je pro návrh a posouzení pracoviště nejdůležitější.

ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snížení rizika

V této stěžejní normě kategorie A je popsán proces snižování bezpečnostních rizik technických zařízení. V procesu je nejprve třeba analyzovat jednotlivá rizika, dále zhodnotit jejich status a následně je posoudit. Tento proces je aplikován ve všech životních fázích daného produktu. V čím ranější fázi vývoje jsou rizika odhalena a eliminována, tím více jsou sníženy procesní náklady.

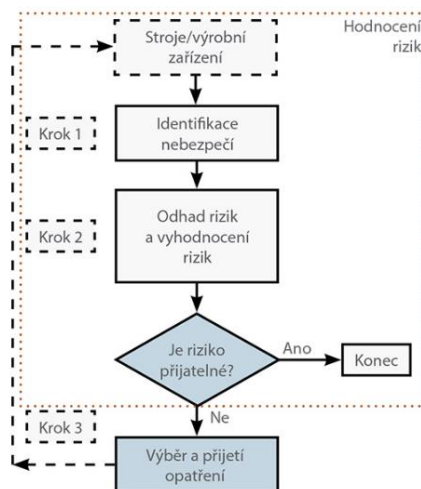
Analýza nebezpečí

- *Určení mezních hodnot stroje* - způsob použití, informace o obsluze, vytíženost stroje a údaje o prostředí [25]
- *Identifikace nebezpečí* – pro všechny činnosti a možné situace, které mohou během používání nastat (běžný provoz, nouzové zastavení, seřizování, spouštění). Tato nebezpečí se dají dále dělit na elektrická, mechanická, chemická apod. Jsou uvažována ve všech fázích životního cyklu daného zařízení. [25]
- *Odhad rizika* – Pro každou identifikovanou nebezpečnou situaci musí být odhadnuta její pravděpodobnost a dopad. [25]
- Pomocí metody 3 kroků je hodnoceno a posuzováno, zda rizika lze vyloučit či snížit.

Hodnocení a posouzení rizika

1. *Krok* – Zabudování konstrukčních opatření
2. *Krok* – Zavedení doplňkových bezpečnostních opatření
3. *Krok* – Popsání informací o zbytkových rizicích uživateli

Rizika lze většinou eliminovat už v 1. kroku pokud rizika neodstraní ani dodatečná bezpečnostní opatření je potřeba uživatele seznámit se zbylými riziky a jasně je popsat v návodu k obsluze a vybavit zařízení požadovanými piktogramy symbolizující zbytkové nebezpečí. [25], [26]



Obrázek 17 - Zjednodušený blokový diagram procesu hodnocení rizik [26]

ČSN EN ISO 10218-1 Požadavky na bezpečnost robotů – část 1: Roboty

Tato norma udává požadavky pro bezpečnou konstrukci, informace a ochranná opatření pro použití průmyslových robotů. Jsou v ní popsány požadavky na eliminaci či snížení možných rizik při použití průmyslových robotů. Také popisuje provozní režimy a funkci nouzového zastavení. [27]

ČSN EN ISO 10218-2 Požadavky na bezpečnost robotů – část 2: Systémy robotů a integrace

V normě jsou popsány bezpečnostní požadavky na integraci průmyslových robotů, které se týkají hlavně konstrukce, výroby, instalace, provozu, údržby a likvidace daného systému. Společně s normou ČSN EN ISO 10218-1 jsou úzce navázány na normu ČSN EN ISO 12100. [28]

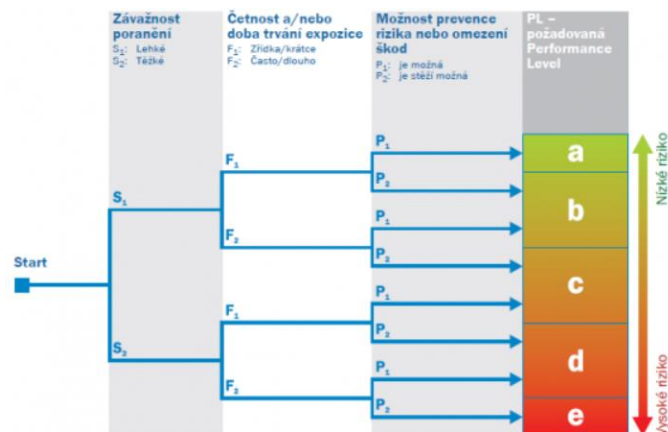
ČSN EN ISO 13849 a ČSN EN 62061 : Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů

Bezpečnostní úroveň jednotlivých bezpečnostních částí zařízení lze hodnotit dle stupnic, které definují normy ČSN EN ISO 13849 a ČSN EN 62061. V závislosti na předpokládané závažnosti možných poranění, četnosti vystavení tomuto riziku a možnosti nebezpečí předejít definují předpokládanou bezpečnostní úroveň neboli SIL (Safety integrity level) či PL (Performance level). Tato hodnota vyjadřuje průměrnou pravděpodobnost poruchy za 1 hodinu. Nevýhodou normy ČSN EN 62061 je, že ji nelze využít na jiná než elektrická zařízení, což ji staví do značné nevýhody v některých aplikacích. [29], [30], [31]

Safety integrity level SIL	Průměrná pravděpodobnost poruchy za hodinu (1/h)	Performance level PL
–	$\geq 10^{-5} \dots < 10^{-4}$	a
SIL 1	$\geq 3 \times 10^{-6} \dots < 10^{-5}$	b
SIL 1	$\geq 10^{-6} \dots < 3 \times 10^{-6}$	c
SIL 2	$\geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$	d
SIL 3	$\geq 10^{-8} \dots < 10^{-7}$	e

Obrázek 18 - Porovnání úrovní PL normy ČSN ISO 13849 a SIL normy ČSN EN 62061 [31]

Úroveň PL musí být zdokumentována pro každou bezpečnostní funkci zařízení a lze ji využít při hodnocení rizik dle normy ČSN EN ISO 12100. Platí, že čím vyšší úroveň PL, tím vyšší jsou nároky na celkové snížení rizika zařízení. [29], [31]



Obrázek 19 - Diagram pro určení úrovně PL dle ČSN EN ISO 13849 [31]

ČSN EN ISO 13850: Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci

Popisuje požadavky na zařízení pro nouzové zastavení, které slouží zároveň jako prevence proti nechtěnému spuštění zařízení. Musí sloužit pouze jako bezpečnostní doplněk, nikoli jako bezpečnostní prvek, a stisknutím odvrátit existující nebo hrozící nouzovou situaci. Samotné zastavení zařízení musí být co nejrychlejší. V normě lze nalézt způsob zapojení tlačítek pro nouzové zastavení, požadavky na jejich konstrukci, způsoby umístění, značení a rozsahy ovládání. [32], [33]



Obrázek 20 - Ovládání nouzového zastavení s červeným hřibovitým tlačítkem na žlutém panelu [33]

ČSN EN ISO 13857: Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami

Norma tabulkově popisuje nutné minimální rozměry pro zamezení dosahu končetinami. Zabývá se především výškami umístění ochranných krytů, umístěním překážek dolních končetin a hloubkami prostorů, kde obsluha stroje provádí různé pracovní úkony. [34]

ČSN EN ISO 14119: Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu

Specifikuje požadavky na blokovací zařízení umístěna na ochranných krytech. Jedná se o zámky dveří, spínače a ostatní zařízení, která slouží k oddělení obsluhy od nebezpečného prostoru zařízení. Lze je dělit na zařízení bez jištění a s jištěním. Zařízení bez jištění může být otevřeno kdykoliv, ale musí generovat funkci zastavení stroje. Naopak zařízení s jištěním zabraňuje otevření do té doby, než jsou v prostoru stroje zastaveny všechny nebezpečné funkce. Tato blokovací zařízení musejí mít zdvojené kontakty a mít automatické monitorování. [35], [36]



Obrázek 21 - Blokovací dveřní zařízení SICK s jištěním [37]

ČSN EN ISO 13855: Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla

Norma určuje požadavky na umístění bezpečnostních zařízení v závislosti na jejich vzdálenosti od nebezpečného prostoru. Stanovuje doby na zastavení systému při detekci lidského těla bezpečnostními snímacími prvky. [38]

ČSN EN ISO 14120: Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů

V normě je popsáno, jakým způsobem musí být konstruovány ochranné kryty strojních zařízení. Kryty nesmí ohrožovat obsluhu a ani zachytávat předměty. Jejich odejmutí musí být pouze za použití náradí. Kryty musejí snášet mechanické namáhání od ostatních částí zařízení, být vyrobeny z dostatečně vodivého materiálu pro zabránění nahromadění elektrostatického náboje a odolné proti vznícení. [39], [40]

ČSN EN 16985: Stříkací kabiny pro organické nátěrové hmoty - Bezpečnostní požadavky

Jelikož robotická buňka bude pevná konstrukce pro automatické nanášení organických nátěrových hmot stříkáním, znamená to, že bude podléhat normě ČSN EN 16985. [41]

Stříkací kabina musí být vybavena odsávacím zařízením s nehořlavou filtrací s minimální rychlostí vzduchu v měřící rovině potrubí 0,4 m/s. Musí být vybavena pevným krytováním s blokovacím zařízením zamezujícím vstup obsluhy při procesu nanášení látky a následného odvětrávání a být vybavena zařízením na detekci požáru. Přívod čerstvého vzduchu do kabiny musí být v dostatečné vzdálenosti od odsávacího zařízení pro zabránění recirkulace. V závislosti na koncentraci hořlavých rozpouštědel LEL v nanášené látce musí vybavení kabiny být v souladu s patřičnou zónou Ex (2G, 3G apod.). V kabině musí být veškeré neelektrické vodivé prvky uzemněny na stejný potenciál, vyloučeny elektrostatické výboje, potlačeny přímé horké povrchy a hodnota krytí elektrických motorů minimálně IP44. [41]

Pro ověření rychlosti proudění vzduchu v odsávacím zařízení kabiny v provozním režimu musí být provedeno kontrolní měření ve výšce 1 m nad odsávacím zařízením např. pomocí anemometru. Složka rychlosti proudění vzduchu je měřena v závislosti na směru odsávání, rychlost proudění musí být vyšší než 0,3 m/s. [41]

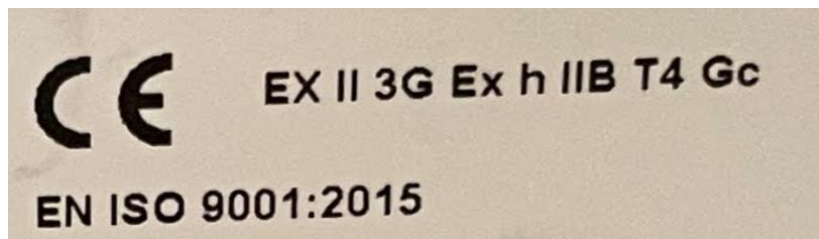


Obrázek 22 - Automatická robotická kabina se 2 roboty [42]

3.3 Směrnice ATEX 2014/34/EU a ATEX 99/92/EU

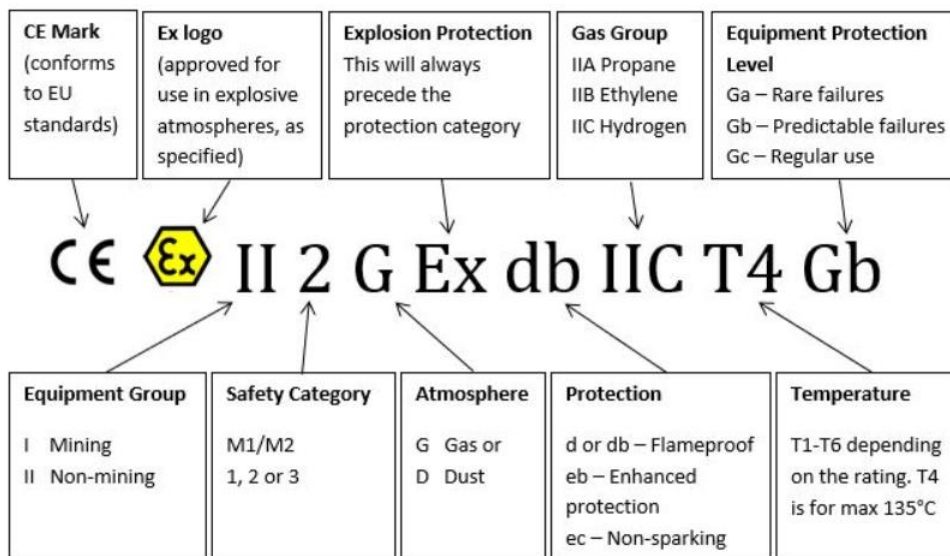
Jak bylo naznačeno v předešlých kapitolách a v zadání, tak vzhledem k typu operace a druhu látky využívané při technologických operacích v robotickém pracovišti bude v zařízení vznikat výbušná atmosféra (ATEX). Se vznikem výbušné atmosféry v oblasti pracoviště rostou nároky na bezpečnost a na použité komponenty. Směrnice ATEX 2014/34/EU a ATEX 99/92/EU a na ně navázaná norma ČSN EN 60079 blíže uvádí dělení těchto zón a specifikuje, jaké náležitosti je potřeba uvažovat během návrhu a provozu zařízení v závislosti na klasifikaci zóny ATEX. Dále specifikují, jak má výrobce postupovat při posuzování shody výrobku, který spadá do této kategorie a uvádí jej na trh. [43], [44], [45]

Ve směrnících lze nalézt například požadavky na úplné krytování a případné oddělení výbušných zón od okolního prostředí, použití elektrické instalace s protijiskrovou ochranou či pevným závěrem, použití konektorů s ochranou bariérou proti jiskření, eliminaci vzniku elektrostatického výboje, omezení vzniku horkých povrchů nebo potlačení tlakových vln při vyrovnávání tlaků. Každé zařízení s určením do zóny s výbušnou atmosférou musí nést štítek s označením jejího typu jako na obrázku č. 23. [43], [44], [45]



Obrázek 23 - Označení typu zóny ATEX na štítku výrobku určeného do výbušného prostředí

Na obrázku č. 23 v označení **II** symbolizuje skupinu zařízení pro prostory jiné než doly. **3G** kategorii plynného prostředí, kde za normálních podmínek není pravděpodobný vznik výbušné atmosféry. **Exh** druh ochrany, kde nemůže dojít ke vzniku vznícení. **IIB** skupinu výbušnosti ethylenu nebo sirouhlíku. **T4** teplotní třídu s maximální přípustnou povrchovou teplotou menší než 135° C. **Gc** typ jiskrové bezpečnosti. [46]



Obrázek 24 - Detailní vysvětlivky k jednotlivým popiskům štítku s ATEX klasifikací [47]

4 Praktická část

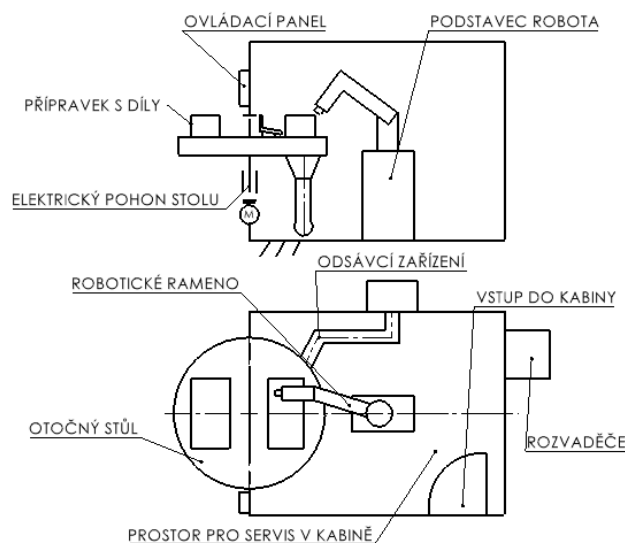
4.1 Zhodnocení potřebných parametrů pro konstrukční návrh

Pro vytvoření konstrukčního návrhu robotického pracoviště je potřeba uvážit mnoho aspektů ze zkoumaných norem. Hlavním úkolem je implementovat robot značky FANUC či ABB do uzavřené kabiny o zadaných maximálních rozměrech, kde bude probíhat oddělená operace nanášení lepidla na plastové díly dle zadaného modelu za vzniku výbušného prostředí ATEX II 3G. Díly budou ručně zakládány pracovníky obsluhy. Buňka bude vybavena aktivním odsáváním výparů rozpouštědel obsažených v lepidle Korapren FU 35. V kabině bude probíhat automatická detekce založeného dílu. Pracoviště bude nutné vybavit náležitými bezpečnostními prvky v souladu se zmíněnými normami a analýzou rizik v předešlých kapitolách. Zařízení je v plánu složit na pobočce a dovézt jej k zákazníkovi jako hotový modul a jen jej připojit k energiím. K řízení programu v zařízení bude použito PLC od výrobce Siemens.

V závislosti na zadání a zjištěných poznátcích z norem byly vypracovány 2 možné koncepční návrhy robotického pracoviště. Cílem této kapitoly je provést pomocí srovnávací tabulky výběr optimální varianty. Jednotlivé vlastnosti obou koncepčních návrhů budou ohodnoceny a bude rozhodnuto pro nejvhodnější variantu, pro kterou bude následně proveden detailní konstrukční návrh. Hodnocení bude realizováno u konstrukčních, provozních, bezpečnostních a ekonomických aspektů.

4.1.1 Varianta A

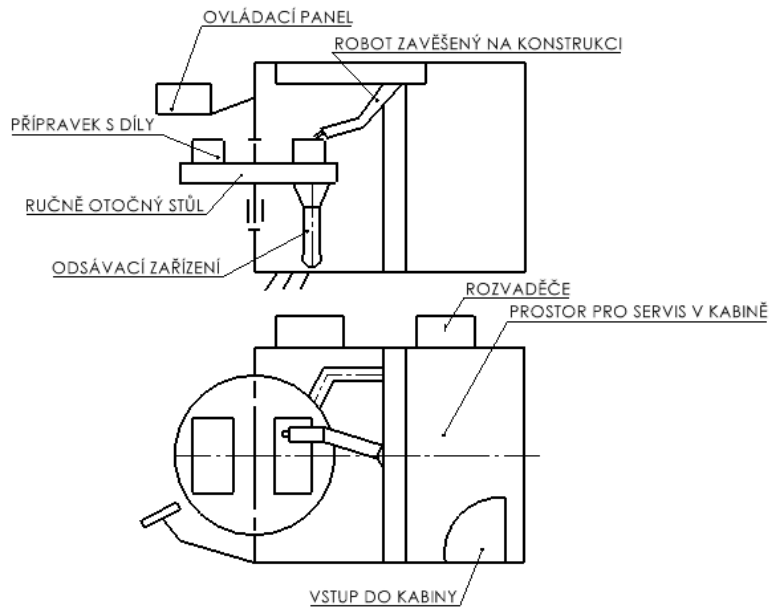
V této koncepční variantě je zamýšleno pracoviště koncipovat jako uzavřenou kabinu, uprostřed které je robustní podstavec osazený robotickým ramenem s rotačním atomizérem, které nanáší nástřikem lepidlo na plastové díly usazené v přípravku na otočném stole. Stůl je poháněn servomotorem s převodovkou, lze jej protáčet bez omezení. Na plochu stolu je umístěno lůžko, do kterého obsluha zakládá plastové díly určené pro nástřik. Ve stole je otvor, kterým probíhá odsávání nebezpečných výparů ze stříkaného lepidla, výpary poté jsou dopravovány odsávacím zařízením přes filtraci směrem k ventilátoru, který je umístěn mimo kabinu. V prostorách kabiny je směrem od vstupních dveří za robotem volný prostor pro vnitřní servisní úkony zařízení. Ovládací panel je umístěn na stěně kabiny. Elektrický rozvaděč, vzduchové řízení a rozvaděč robota jsou umístěny ze zadní strany kabiny.



Obrázek 25 - Koncepční návrh rozložení robotického pracoviště - Varianta A

4.1.2 Varianta B

Varianta B se zásadně liší v typu umístění robota, který je zavěšený na stropě uzavřené kabiny a má jako koncový efektor stříkací pistoli. Otočný stůl je řešen ručním pohonem s možností pootočení o 180° a dorazem. Zakládací lůžko dílů a způsob odsávání výparů je řešen stejným způsobem jako u varianty A. Rozvaděče a vzduchové řízení jsou umístěny z boku kabiny. Ovládací panel je obsluhuje přiblížen pomocí nastavitelného držáku.



Obrázek 26 - Koncepční návrh rozložení robotického pracoviště - Varianta B

4.1.3 Zhodnocení a výběr optimální varianty

Umístění robota varianty B se jeví výhodnější vzhledem k povaze operace, kterou vykonává. Nehrozí zde riziko, že by se zbytky nanášeného lepidla usazovaly na patě robota a lze takto docílit lepšího dosahu koncového efektoru a v závislosti na tom zefektivnit celý proces navýšením počtu založených kusů na jednotlivý pracovní cyklus zařízení. Vznikají tím tak zvýšené ekonomické a výrobní nároky na nosnou konstrukci.

Varianta A nabízí například vyšší efektivitu úkonu otočení dílů do kabiny díky servopohonu, ale vznikají zde zvýšené ekonomické a bezpečnostní nároky z důvodu možného zachycení obsluhy poháněným stolem. Použití rotačního atomizéru zaručí vyšší efektivitu samotného nástřiku lepidla, ale je značně energeticky náročnější a je vhodnější spíše pro větší díly. Dispoziční rozmístění okolních komponent se jeví výhodnější u varianty B, lze zde docílit lepšího využití okolního prostoru. Podobnou výhodu má i umístění ovládacího panelu, který je polohovatelný a uživatelsky přijatelnější.

V tabulce č. 2 jsou jednotlivá kritéria vlastností ohodnocena váhou 1-4, kde hodnota 4 znamená váhu nejvyšší. U obou variant jsou následně tato kritéria ohodnocena opět hodnotami 1-4, kde hodnota 4 znamená nejlepší výsledek. Celkovým výsledkem jsou u obou variant celkové součty všech součinů kritérií vlastností a hodnot splnění, následně je z nich vybrán ten součet s vyšší hodnotou.

Z výsledku plyne, že varianta B se jeví jako optimální, hlavním důvodem je ekonomická úspora, nižší nároky na bezpečnostní zařízení a efektivnější provoz. Výběr varianty B zároveň znamená složitější konstrukční nároky na zařízení.

SWOT Hodnocení vlastností navržených variant						
		Varianty a dílčí součiny				
Kritéria vlastností	Váha hodnocení	A	-	B	-	
Konstrukční						
Konstrukční složitost	2	4	8	1	2	
Dosah robota	3	2	6	4	12	
Manipulace celku	2	4	8	4	8	
Modulárnost	4	3	12	4	16	
Nosnost konstrukce	3	2	6	3	9	
Složitost montáže	2	4	8	2	4	
Provozní						
Zástavbová náročnost	3	2	6	3	9	
Efektivita založení dílu	3	3	9	3	9	
Energetická náročnost	3	1	3	3	9	
Efektivita nástřiku lepidla	4	3	12	4	16	
Uživatelská přívětivost	3	4	12	3	9	
Seřizovatelnost	2	2	4	3	6	
Náchylnost k chybám	3	2	6	3	9	
Efektivita procesu	3	2	6	3	9	
Bezpečnostní						
Zabezpečení funkce ovládání	4	4	16	4	16	
Potlačení působících rizik	3	2	6	3	9	
Izolace výbušné zóny	4	4	16	4	16	
Odsávání výparů	4	4	16	4	16	
Bezpečnost provozu robota	4	4	16	3	12	
Ekonomické						
Cena nakupovaných dílů	4	2	8	3	12	
Dostupnost nakupovaných dílů	2	3	6	3	6	
Cena vyráběných dílů	3	4	12	2	6	
Výrobní náročnost	3	3	9	2	6	
Čas strávený konstrukcí a realizací	3	3	9	2	6	
Součty hodnocení			220		232	

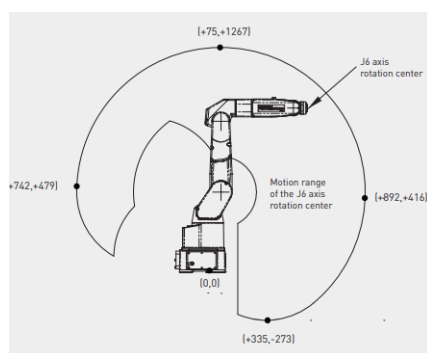
Tabulka 2 – Zjednodušené SWOT Hodnocení navržených koncepčních variant

4.2 Volba robotu

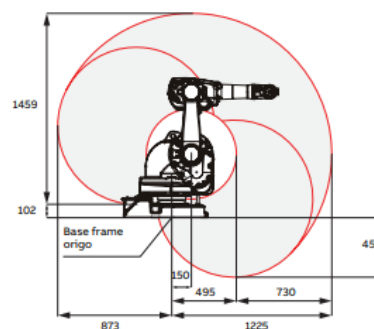
V této kapitole je proveden výběr robotů od výrobců FANUC a ABB vhodných pro aplikaci do výbušného prostředí min. Ex II 3G. Cílem je provést operaci lakování na 2 dílech zároveň. V závislosti na velikosti lakovaných dílů se výběr zužuje na modely robotů FANUC Paint Mate 200iA/5L a ABB IRB 52.

Parametr	FANUC Paint Mate 200iA/5L	ABB IRB 52
Hmotnost celku bez kontroléru	37 kg	250 kg
Maximální dosah	892 mm	1225 mm
Nosnost zápěstí	5 kg	7 kg
Typ konstrukce robota	Sériový angulární, 6 os	Sériový angulární, 6 os
Certifikace Ex	Ex II 2G, 2D	Ex II 2G, 2D
Integrované vzduchové ventily	Ano	Ano
Možnost montáže zavěšením	Ano	Ano
Rozměry paty robota	260 x 265 mm	484 x 648 mm
Napájecí napětí	230 V, 50-60Hz, 1 fázově	400V, 50-60Hz, 3 fázově
Maximální příkon při provozu	500 W	800 W
Typ kontroléru	R-30iB Plus	IRC5P Paint
Opakovatelná přesnost	0,03 mm	0,15 mm
Požizovací cena / Dostupnost	1 050 000 Kč / 6-8 týdnů	980 000 Kč / 3-4 týdny

Tabulka 3 - Srovnání hlavních parametrů robotů FANUC Paint Mate 200iA/5L a ABB IRB 52 [48], [49]



Obrázek 27 - Pracovní rozsah robotu Fanuc Paint Mate 200iA/5L [48]

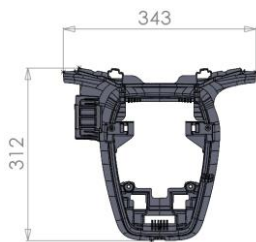


Obrázek 28 - Pracovní rozsah robotu ABB IRB 52 [49]

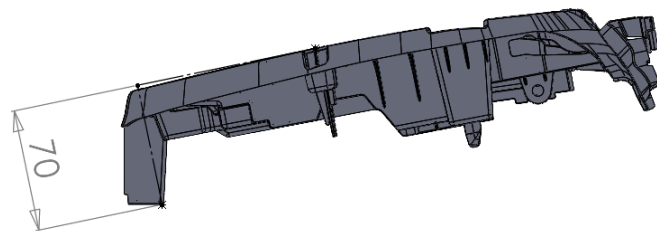
Navzdory lepšímu dosahu robotu a ceně ABB je FANUC Paint Mate 200iA/5L kompaktnější, vykazuje menší spotřebu a snižuje celkové nároky na závěsnou konstrukci. Robot je vybaven přetlakovým systémem pro odpuzení výbušné atmosféry od jeho elektrické výzbroje. Podmínkou pro správnou instalaci je oddělení kontroléru a vzduchového zásobníku od výbušného prostředí, toho lze docílit protažením vodičů a vzduchových hadic utěsněným otvorem v krytování kabiny.

4.3 Prověření dosahů robotu

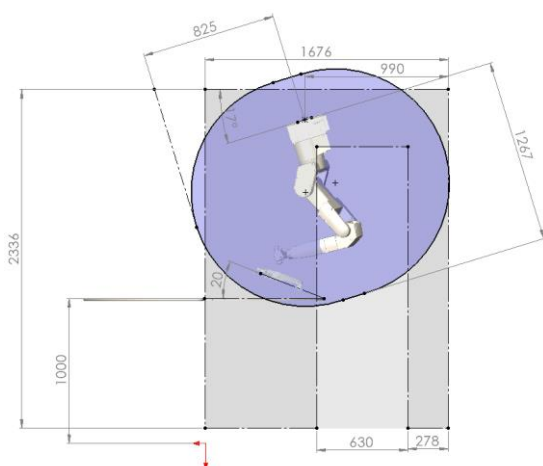
Plastové díly, které jsou založeny v přípravku na otočném stole a probíhá na ně nástřik lepidla, je lepší umístit pod mírným sklonem okolo 20° k horní rovině stolu a zároveň jejich pozici vychýlit o zhruba 16° tak, aby se lépe vešly do pracovní obálky dosahů robotu. Pata robotu je usazena na konstrukci pod sklonem 17° z důvodu přenesení singularity umístění robotického ramene mimo plochu pracovního stolu. V zobrazených dosazích na obrázcích č. 30 a 31 zatím není započítáno zvětšení obálky dosahů vyložení koncového efektoru. Lze tedy s jistotou předpokládat, že přípravek se 2 plastovými díly se do obálky dosahů s rezervou vejde. V rámci průzkumu možností navrženého pracoviště byla provedena zkouška umístění 3. dílu, ale bylo zjištěno, že do pracoviště o těchto zástavbových rozměrech a umístění robota je možné najednou založit pouze 2 díly o rozměrech na obrázku č. 28 a 29.



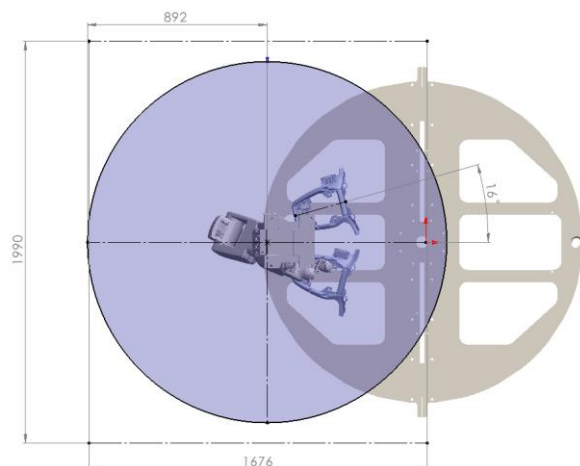
Obrázek 29 - Rozměry plastového dílu určeného pro robotické nanášení lepidla - půdorys



Obrázek 30 - Rozměry plastového dílu určeného pro robotické nanášení lepidla - bokorys



Obrázek 31 - Prověření dosahů robotu v závislosti na zástavbě kabiny a poloze plastových dílů - bokorys

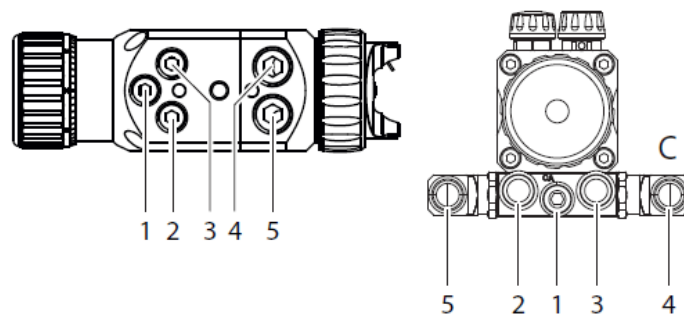


Obrázek 32 - Prověření dosahů robotu v závislosti na zástavbě kabiny a poloze plastových dílů - půdorys

4.4 Volba koncového efektoru

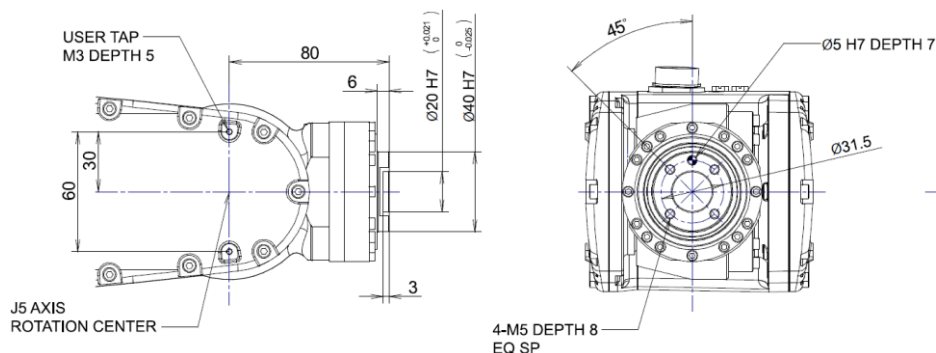
Jako koncový efektor robotu byla vybrána automatická stříkácí pistole GA 1030 značky Wagner s certifikací Ex II 2G, externím řízením nastavení nástřiku a uzavírací jehlou, schopná pracovat s tlaky média do 8 bar. Znamená to, že volba parametrů nástřiku je na ovládacím panelu, parametry jsou následně zpracovány pomocí PLC a je regulován tlak vzduchu či média vstupujícího do jednotlivých hadic ovládací stříkácí pistole. [17]

Pistole je osazena konvenční tryskou se vzduchovým uzávěrem pro adhezivní materiály kvůli vysoké dynamické viskozitě lepidla (450 mPa s) a uzavírací jehlou o průměru 1,8 mm. Konvenční tryska je speciálně upravena pro nižší rozsah pracovního tlaku 5-8 bar. K pistoli je nutno vést dohromady 4 vzduchové hadice, kde v každé je nutno řídit tlak zvlášť. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.2.2, pistole má konektory pro 3 ovládací vstupy a 2 konektory pro stříkané médium. Průtok média a ostatní parametry lze nastavit i ručním způsobem otočením regulačních kroužků, který tlačí na jehlu, ale tento způsob je pro danou aplikaci nežádoucí. Z toho plyne, že regulační kroužek zůstane uzavřen a průtok bude řízen pouze externě. Na obrázku č. 32 lze vidět zmíněných 5 vstupů, kde poz. 1 je ovládací vzduch (CA), který otevírá a zavírá přívod média a poz. 2 tvarovací vzduch (SA) ovládající vzor nástřiku. Poz. 3 (AA) atomizační vzduch ovládá proces rozprašování média, které vstupuje do pistole poz. 4 (Product IN). Pistole navíc nabízí možnost výstupu na poz. 5 (Product OUT) pro cirkulaci média, kterou daná aplikace nevyžaduje. [17]

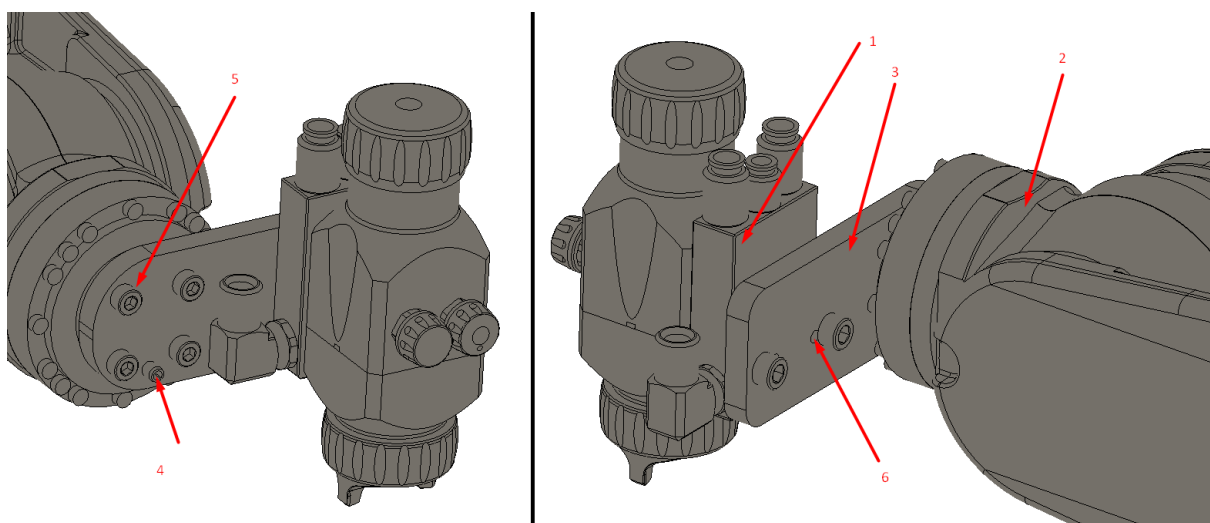


Obrázek 33 - Nákres stříkácí pistole Wagner Ga 1030 bez adaptéru a s adaptérem [50]

Adaptér stříkácí pistole je na zápěstí robotu osazen pomocí vyráběného redukčního dílu a vyneseno do boku ramene. Jak redukční díl, tak adaptér pistole musí být s redukčním dílem přesně sesazen pomocí kolíků či osazení. Je to z důvodu jednotného nastavení programů robotu. Kdyby došlo ze servisních důvodů k demontáži, mohlo by se stát, že efektor nebude mít stejnou polohu jako v předešlém případě a naučené pracovní souřadné systémy robotu by již neměly svou definovanou polohu.

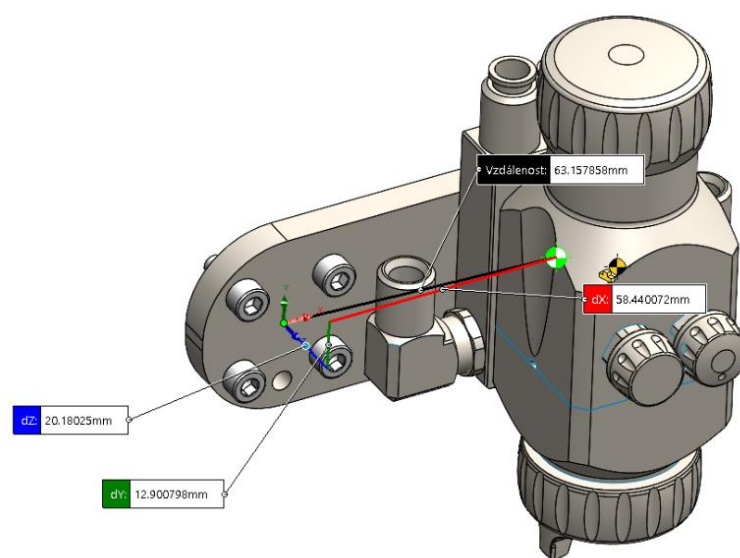


Obrázek 34 - Připojovací rozměry zápěstí robotu FANUC Paint Mate 200iA/5L [51]

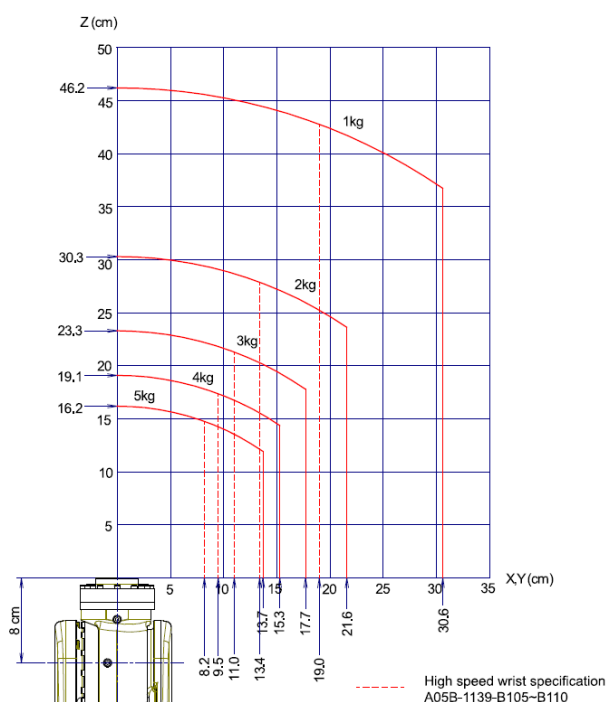


Obrázek 35 - Usazení automatické stříkací pistole na zápěstí robotu (1- Automatická stříkací pistole s adaptérem; 2 - Zápěstí robotu; 3 - Redukční vyráběný díl; 4 Pružný kolík $\varnothing 5$; 5 - Šrouby M5x14; 6 - Šrouby M5x12 a kolíky $\varnothing 3,5$)

Sestava efektoru má celkovou hmotnost 1,3 kg a vzdálenost těžiště od středu zápěstí dle obrázku č. 35. Z diagramu od výrobce robotu lze vyčíst, že se vzhledem k poloze těžiště a celkové hmotnosti efektor pohybuje v oblasti maximální nosnosti 5 kg. Hodnoty v diagramu jsou znázorněny pro nejméně příznivé polohy robotu z hlediska zatížitelnosti ramene.



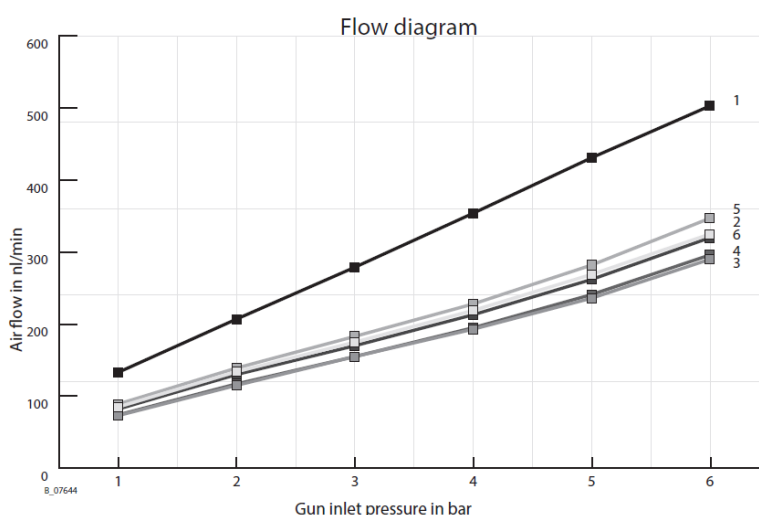
Obrázek 36 - Rozměry těžiště efektoru vztahované ke středu zápěstí robotu



Obrázek 37 - Diagram zatížitelnosti robotického ramene v závislosti na poloze těžiště a hmotnosti efektoru [50]

4.5 Řízení média do stříkací pistole

V předešlé kapitole bylo zmíněno, že externí stříkací pistole potřebuje ke svému ovládní vzduch. Dále je nutné uvést, že parametry nástřiku je potřeba v závislosti na čase měnit. Je to z důvodu různé geometrie dílu, vzdálenosti pistole a mírné odlišnosti dílů, které časem budou do pracoviště vstupovat. Pistole je konstruována tak, že v závislosti na změnách tlaku AA, SA a stříkaného média mění parametry nástřiku.



Obrázek 38 - Graf závislosti velikosti tlaku atomizačního vzduchu (bar) na jeho průtočném množství (nl/min). Křivka č.5 pro zvolenou trysku. [17]

Pro řízení tlaku stlačeného vzduchu je potřeba regulátor tlaku, který bude zároveň schopen komunikovat s PLC a nastavení tlaku spojitě měnit patřičným programem. Vhodnou variantou je proporcionální regulátor tlaku ITV2050 od SMC. Jeho regulační rozsah je 0,05 - 9 bar s přesností 0,5%. Ke komunikaci využívá rozhraní IO Link. Regulátory je z důvodu bezpečnosti nutno od pistole oddělit pomocí 3/2 solenoidových ventilů, které budou taktéž ovládány pomocí programu v PLC. [51]



Obrázek 39 - Proporcionální regulátor tlaku vzduchu SMC ITV2050-ILF2N [52]

Z důvodu rizika velkých tlakových ztrát ve vedení stlačeného vzduchu nelze využít vnitřní vedení mezi 3. až 5. osou v robotu. Vedení má vnitřní průměr pouze 4 mm. Při uvážení maxima regulačního rozsahu regulátoru, potřebného tlaku v pistoli, celkového objemového průtoku v dané větvi rozvodu, přibližné délky a průměru hadice, lze použít nástroj pro výpočet tlakové ztráty od SMC. Při použití hodnot z diagramu na obrázku č. 37, standardní vzduchové hadice o vnitřním průměru 6,5 mm a přibližné délce 4,5 m vychází, že maximální vypočtená tlaková ztráta bude 0,78 bar. Předpokládanou ztrátu lze v provozu vykompenzovat zvětšením nastaveného tlaku na proporcionálním regulátoru.

Software pro výpočet poklesu tlaku v hlavním rozvodu / doporučeného průtoku

Výběr výpočetního vzorce > Vstupní podmínky

Vložte podmínky

Tlaková ztráta v rozvedech

Podmínky			
Průměr hadic	SGP6A (1/8B)		
Vnitřní průměr (D)	6.5	mm	[0.1 ~ 229.4]
Délka (L)	4.5	m	[0.1 ~ 10,000]
Vstupní tlak (P1)	0.6	MPa	[0.1 ~ 10]
Průtok (Q)	0.32	m ³ /min(ANR)	[0.001 ~ 10,000]

Spustit výpočet

Výsledky výpočtu

Pokles tlaku (ΔP) MPa

Obrázek 40 - SMC Software pro výpočet tlakové ztráty v hadici - maximální tlaková ztráta pro dosazené hodnoty z diagramu na obrázku č. 37 [53]

Pro vedení tlakových hadic u ramene robota je použit energetický řetěz TRIFLEX R který umožňuje pohyb hadic ve všech osách. Řetěz má zvýšenou odolnost proti torzi a k robotu je uchycen pomocí objímek. Systém řetězu je navržen tak, aby byly minimalizovány přebytečné průvěsy energií vedených k efektoru. [54]

4.6 Uchycení robotu na nosné konstrukci kabiny

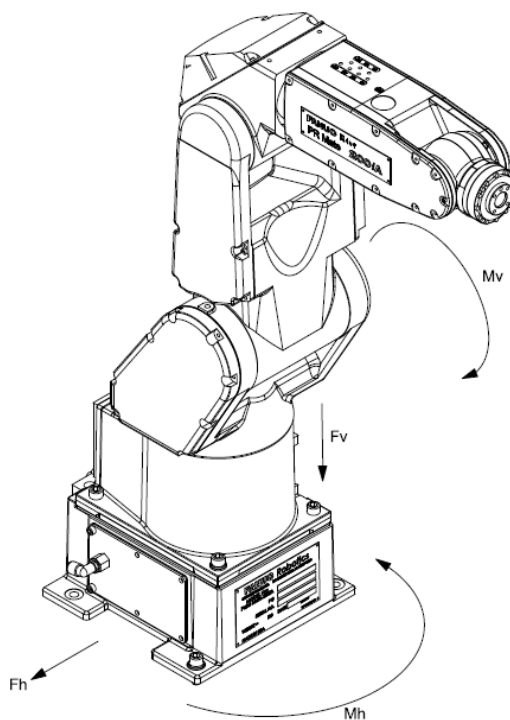
V důsledku toho, že robot je z technologických důvodů zavěšen na stropě kabiny, je potřeba prověřit pevnostní a tuhostní parametry celé nosné konstrukce. V případě robota bude tuhost hrát důležitou roli v dosažení opakovatelnosti naprogramovaných pozic nástřiku. Může nastat situace, že vlivem poddajnosti konstrukce v kombinaci s velkými setrvačnými silami se souřadný systém robota vychýlí a systém tak ztratí požadovanou přesnost. Z tohoto důvodu je přistoupeno k provedení MKP výpočtu tuhosti konstrukce v softwaru Solidworks Simulation.

Nosná konstrukce je navržena jako kombinace 2 svařovaných ocelových platforem, které jsou spojené s ocelovými sloupy pomocí šroubů. Výrobce robota uvádí zatěžující parametry vztažené ke středu paty robota v tabulce č. 4. Tyto hodnoty platí pro případ, že nastane nouzové zastavení a celý systém se zastaví s maximálním možným zpomalením při maximálním možném zatížení zápěstí na největším dosahu.

Force and Moment for the Paint Mate 200iA/5L

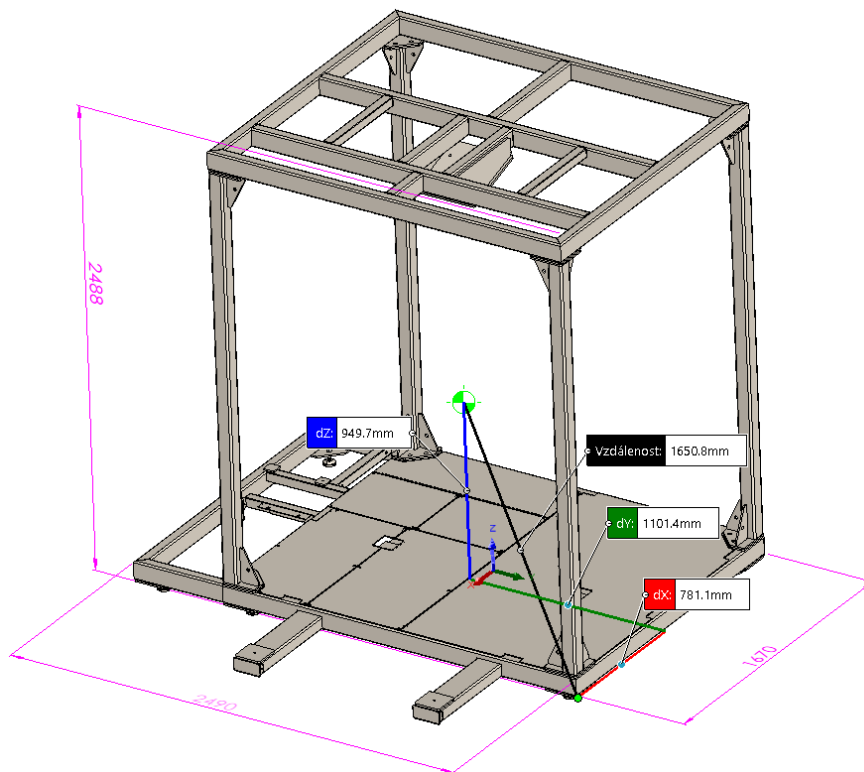
	Vertical moment $M_v(\text{Nm})$	Force in Vertical direction $F_v(\text{N})$	Horizontal moment $M_h(\text{Nm})$	Force in Horizontal direction $F_h(\text{N})$
During stillness	138.5	333.2	0	0
During acceleration or deceleration	335.6	586.5	169.8	578.1
During emergency stop	727.8	992.6	514.5	720.3

Tabulka 4 - Nejméně příznivé zatěžující účinky od robota při různých provozních stavech vztažené ke středu jeho paty [50]



Obrázek 41 - Znázornění zatěžujících účinků od pohybu robota vztažené k tabulce č. 4 [50]

Mezi požadavky na celé pracoviště patří i přemístitelnost, což v návrhu znamená, že kabina nebude pevně přikotvena do betonové podlahy haly, ale je pouze postavena na stavitelných závitových nohách s pryžovými NBR podložkami. To by mohlo znamenat ztrátu stability celé konstrukce v případě, že práce sil a momentů na ní působících bude dostatečná pro její uvedení do labilní polohy. Tento stav zatížení ale lze vyloučit, protože síly a momenty působící od robotu jsou zanedbatelné vzhledem k hmotnosti kabiny. [55]



Obrázek 42 - Návrh konstrukce pro zavěšení robotu s polohou jejího těžiště

Při uvážení konstanty gravitačního zrychlení $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ lze vyjádřit velikost zatěžujících účinků od vlastní tíhy kabiny a robotu s efektem pomocí uvedeného vztahu č. 1. Účinky budou ležet v těžišti jednotlivých sestav a směřovat kolmo směrem na rovinu podstavy. Hodnoty zatěžujících okrajových podmínek MKP výpočtu pevnosti a tuhosti kabiny jsou znázorněny v tabulce č. 4 a č. 5.

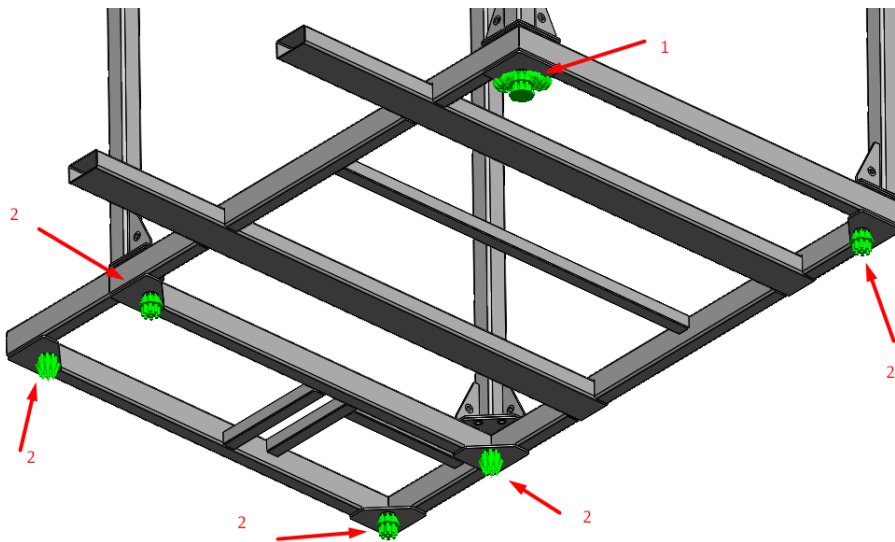
$$F_{Gi} = m_i \cdot g \quad (1)$$

Název zatěžujícího účinku	Vlastní hmotnost - m_i	Velikost zatěžujícího účinku F_{Gi}
Tíhová síla od hmotnosti celku kabiny	1100 kg	10791 N
Tíhová síla od hmotnosti robotu	38,3 kg	376 N

Tabulka 5 - Zatěžující účinky od vlastní tíhy kabiny a robotu

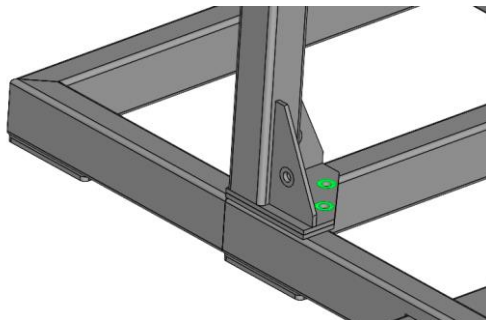
Celá kabina bude usazena celkem na 6 podporách, které jsou spojené se spodní platformou. Horní a spodní platforma je spojena pomocí sloupů 8 šrouby M16 8.8 nahoře i dole. Obě platformy jsou svařené z ocelových dutých obdélníkových profilů TROBD 100x60x3 z oceli S235JRH, jsou vybaveny plechovými výztuhami z oceli S235JR. Sloupy jsou svařené z dutých čtvercových profilů TR4HR 80x3 z oceli S235JRH, také mají plechové výztuhy z oceli S235JR u přípojných míst. Materiály mají modul pružnosti 210 GPa. Platformy a sloupy budou pro zjednodušení ve výpočtu uvažovány jako samostatné díly. Poddajnost spojení tuhé paty robotu a horní platformy je zanedbána.

Téměř všechna místa v oblasti podpor jsou ve výpočtu definována jako posuvné vazby. Je zároveň nutné 1 podporu definovat jako vetknutou, aby byly konstrukci odebrány všechny stupně volnosti a nemohlo dojít k selhání výpočtu vlivem nadměrných posunutí. Tento krok je použit, protože lze uvažovat kombinaci dostatečné hmotnosti kabiny a součinitele tření mezi pryžovými podložkami podpěr a betonovou podlahou v hale pro zabránění ztráty kontaktu vlivem zatížení konstrukce.



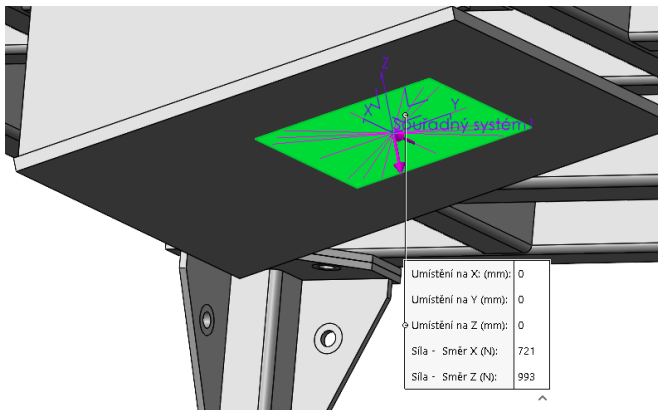
Obrázek 43 - Definování podpěrných míst konstrukce pro MKP výpočet (1 - Vazba vetknutí, 2 - Vazba posuvná)

Kontakty mezi svařovanými platformami a sloupy jsou definované jako pevné v oblastech ovlivněných utažením šroubových spojů. Při uvážení předepsaného utahovacího momentu šroubů M16 8.8, který je 209 Nm, lze očekávat dostatečnou třecí sílu mezi spojovanými povrchy k zamezení ztráty kontaktu ve vyznačených místech. [56]

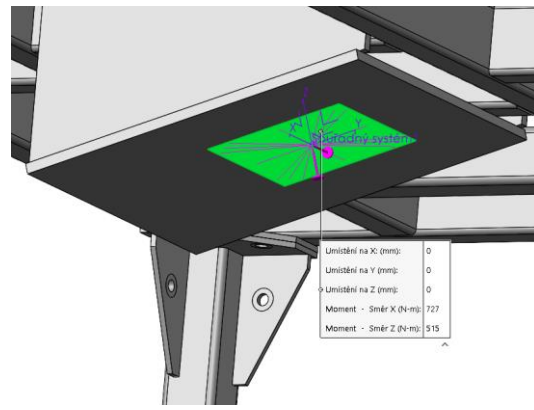


Obrázek 44 - Oblasti kontaktů šroubových spojů mezi svařovanými platformami a sloupy v MKP výpočtu

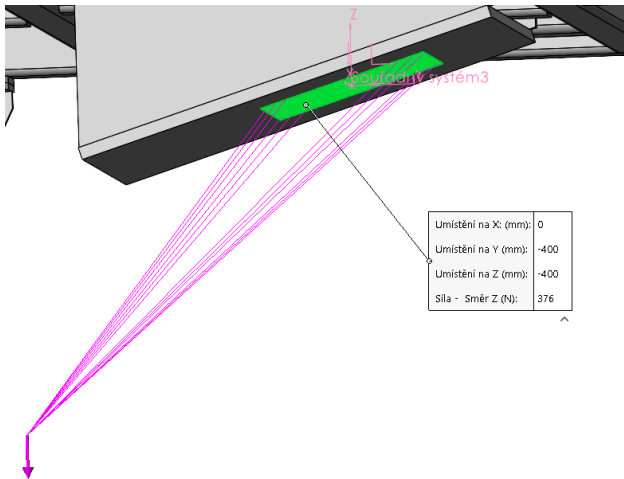
Zatěžující účinky od robotu (tabulka č. 4) a jeho vlastní tíha (tabulka č. 5) jsou definovány pomocí funkce Remote mass. Tato funkce umožňuje vztáhnout k určité ploše souhrn zatěžujících účinků, které na ní působí přímo nebo na rameni. Lze tak z analýzy vyloučit objem ramene robotu a nahradit jej soubohem sil a momentů působících na plochu jeho uchycení na konstrukci. Polohu těžišť jednotlivých členů robotu výrobce neudává, proto je ve výpočtu uvažována v definujícím parametru vzdálenosti určitá rezerva. Zatěžující účinek od vlastní tíhy celku kabiny je definován pomocí funkce Gravitate.



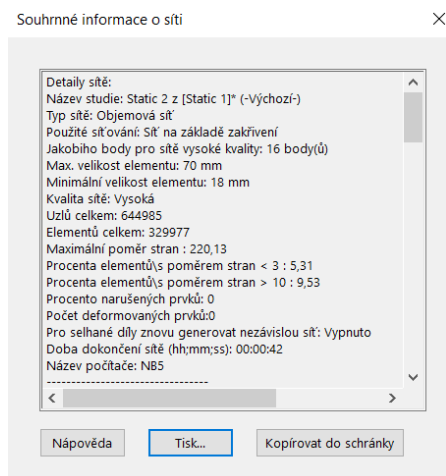
Obrázek 45 - Silové zatěžující účinky od nouzového zastavení robotu definované funkcí Remote mass



Obrázek 46 - Momentové zatěžující účinky od nouzového zastavení robotu definované funkcí Remote mass



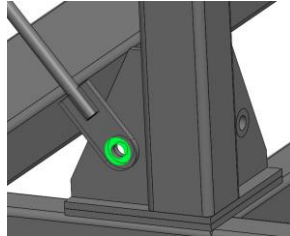
Obrázek 47 - Zatěžující účinek od vlastní tíhy ramene robotu definovaný funkcí Remote mass



Obrázek 48 - Informace o vytvořené síti

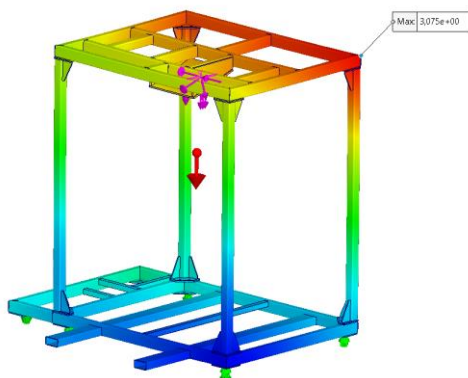
Pro nasítování modelu bylo použito inteligentní síť na základě zakřivení geometrie. Pro celý model byla síť převedena na 3D prvky i přesto, že jsou v modelu použity nosníky a plechy a bylo by výhodné síť kombinovat. Je to především kvůli špatné vizualizaci výsledků při kombinaci 1D, 2D a 3D sítí pomocí software Solidworks Simulation.

Po přezkoumání výsledků bylo přistoupeno k ztužení celé konstrukce pomocí 2 párů diagonálních výztuh ve stěnách kabiny. Pro výpočet je uvažena vždy pouze 1, protože každá výztuha v páru je schopna efektivně přenášet pouze tah. Jako výztuhy byly použity závitové tyče M16 8.8 s navařenými montážními plechy na koncích, ve kterých jsou zároveň přišroubovány ke konstrukci pomocí šroubů M12 8.8. Závitové tyče jsou v konfiguraci, že zhruba polovina každé má opačné stoupání a jsou vzájemně utaženy dopínací maticí.

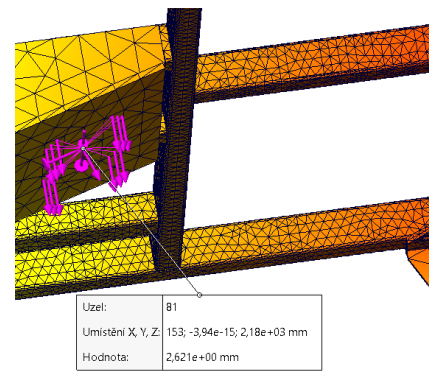


Obrázek 49 - Znárodnění oblasti pevného kontaktu mezi okem diagonální výztuhy a přípojným místem v žebru sloupu

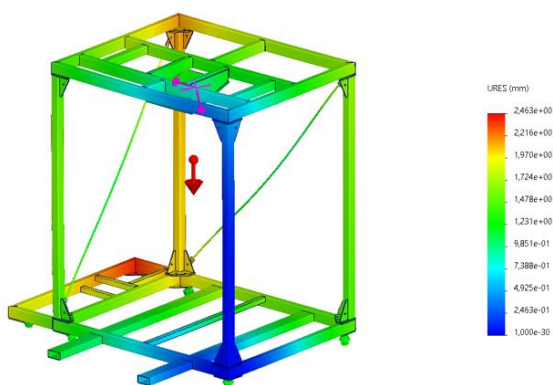
Úplným předepnutím výztuh je vymezena jejich vůle a je tak přes ně umožněno přenosu sil a tím ztužení celé kabiny. Kontakty mezi výztuhami a žebry sloupů kabiny jsou opět uvažovány jako pevné, stejně jako tomu je v případě uchycení samotných sloupů.



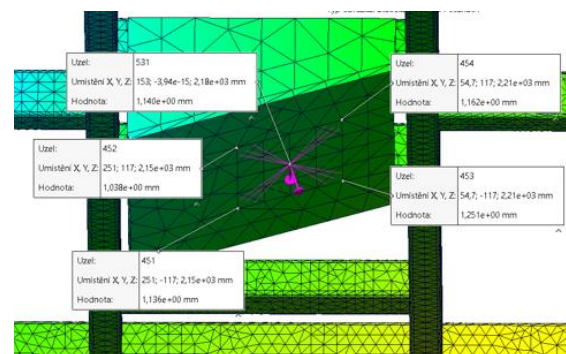
Obrázek 50 - Výsledky MKP analýzy tuhosti konstrukce kabiny před jejím ztužením



Obrázek 51 - Hodnota posunutí uzlu ve středu uchycení robotu před ztužením konstrukce



Obrázek 52 - Výsledky MKP analýzy tuhosti konstrukce kabiny po jejím ztužení



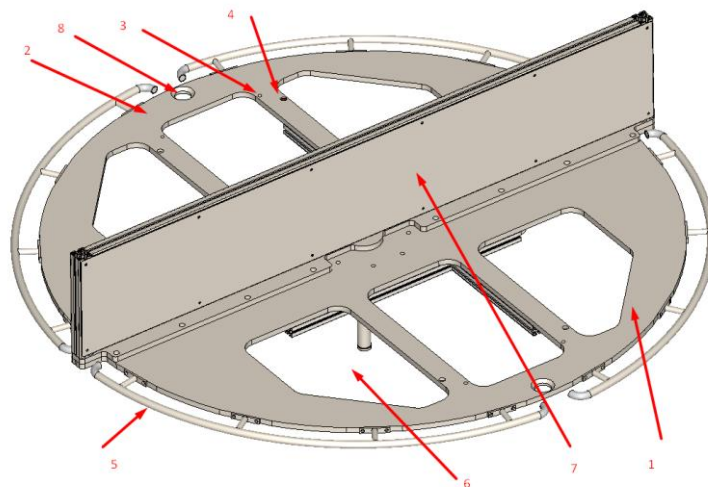
Obrázek 53 - Hodnoty posunutí uzlů v místě uchycení robotu po ztužení konstrukce

Díky použití diagonálních výztuh je konstrukce výrazně tužší. Posunutí uzlů v místě uchycení paty robotu je zhruba 1,5 mm nižší než před ztužením. Celková přesnost operace tedy výrazně stoupne. V celkovém zhodnocení je nutné zdůraznit, že ve výpočtu byly použity nejextrémnější okrajové podmínky z hlediska zatížení, které by mohly v provozu zařízení nastat pouze v ojedinělých případech. Z toho lze usoudit, že finální přesnost efektoru bude běžně znatelně vyšší než bylo analýzou zjištěno.

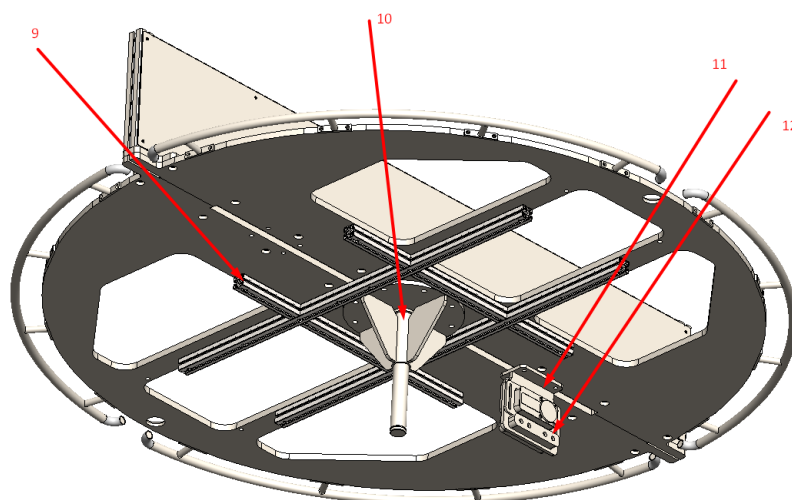
4.7 Návrh konstrukce stolu s otočným talířem

V předešlé kapitole byla vybrána varianta řešení s manuálně ovládaným otočným stolem. Je to především z důvodu, že při použití motorického pohonu by mohlo dojít k zachycení obsluhy stolem a oblast zakládání by musela být oddělena krytváním od prostoru, kde se obsluha nachází. Dále by to znamenalo použití dalšího ovládacího prvku a muselo by být snímáno či manuálně potvrzováno, že se v prostoru, kde hrozí zachycení, nikdo nenachází.

Navržený otočný stůl lze dělit do 3 hlavních částí, kterými jsou otočný talíř, spodní konstrukce s uložením a sací koš, který je součástí odsávacího zařízení. Otočným talířem se rozumí část stolu, kam obsluha zakládá přípravky s díly a manuálně jí otáčí okolo vlastní osy. Funkcí talíře je přesunout díl z prostoru obsluhy do uzavřené kabiny k robotu. Během operace nanášení lepidla obsluha na vnější straně kabiny vyloží z přípravku na stole hotový díl a založí díl nový. Tento proces se následně opakuje. Talířem lze otáčet o 180° mezi dorazy. K této variantě je přistoupeno kvůli možnosti dorazy výhodněji umístit. Z hlediska funkčnosti je tato varianta stejně funkční jako varianta s protočením o 360°. Hlavní zakládací plocha talíře je vyrobena ze slitinového hliníkového plechu, který je z materiálu AW 5083. Tento typ materiálu byl zvolen kvůli jeho dobré obrobitelnosti a svařitelnosti. Polotovary plechů se běžně vyrábějí v rozměrech 1500x3000 mm, průměr talíře je 1594 mm. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k rozdělení dílu a následné společné montáži. V talíři jsou řezáním vodním paprskem zhotoveny otvory pro odsávání zbytkových výparů z nanášeného lepidla. Z důvodu zvýšení tuhosti celého talíře je na jeho spodní části zhotoven rám z hliníkových Bosch profilů, který celý talíř vyztužuje. Důležité je na talíři zhotovit krycí stěnu, která bude při operaci nanášení kopírovat stěnu kabiny a oddělovat výbušnou atmosféru od obsluhy. Po celém obvodu talíře jsou madla zhotovena ze skružené trubky z oceli 1.4301.

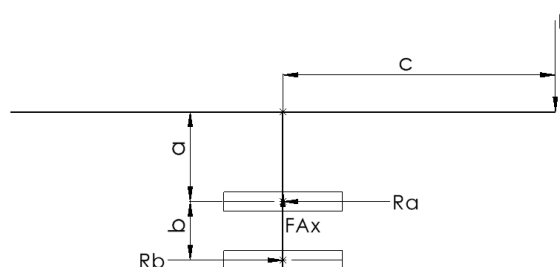


Obrázek 54 - Pohled na otočný talíř stolu (1- Deska stolu, 2 - Deska stolu, 3 - Usazovací otvor pro přípravek, 4 - Uchycení přípravku, 5 - Ruční madla, 6 - Odsávací otvory, 7 - Krycí stěna, 8 - Otvor pro snímání dílů)



Obrázek 55 - Pohled na otočný talíř stolu (9 - Výztužný rám, 10 - Hřídel stolu, 11 - Pasivní kus blokování stolu, 12 - Protikus dorazového dílu)

Součástí celku je i hřídel, která bude následně uložena v ložiskách ve spodní konstrukci. Z důvodu jednodušší výroby je hřídel konstruována jako svařenec. Velikost hřídele a ložisek jeho uložení závisí na zatížení, které stůl bude přenášet. V závislosti na tomto zatížení je potřeba provést výpočet silových poměrů v uložení talíře a navrhnout vhodnou velikost ložisek. Zatěžujícím účinkem je uvažována síla F , která může vzniknout opřením obsluhy o hmotnosti m_{ξ} o okraj otočného talíře. Klíčovým parametrem návrhu bude statická únosnost ložisek C_0 , protože otáčky stolu jsou velmi nízké a působení síly lze očekávat pouze v případě stacionární polohy talíře.



Obrázek 56 - Schéma zatížení uložení otočného talíře stolu

Označení parametru	Hodnota parametru
a	0,183 m
b	0,108 m
c	0,867 m
m_{ξ}	150 kg

Tabulka 6 - Souhrn vstupních parametrů pro návrh ložisek uložení otočného talíře

4.7.1 Návrh ložisek uložení otočného talíře

Ze schématu na obrázku č. 55 je patrné, že ložiska jsou v konfiguraci, kde horní ložisko přenáší složku zatížení radiální i axiální a spodní ložisko pouze složku radiální. Nejprve je potřeba vypočítat reakce v uložení od zatížení.

$$F = m_{\xi} \cdot g = 150 \cdot 9,81 = \mathbf{1471,5\ N} \quad (2)$$

Rovnováha momentů v bodě A

$$\sum M_{iA} = 0; F \cdot c - R_b \cdot b = 0 \Rightarrow R_b = F \cdot \frac{c}{b} = 1471,5 \cdot \frac{0,867}{0,108} = \mathbf{11813\ N} \quad (3)$$

Rovnováha momentů v bodě B

$$\sum M_{iB} = 0; F \cdot c - R_a \cdot b = 0 \Rightarrow R_a = F \cdot \frac{c}{b} = 1471,5 \cdot \frac{0,867}{0,108} = \mathbf{11813\ N} \quad (4)$$

Rovnováha axiálních sil v uložení

$$\sum F_{iAX} = 0; F_{AX} - F = 0 \Rightarrow F_{AX} = F = \mathbf{1471,5\ N} \quad (5)$$

Dále je nutné z vypočtených reakcí určit ekvivalentní statické zatížení P_0 . Dle katalogu výrobce ložisek KOYO, z kterého byla následně navržená ložiska vybrána, je hodnota ekvivalentního statického zatížení předepsána vztahem č. 6, kde X_0 a Y_0 jsou koeficienty statického zatížení, uvedené v tabulce č.7, závislé na typu a velikosti ložiska. Tento vztah v případě použití radiálních ložisek platí pouze za předpokladu, že vypočtená hodnota je vyšší než radiální složka zatížení ložiska. V daném případě to neplatí, protože hodnoty radiálních složek převyšují hodnotu vypočtenou pomocí vztahu s koeficienty. Výpočet je proveden pouze pro horní ložisko, které musí snášet horší soubor zatěžujících účinků než to spodní. [57]

Ekvivalentní statické zatížení ložisek [58]

<u>Název parametru</u>	<u>Hodnota parametru</u>
X_0	0,6 [-]
Y_0	0,5 [-]

Tabulka 7 - Hodnoty koeficientů statického zatížení

$$P_{0I} = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a = X_0 \cdot R_A + Y_0 \cdot R_{AX} = 0,6 \cdot 11813 + 0,5 \cdot 1471,5 = 7824 \text{ N} \quad (6)$$

$$P_{0II} = R_A = 11813 \text{ N} \quad (7)$$

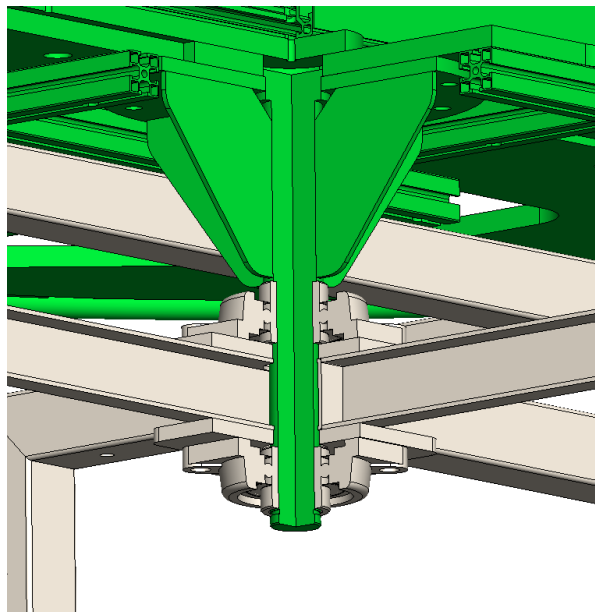
$$P_{0II} > P_{0I} \Rightarrow 11813 > 7824 \quad (8)$$

V závislosti na vypočtených hodnotách byla zvolena dvojice ložiskových jednotek UCF 207 s vnitřním průměrem ložisek 35 mm od výrobce KOYO, u kterých hodnota statické únosnosti C_0 15400 N. Výhodou použití nakupovaných ložiskových jednotek je jejich nízká cena a snadná montáž. Pro danou aplikaci výrobce doporučuje vypočtenou hodnotu součinitele statické bezpečnosti f_s větší než 1. [57]

Stanovení součinitele statické bezpečnosti

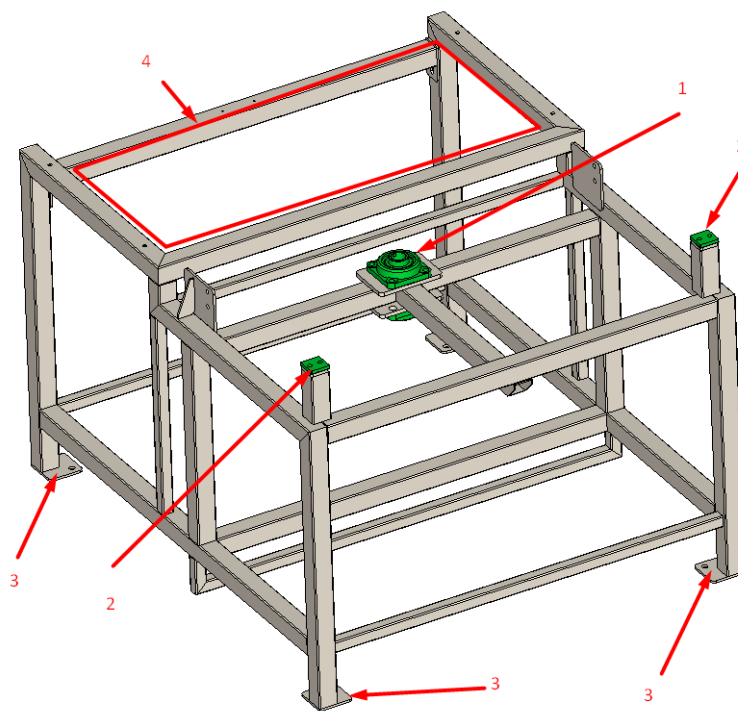
$$f_s = \frac{C_0}{P_{0II}} = \frac{15400}{11813} = 1,3 \quad (9)$$

Navržený konstrukční uzel uložení hřídele je znázorněn na obrázku č. 56, kde lze vidět zeleně zvýrazněnou sestavu hřídele a otočného talíře a béžově zvýrazněnou sestavu spodní konstrukce stolu s uložáním. Navržené ložiskové jednotky jsou přišroubovány ke svařenci stolu, ve kterém je zhotoven otvor s vůlí pro vedení hřídele k spodnímu ložisku. Ve spodní části hřídele je osazení pro pojistný kroužek, který má pouze účel pojištění proti demontáži talíře. Jednotlivé ložiskové jednotky mají možnost drobného naklonění ložiska v jeho domku. Na deskách jsou montovány jednotlivě a jejich vzájemnou polohu lze při montáži nastavit, čímž se zajistí vodorovná poloha desky stolu. Tímto krokem je předcházeno dodatečným nákladům za obrábění přípojných ploch svařovaných desek na spodní konstrukci stolu.



Obrázek 57 - Uložení otočného talíře ve spodní konstrukci stolu

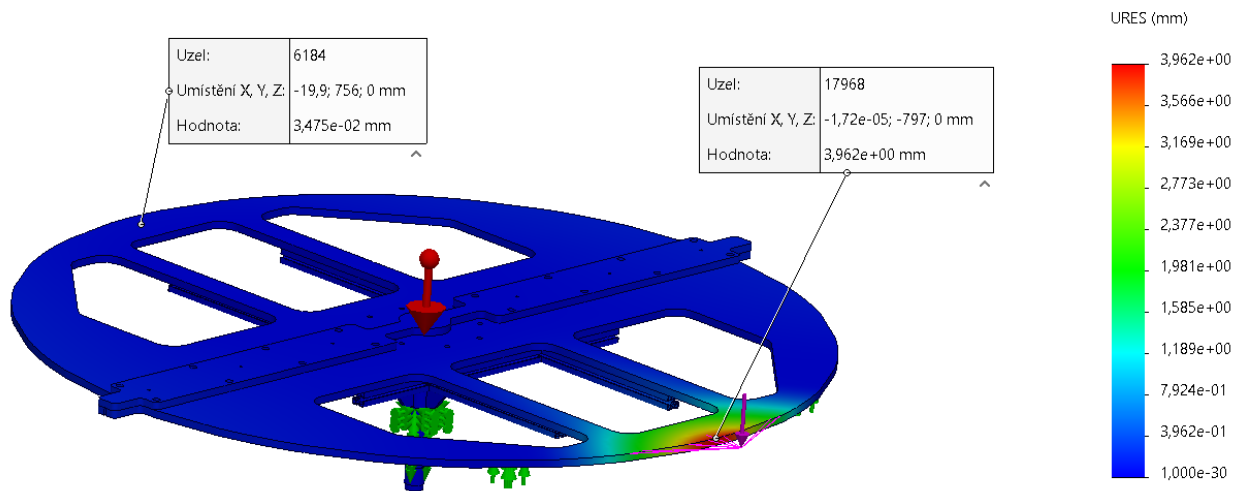
Spodní konstrukce stolu je zhotovena ze svařených čtyřhranných dutých profilů TR4HR 50x3 a TR4HR 30x2 z materiálu S235JRH. Z ekonomického hlediska bylo výhodnější konstrukci zhotovit jako svařenec z oceli. V porovnání s variantou z hliníku by při zachování stejné tuhosti konstrukce byly náklady výrazně vyšší. Pro eliminaci většího průhybu a vychýlení talíře vlivem zatížení obsluhou při jeho manipulaci či při nechtěném opření obsluhou o jeho vnější stranu jsou na obou stranách stolu zhotoveny přídatné podpěry. V místě kontaktu podpěr s otočným stolem je vložen a pomocí podložek nastaven kluzný element z plastu Murdtfeldt, který má hodnotu součinitele tření s hliníkem až 0,1. V závislosti na tom obsluze stačí vyvinout menší sílu při otáčení stolem. Spodní část konstrukce je vybavena 4 určenými kotevními místy pro připojení stolu ke konstrukci kabiny. V zadní části je místo pro zavedení sacího boxu odsávacího zařízení. [58]



Obrázek 58 - Konstrukce spodní části stolu (1 - Ložiskový uzel, 2 - Přídatné podpěry talíře, 3 - Kotevní body stolu, 4 - Prostor pro instalaci sacího boxu odsávacího zařízení)

K prověření hodnot průhybů otočného talíře byla provedena MKP analýza tuhosti, kde důležitým zkoumaným místem celkového posunutí je oblast založení přípravku uvnitř stříkací kabiny. Výsledky jsou velice uspokojivé, posunutí při maximálním zatížení otočného talíře nepřevyšuje hodnotu 0,15 mm. Tímto lze zaručit přijatelnou míru opakovatelnosti celého procesu.

Vazební okrajové podmínky výpočtu jsou definovány jako 1 fixní a 1 posuvná vazba v ložiskách, kde vazbě v ložisku přenášejícímu i axiální zatížení jsou odebrány veškeré stupně volnosti. Dále jsou přidány posuvné vazby v místech přídatných podpěr. Uvažované zatěžující účinky jsou vlastní tíha celé sestavy, která je 74 kg, a opěrná síla F od hmotnosti obsluhy $m_\xi=150$ kg působící na krajní plochu talíře na rameni c . Zatěžující účinek od obsluhy je opět definován funkcí Remote mass a vlastní tíha sestavy funkcí Gravitace.



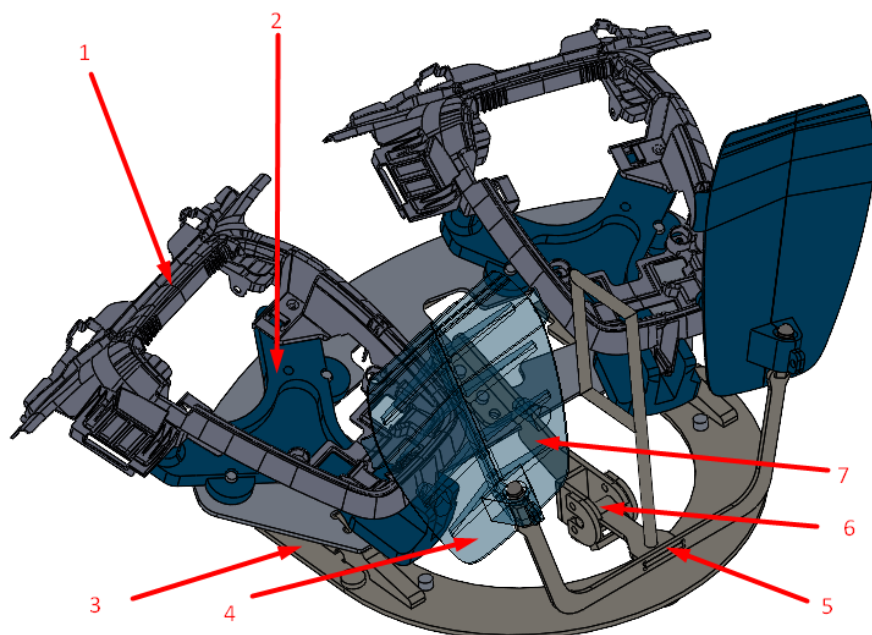
Obrázek 59 - Výsledky posunutí MKP analýzy otočného talíře

4.8 Návrh konstrukce přípravku pro zakládání dílů

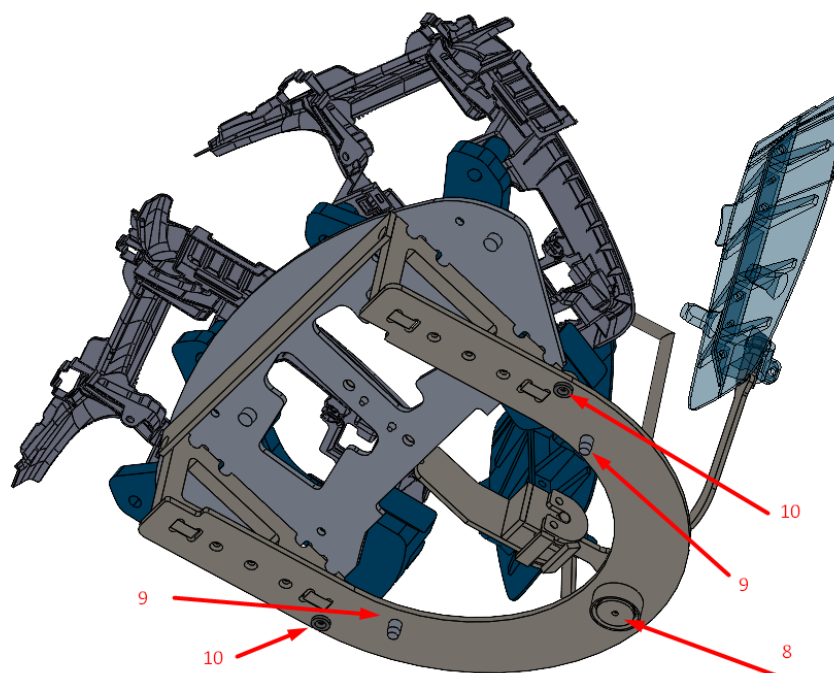
V závislosti na velikosti plastových dílů je potřeba zhotovit přípravek, do kterého je bude obsluha během provozu zařízení zakládat. V budoucnu může být na pracoviště zaveden nový typ dílu, pro který se přípravek bude mírně lišit a obsluha s ním bude potřebovat manipulovat. Z těchto faktů lze vyvodit požadavky na nízkou hmotnost přípravků a na jejich vyměnitelnost. Na dílech je zároveň nutné krytovat určité části, na které nástřík lepidla nesmí být proveden. Nastavení krytů musí být jednoduché a proveditelné za krátký čas. V předešlých kapitolách bylo zmíněno, že v závislosti na dosazích robota je efektivní díly zakládat v páru. Na přípravku proto musí být vytvořeny 2 referenční místa pro založení dílů. Konstrukce přípravku musí zároveň být zhotovena tak, aby nemohla být narušena jeho funkčnost stříkaným lepidlem.

Během návrhu přípravku bylo přistoupeno k zhotovení jeho plechové kostry z materiálu AW 5083. Kostra je tvořena z několika přesně sestavených dílů spojených pomocí šroubů. Kvůli velké tvarové složitosti plastových dílů jsou na hliníkové kostře usazeny 3D tištěná lůžka z málo nasávkavého materiálu ABS, u kterých je vysoká výrobní variabilita rozměrů a v případě jejich poškození není složité je nahradit novými. Z důvodu zaručení opakovatelnosti celé operace nanášení musí být přípravek a lůžka s díly usazeny na přesných referencích. Zajištění přípravků proti uvolnění z otočného talíře je realizováno pomocí páru malých magnetů s celkovou přitlačnou silou 36 N. [59]

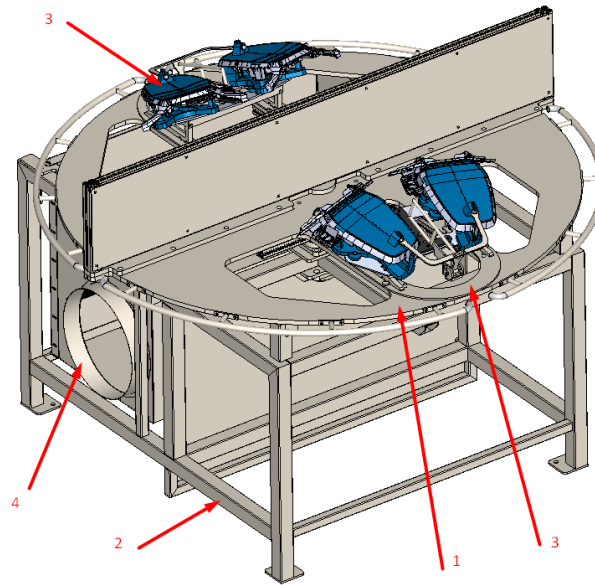
3D tištěné ABS díly pro krytování otvorů v plastových dílech jsou spojeny s ruční pákou, s kterou pomocí manipulace obsluha otočí a zamezí tím vniknutí lepidla do otvoru v plastových dílech. Na přípravku je zároveň zhotoveno pouzdro pro instalaci RFID hard tagu nesoucího informace o typu přípravku.



Obrázek 60 - Přípravek pro zakládání plastových dílů (1 - Plastový díl; 2 - 3D tištěné lůžko; 3 - Hliníková kostra přípravku; 4 - 3D tištěný kryt dílu; 5 - Ruční páka pro umístění krytů; 6 - Otočný čep ruční páky; 7 - Držák uložení ruční páky)



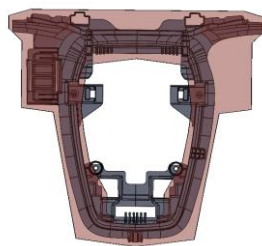
Obrázek 61 - Přípravek pro zakládání plastových dílů (8 - RFID Hard tag; 9 - Usazovací čepy; 10 - Magnety pro přidržení přípravku na otočném stole)



Obrázek 62 - Pohled na celkovou sestavu stolu s otočným talířem (1 - Otočný talíř; 2 - Konstrukce spodní části stolu; 3 - Přípravek pro zakládání plastových dílů; 4 - Sací box odsávacího zařízení)

4.9 Konstrukce a volba odsávacího zařízení

V požadavcích z norem a zadání je definováno, že pracoviště musí obsahovat v oblasti nanášení lepidla aktivní ventilaci pro zamezení akumulace přílišného množství stříkané látky a tím vzniknutí výbušné atmosféry. Pro návrh odsávacího zařízení je nutné nejprve znát minimální požadovaný objemový průtok Q_{\min} čerstvého vzduchu v prostoru kabiny. V normě ČSN EN 16 985 je pro velikost objemového průtoku v automatické kabině udán výpočtový vztah. Pro určení vstupních parametrů vztahu je nejprve potřeba určit velikost plochy, na kterou bude lepidlo v průběhu 1 hodiny nanášeno a v závislosti na tom vypočítat maximální hmotnost nastříkaných hořlavých hmot. Tu lze přibližně určit ze zadaného modelu, kde bylo zjištěno, že přibližná plocha nástřiku na 1 dílu bude $0,05 \text{ m}^2$. [41]



Obrázek 63 - Očekávaná plocha nástřiku na 1 plastovém dílu (červená oblast).

Název parametru	Značka	Hodnota parametru
Očekávaná plocha nástřiku na 1 dílu	S_A	$0,05 \text{ m}^2$
Předpokládaná doba 1 cyklu stroje	t_s	15 s
Počet dílů na 1 cyklus stroje	i_{t_s}	2 [-]
Hmotnostní spotřeba lepidla Korapren FU 35	m_A	300 g/m^2

Tabulka 8 - Vstupní parametry výpočtu (viz příloha A)

Maximální hmotnost nastříkaných hořlavých hmot za 1 hodinu [41]

$$\dot{M}_{max} = S_A \cdot m_A \cdot \frac{3600}{t_s} \cdot i_{ts} = 0,05 \cdot 300 \cdot \frac{3600}{15} \cdot 2 = 7200 \text{ g/h} \quad (10)$$

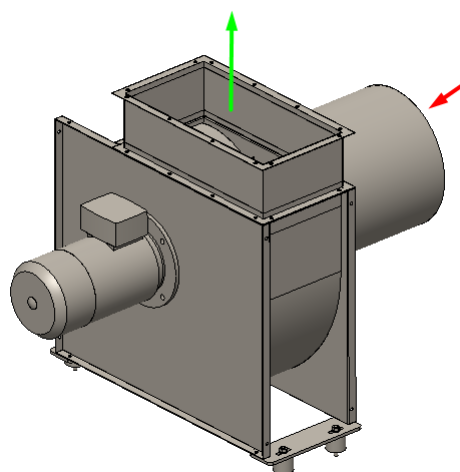
Název parametru	Značka	Hodnota parametru
Dolní mez výbušnosti směsi lepidla	LEL _L	40 g/m ³
Maximální přípustná koncentrace LEL pro kabinu	C _{LEL,max}	0,25 [-]
Podíl rozpouštědel v lepidle Korapren FU 35	k ₁	0,8 [-]
Koeficient odhadovaného odparu rozpouštědel	k ₂	0,8 [-]
Koeficient nehomogenity koncentrace ovzduší v kabině	k ₃	3 [-]

Tabulka 9 - Parametry pro výpočet minimálního požadovaného objemového průtoku čerstvého vzduchu v kabině (příloha A) [41]

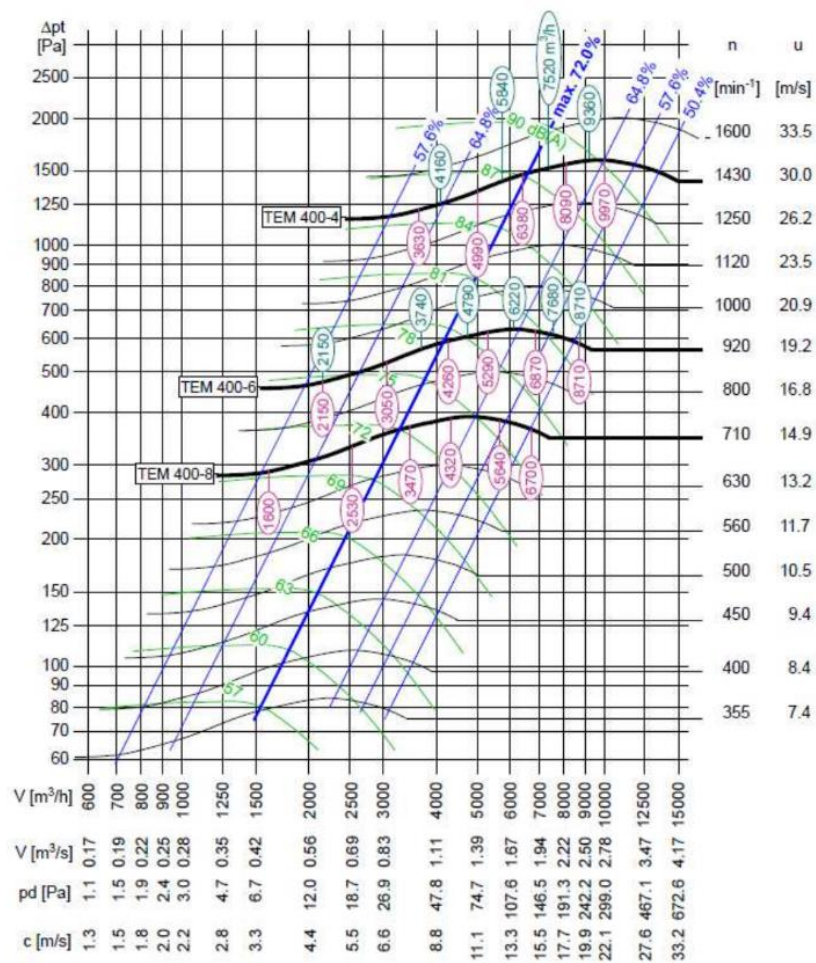
Minimální požadovaný objemový průtok čerstvého vzduchu v kabině [41]

$$Q_{min} = \frac{\dot{M}_{max} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{\bar{C}_{LEL,max} \cdot LEL_L} = \frac{7200 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 3}{0,25 \cdot 40} = 1382 \text{ m}^3/\text{h} \quad (11)$$

V závislosti na vypočtené hodnotě je zvolen radiální ventilátor VENTRA TEM 400-8 s objemovým průtokem 4500 m³/h při 700 ot/min. Otáčky elektromotoru ventilátoru lze regulovat frekvenčním měničem v závislosti na provozní potřebě. Ventilátor je osazený tlumiči kmitů na sacím a výtlačovém potrubí je jej potřeba usadit na silenbloky, které izolují chvění ventilátoru od zbytku konstrukce. Jedním z hlavních důvodů volby ventilátoru od výrobce Ventra je možnost jeho provedení do zóny Ex II 3G a vyšší. [60]

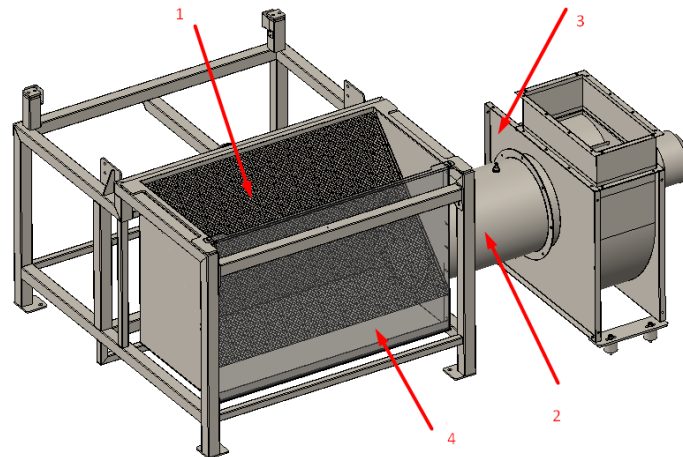


Obrázek 64 - Radiální ventilátor Ventra TEM 400-8 (červená šipka - sání; zelená šipka - výtlač)



Obrázek 65 - Diagram charakteristik řady ventilátorů Ventra TEM 400 (viz příloha B)

Navržený ventilátor je potřeba potrubím připojit k sacímu boxu, jehož umístění je navrženo ve spodní konstrukci stolu uvnitř stříkací kabiny. Při návrhu sacího boxu je snaha o co největší provedení odsávací plochy. Sací box je navržen jako ocelový plechový svařenec z materiálu S235JR. Diagonálně je v něm umístěn perforovaný plech se čtvercovými výřezy, jehož účelem je zabránit vniknutí předmětů do potrubí a zároveň sloužit jako plocha pro instalaci filtrace. Filtrace je tvořena dvojicí různých tkaninových filtrů, kde první (primární hrubší) je instalován přímo na plochu otočného talíře a druhý (sekundární jemnější) na perforovaný plech v sacím boxu. Dle potřeby jsou tkaninové filtry měněny obsluhou. Četnost výměny primárního filtru je větší než u sekundárního. Pro potřeby výměny sekundárního filtru je na sacím boxu odnímatelný čelní kryt.



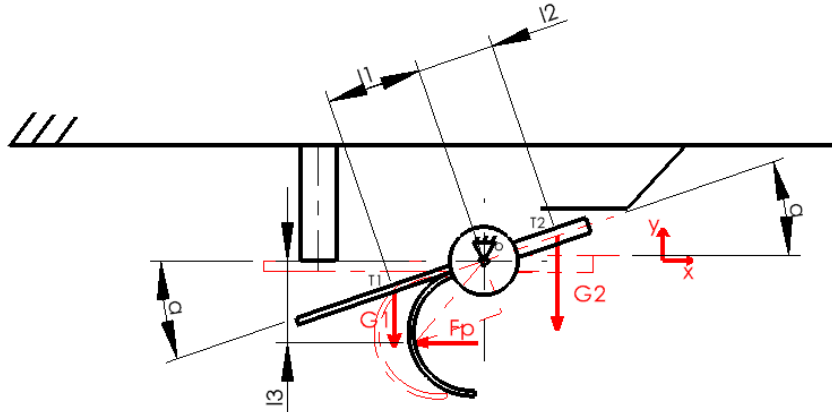
Obrázek 66 - Pohled na navržené odsávací zařízení (1 - Sací box s mříží pro umístění filtrace; 2 - Sací potrubí; 3 - Snímač clonky; 4 - Odnímatelný kryt sacího boxu)

Kvůli dodržení bezpečnostní funkčnosti celého zařízení je nutné měřit rychlost či práh rychlosti proudění vzduchu uvnitř stříkací kabiny. Klíčovým místem pro měření je odtahové potrubí, které spojuje sací box a ventilátor. Může nastat situace, kdy dojde k poruše ventilátoru a nedostatkem odsávaného objemového množství vzduchu se začnou výpary nebezpečné látky akumulovat uvnitř stříkací kabiny. Velikost minimálních hodnot rychlostí proudění udává norma ČSN EN 16 985, která pro případ automatické stříkací kabiny s vertikálním odsáváním nařizuje minimální rychlost 0,25 m/s ve všech měřicích bodech vnitřního prostoru kabiny a 0,4 m/s v sacím potrubí. V potrubí je potřeba rychlost proudění či její práh měřit permanentně, aby řídicí systém zařízení měl stálou informaci, zda odsávání vzduchu správně funguje. [41]

Z důvodu značné nedostupnosti senzorů pro měření rychlosti proudění s certifikací do zóny Ex II 3G na trhu bylo přistoupeno k měření prahu rychlosti pomocí kyvné clonky s indukčním snímačem, která je instalována v sacím potrubí. Při návrhu clonky bylo nutné vzít v úvahu potřebu nastavitelnosti jejích parametrů, protože rychlost proudění v potrubí, pasivní odpory mechanismu a použité koeficienty nelze v průběhu návrhu přesně predikovat.

Clonka je konstruována jako volně se otáčející čep v kluzných samomazných pouzdrech zhotovených z bronzu od výrobce Sankyo. Na jedné straně čepu je přivařený tenký ocelový plech nesoucí 3D tištěný plastový díl zakřivený do tvaru pláště válce. Tento tvar geometrie je navržen z důvodu zvýšení součinitele odporu vzduchu součásti. Na druhé straně je k čepu přivařena závitová tyč, na kterou lze přidávat protizávaží v podobě matic.

Cílem návrhového výpočtu clonky je vyjádřit závislost úhlu natočení clonky α na minimálním potřebném momentu od rychlosti proudění v potrubí v , v návaznosti na tom zvolit vhodné nastavení vzdálenosti protiváhy l_2 . Díky zakřivení dílu, na který působí síla F_p vzniklá prouděním vzduchu, lze uvažovat velice malé změny jeho čelní plochy a velikosti délky ramene, na kterém síla působí, proto jsou ve výpočtu považovány za konstantní. Závislost lze odvodit z momentové podmínky rovnováhy k ose otáčení clonky. Do výpočtu vstupují momenty vznikající silou proudění F_p a momenty od tíhových sil G_1 a G_2 vznikající hmotností jednotlivých stran clonky m_1 a m_2 , které působí v daných těžištích T_1 a T_2 . Účinky od setrvačných sil hmoty a tření v uložení jsou ve výpočtu zanedbány.



Obrázek 67 - Schéma zatížení kyvné clonky v potrubí (Červeně - Síly, souřadný systém a poloha sepnutí kontaktu snímače)

Název parametru	Značka	Hodnota parametru
Hmotnost levé strany clonky	m_1	0,007 kg
Hmotnost pravé strany clonky	m_2	0,01 kg
Vzdálenost těžiště T_1 od osy otáčení	l_1	0,028 m
Vzdálenost nositelky síly F_p od osy otáčení	l_3	0,015 m
Hustota vzduchu při 20°C	ρ_v	1,164 kg/m ³
Součinitel odporu vzduchu pro daný tvar plochy	C_x	2,3
Obsah čelní plochy 3D tištěného dílu	S_t	0,012 m ²

Tabulka 10 - Souhrn vstupních parametrů výpočtu kyvné clonky [61], [62]

Vyjádření podmínky minimální rychlosti z momentové rovnováhy

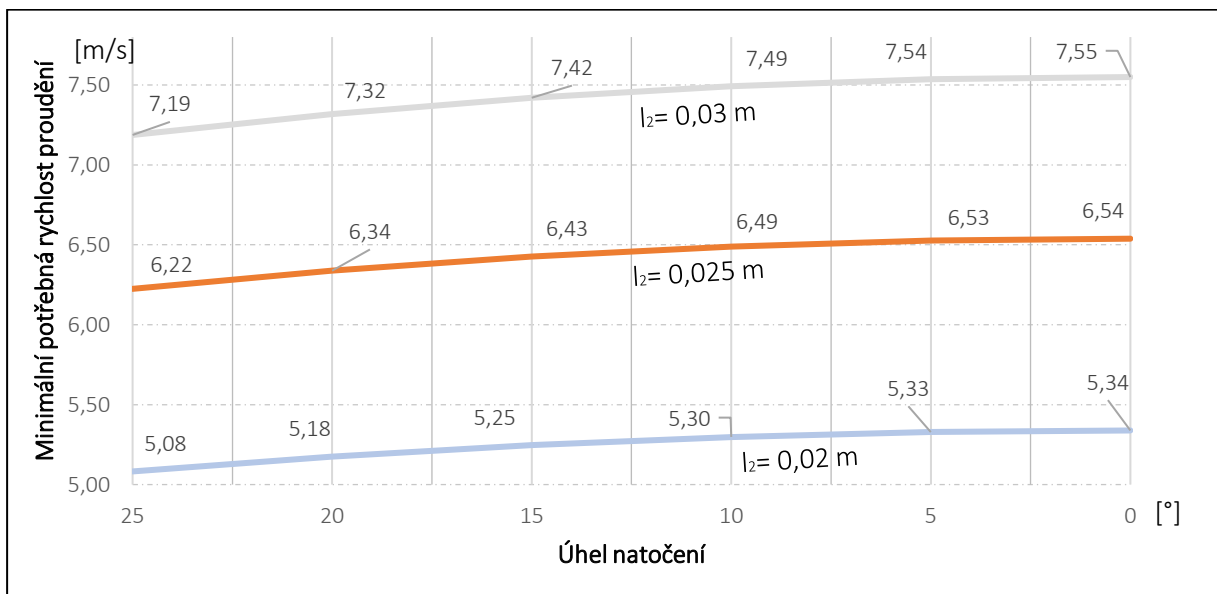
$$\sum M_{iv} > \sum M_{iG} \Rightarrow G_2 \cdot x_2 + F_p \cdot l_3 > G_1 \cdot x_1 \quad (12)$$

$$m_2 \cdot g \cdot l_2 \cdot \cos \alpha - m_1 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \alpha > -\frac{\rho_{v20} \cdot S_t \cdot v_{vmin}^2 \cdot C_x}{2} \cdot l_3 \quad (13)$$

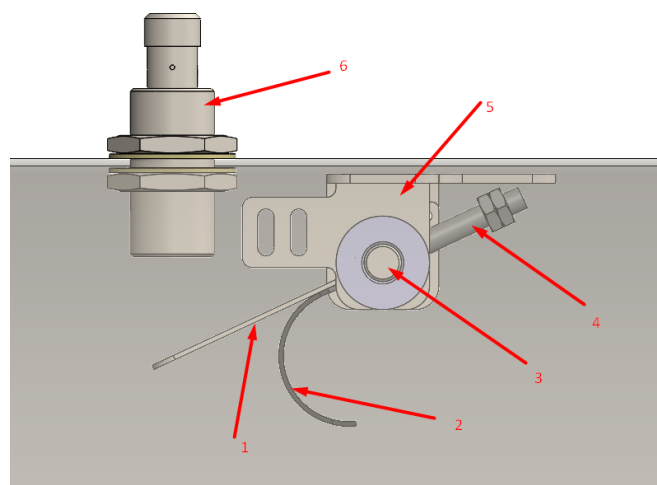
$$-m_2 \cdot g \cdot l_2 \cdot \cos \alpha + m_1 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \alpha < \frac{\rho_{v20} \cdot a_o \cdot b_o \cdot v_{vmin}^2 \cdot C_x}{2} \cdot l_3 \quad (14)$$

$$\sqrt{\frac{\cos \alpha \cdot g \cdot (m_1 \cdot l_1 - m_2 \cdot l_2) \cdot 2}{l_3 \cdot \rho_{v20} \cdot a_o \cdot b_o \cdot C_x}} < v_{vmin} \quad (15)$$

Do výsledného vztahu jsou dosaženy konstantní parametry z tabulky č. 10 a proměnné hodnoty úhlu natočení α v rozmezí 25° - 0° a vzdálenosti těžiště protiváhy l_2 v rozmezí (0,02-0,03 m). Hodnoty jsou následně vyobrazeny v grafu, na kterém lze vidět výsledné potřebné rychlosti proudění vzduchu v potrubí pro dosažení požadovaného úhlu natočení clonky při 3 různých nastavení těžiště protiváhy. Pro návrh jsou nejdůležitější hodnoty v úhlech natočení 25° a 0° . Přestože podle normy je požadovaná minimální rychlost proudění 0,4 m/s, je následně vybráno zvýšit práh sepnutí snímače až na 6,54 m/s. Vzhledem k tomu, že clonka je umístěna v odsávací aparatuře až za filtrem, lze také díky případnému rozepnutí kontaktu snímače vlivem poklesu rychlosti predikovat poruchy či ucpanou filtraci. Na obrázku č. 67 lze vidět pohled na model clonky.[41]



Obrázek 68 - Diagram zjištěných závislostí úhlu natočení clonky na minimální potřebné rychlosti proudění vzduchu v potrubí pro různé vzdálenosti těžiště protiváhy od osy rotace clonky.

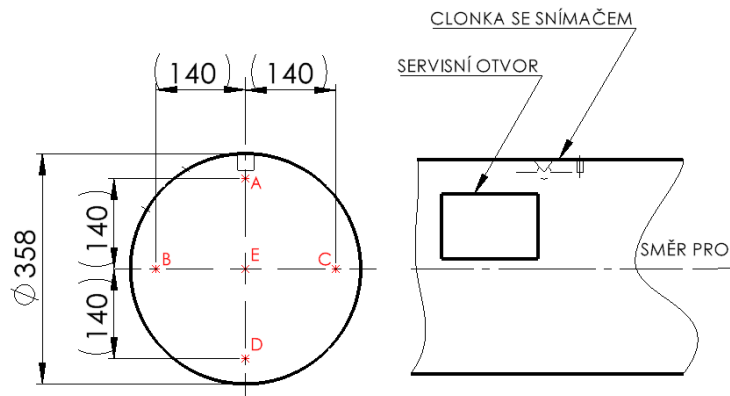


Obrázek 69 - Boční pohled na model clonky (1 - Tenký ocelový plech; 2 - Příkladná plastová opěrná plocha; 3 - Otočné uložení; 4 - Protizávaží; 5 - Tělo uložení; 6 - Indukční snímač)

Z důvodu prověření funkčnosti clonky bylo nutné provést měření rychlosti proudění vzduchu a nastavit ji na správný práh sepnutí. Před usazením potrubí s clonkou k ventilátoru a sacímu boxu je provedeno měření rychlosti proudění vzduchu pomocí ultrazvukového anemometru Windscribe s rozpětím měření 0,17 - 67 m/s. Pro měření nebyla možnost přesně simulovat podmínky, které vyvodí rozepnutí kontaktu clonky a snímače pomocí zmíněného ventilátoru Ventra. Proto bylo přistoupeno k použití externího zdroje proudění vzduchu, kterým je malý ruční ventilátor. Postup měření je takový, že ručním ventilátorem je přibližováno a oddalováno od oblasti clonky a pomocí anemometru je měřena okamžitá rychlost proudění vzduchu. Jak bylo zmíněno v předešlých odstavcích, idealizace výpočtu zapříčinila, že rychlost proudění k sepnutí snímače v praxi je 7,6 m/s místo vypočtených a zvolených 6,54 m/s. [63]



Obrázek 70 - Ultrazvukový anemometr Windscribe [63]



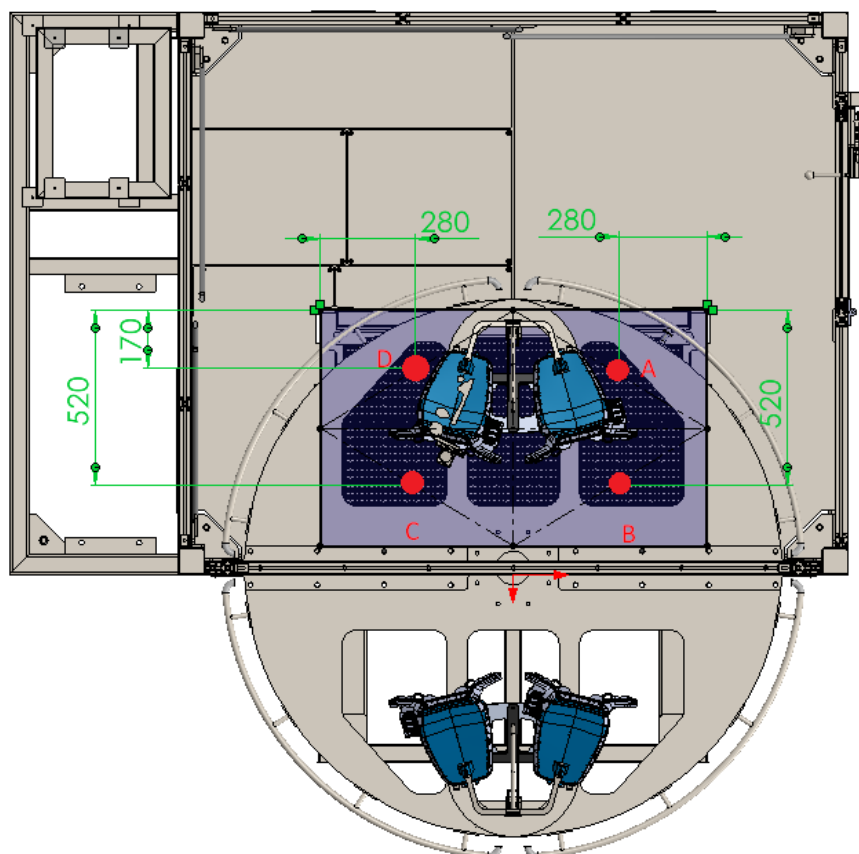
Obrázek 71 - Body pro měření rychlosti proudění v potrubí

Pro prověření rychlosti proudění s použitím navrženého ventilátoru Ventra bylo provedeno měření rychlosti proudění servísním otvorem v potrubí. Průběh rychlosti podél průřezu potrubí lze očekávat s parabolickým profilem. Měření bylo provedeno v několika bodech průřezu potrubí, jak je znázorněno na obrázku č. 68. Změřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 11. Z naměřených hodnot vyplývá, že za normálního provozu bude v potrubí dostatečná rychlost proudění ke splnění požadavků z norem i pro splnění podmínky funkčnosti clonky.

Bod měření	Naměřená rychlost proudění vzduchu
A	16,7 m/s
B	16,4 m/s
C	16,5 m/s
D	16,7 m/s
E	18,9 m/s

Tabulka 11 - Naměřené hodnoty rychlosti proudění v sacím potrubí

Pro ověření hodnot rychlosti proudění vzduchu uvnitř kabiny s vertikálním odsáváním je nutné použít alespoň 4 referenční měřicí body umístěné ve středech spojnic rastru nad odsáváním, které je potřeba přibližně dodržet. Tuto zkoušku je potřeba provádět pro prázdnou kabinu před jejím uvedením do provozu a tyto hodnoty průběžně kontrolovat např. při výměně filtrace či v případě rozepnutí bezpečnostní clonky. Hodnoty vertikálních složek rychlostí proudění musejí být vyšší než 0,25 m/s. [41]



Obrázek 72 - Pozice pro měření vertikálních složek rychlostí proudění ve středech obdélníkových úseků odsávací plochy

Bod měření	Naměřená rychlost proudění vzduchu
A	2,8 m/s
B	3,1 m/s
C	3,4 m/s
D	2,9 m/s

Tabulka 12 - Naměřené hodnoty vertikálních složek rychlostí proudění nad odsávací plochou na pozicích dle obrázku č. 73

4.10 Ovládání a řízení

Pro návrh potřebných ovládacích, snímacích či bezpečnostních prvků pracoviště je potřeba určit jednotlivé kroky pracovního cyklu celého zařízení.

Číslo kroku	Popis kroku	Navržené potřebné prvky
1	Spuštění stroje - natlakování schránky robotu, inicializace systému robotu, kontrola tlaků vstupujících do stříkací pistole, automatická kontrola bezpečnostních funkcí (zámek dveří, snímač clonky v potrubí)	Bezpečnostní zámek dveří s jištěním Indukční snímač clonky v potrubí Pneumatické vybavení (regulátory, ventily, jednotka úpravy vzduchu)
2	Otočení stolu do libovolné koncové polohy	Snímač natočení stolu
3	Založení dílů do přípravku	
4	Otočení talíře stolu o 180° do opačné koncové polohy	
5	Čtení RFID hard tagu z přípravku pomocí čtečky	RFID čtečka s tagy
6	Zamčení talíře stolu	Bezpečnostní zámek talíře stolu
7	Spuštění programu robotu - přejetí do pracovní pozice; nástřik dílů dle načteného programu; vyfouknutí zbytkového lepidla; zaparkování robotu do domovské pozice Založení dílů obsluhou na opačné straně stolu	Bezpečnostní snímač parkování robotu
8	Odemčení talíře stolu	Bezpečnostní zámek talíře stolu
9	Otočení talíře stolu o 180° do opačné koncové polohy	

Tabulka 13 - Soupis jednotlivých kroků cyklu zařízení a navržených snímacích a bezpečnostních prvků

Celé pracoviště je řízené pomocí PLC Siemens, které komunikuje s řídicími prvky, systémem robotu a přes bezpečnostní relé SICK FlexiSoft a Turck IMX12 s navrženými bezpečnostními prvky. V závislosti na výčtu jednotlivých kroků cyklu celého zařízení jsou navrženy následující bezpečnostní prvky. Komunikace většiny prvků s PLC probíhá přes rozhraní IO-LINK.

4.10.1 Bezpečnostní zámek dveří s jištěním

Jako vhodnou volbou pro uzamčení dveří pracoviště se jeví zámek SICK i10 Lock s posuvným madlem MB1- BL11. K zámku je vně i uvnitř kabiny zakomponované jištění pomocí tlačítka, které musí obsluha 2x stisknout pro jeho odemčení. Vně kabiny při 1. stisknutí systém zaznamená příkaz pro zaparkování robota do jeho domovské polohy a až po 2. potvrzujícím stisknutí systém dovolí odblokování posuvného madla se zajišťovacím jazýčkem. Tlačítko zvnitř kabiny slouží jako nástroj prevence proti uvěznění obsluhy v kabině v případě jejího uzavření při nechtěném zamčení jiným pracovníkem. Vnitřní tlačítko a vodiče, které k němu vedou, musí disponovat certifikací minimálně do zóny Ex II 3G. Zároveň spojovací konektory musí být vybaveny protijiskrovou bariérou. [41], [43]



Obrázek 73 - Zámek dveří Sick i10 Lock [64]



Obrázek 74 - Posuvné madlo dveří Sick MB1 - BL11 [65]



Obrázek 75 - Tlačítko do prostoru s nebezpečím výbuchu [66]

4.10.2 Indukční snímač clonky v potrubí

Pro snímání přítomnosti clonky snímající práh rychlosti proudění vzduchu v potrubí je použit indukční snímač Bi5-M18-Y1X-H1141 od výrobce Turck. Snímač disponuje certifikací až do zóny Ex II 1G. V závislosti na možném rozsahu škod při ztrátě jeho funkce je volena varianta s bezpečnostní úrovní SIL 2. [67]

4.10.3 Indukční snímač parkování robota

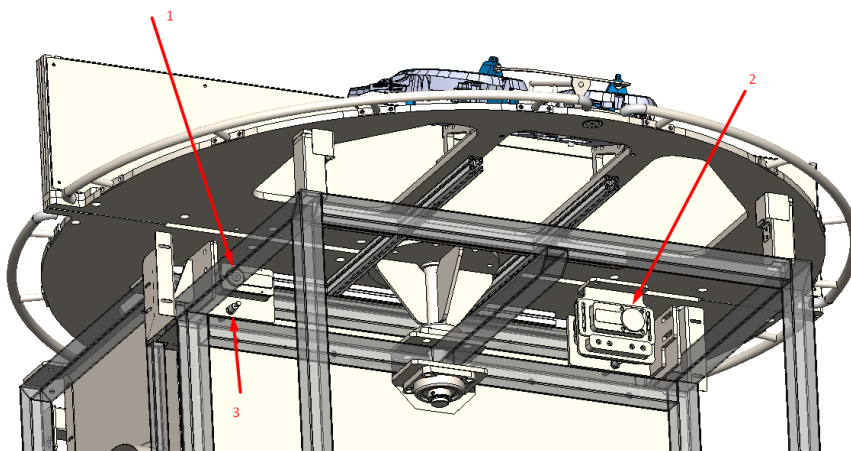
Senzor je zde umístěn pro potvrzení domovské pozice robota na bezpečnostní úrovni. Jako v případě senzoru pro clonku je použit indukční snímač Turck Bi5-M18-Y1X-H1141 s certifikací Ex II 1G - SIL 2. [67]



Obrázek 76 - Indukční snímač do prostoru s nebezpečím výbuchu Turck Bi5-M18-Y1X-H1141 [67]

4.10.4 Snímač natočení a blokace otáčení stolu

Tyto 2 funkce lze vzájemně sjednotit pomocí RFID elektromagnetického zámku SICK MLP1, který je zároveň snímačem i akčním členem. Na otočný talíř jsou nainstalovány 2 pasivní kusy s hard tagem, kde při natožení stolu do koncových pozic vždy jeden pasivní kus přichází do kontaktu se čtečkou a elektromagnetem. Řídicí systém tak má jasnou informaci o poloze otočného talíře a zároveň může vyslat pokyn k sepnutí elektromagnetu a zajištění talíře proti otočení. Zámky nejsou samy o sobě vybaveny žádným způsobem tlumení nárazů, proto jsou doprovázeny hydraulickými tlumiči nárazů, které zajistí plynulé doražení stolu do koncové polohy. Elektromagnet na snímači disponuje přitlačnou silou 550 N. Konstrukčně jsou snímače uspořádány tak, že se v žádné poloze nenachází ve výbušném prostředí. [68]



Obrázek 77 - Pohled na umístění zařízení blokace otočného talíře stolu (1 - Aktivní napájený kus; 2 - Dvojice pasivních kusů vybavených hard tagy; 3 - Hydraulický tlumič nárazů)



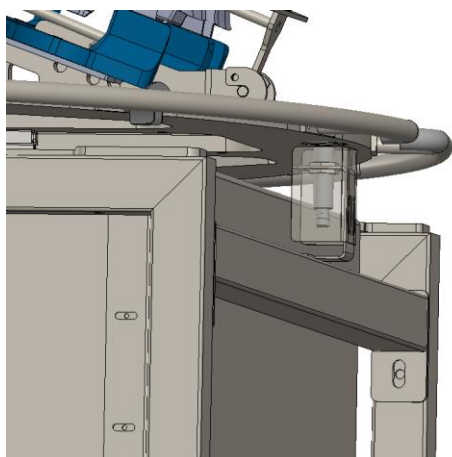
Obrázek 78 - RFID Blokovací zařízení s elektromagnetem SICK MLP1 [68]



Obrázek 79 - Hydraulický nastavitelný tlumič nárazů [69]

4.10.5 RFID Čtečka pro detekci založeného dílu

V závislosti na zadání je nutné na pracovišti provádět kontrolu typu založeného dílu. V předešlých kapitolách bylo zdůvodněno, proč je použito principu snímání pomocí RFID. Na každém přípravku, který obsluha zakládá na stůl je instalován pasivní hard tag Turck 300 -SLIX2 a uvnitř kabiny je umístěna RFID čtečka Turck TN-EM18WD. Díky správně nastavené konfiguraci snímání lze tak provést identifikaci typu dílu a zároveň i kontrolu správnosti jeho založení. Díky malému dosahu čtečky a možnosti ji výškově nastavit lze jemně nastavit čtecí dosah. Pokud by přípravek byl založen špatně, tak čtečka nenačte potřebná data a program robotu nedostane od řídicího systému pokyn pro započítání nástřiku. Čtečka i hard tag mají certifikaci do zóny Ex II 3G a není potřeba jejich funkci provozovat na vyšší bezpečnostní úrovni.



Obrázek 80 - Umístění RFID čtečky



Obrázek 81 - RFID čtečka Turck TN - EM18WD a hard tag 300 SLIX-2 do prostředí s nebezpečím výbuchu [70], [71]

4.10.6 Signalizační a ovládací prvky

Pracoviště je možné ovládat přes ovládací dotykový panel Siemens KTP700 Basic na stavitelném rameni. Na displeji lze sledovat hlášení a pokyny pro obsluhu o probíhajícího cyklu. Do rozhraní se lze přihlásit jako obsluha či jako seřizovač, který má mít přístup k servisnímu režimu, ve kterém lze při odstávce provádět zkoušky jednotlivých okruhů snímačů či nastavovat jednotlivé proporcionální regulátory. Na ovládacím panelu lze nalézt signalizační LED světla a ovládací tlačítka, zároveň je na něm tlačítko nouzového zastavení. Jako další signalizační prvek pracoviště slouží i 3-barevný LED maják Turck K90LGQPRQ, který je umístěn v zorném poli obsluhy při obsluze pracoviště.



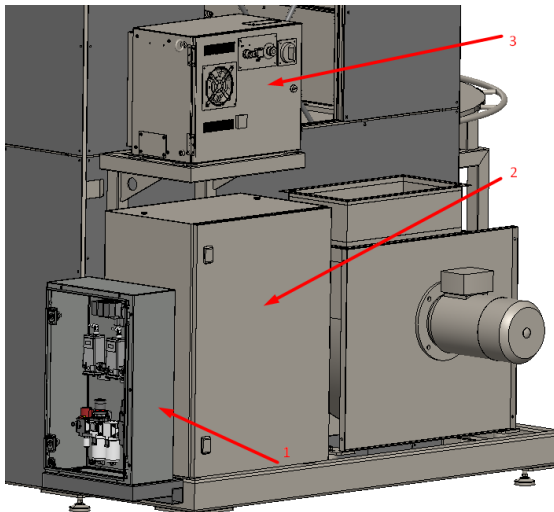
Obrázek 82 - Ovládací panel Siemens KTP700 Basic v rozvaděči



Obrázek 83 - LED maják Turck K90LGQPRQ [72]

4.10.7 Rozvaděče a kontroler robotu

PLC, řídicí relé, pneumatické prvky a řízení robotu jsou umístěny v rozvaděčích z boku kabiny. Pro hlavní a pneumatický rozvaděč jsou použity plechové ocelové skříně od výrobce Rittal. Na hlavním rozvaděči je hlavní vypínač zařízení a je z něj vyvedena zástrčka pro napájení 3x400 V, 50 Hz, 16 A. V pneumatickém rozvaděči jsou umístěny veškeré pneumatické prvky (solenoidové ventily, proporcionální regulátory, jednotka úpravy vzduchu) a je z něj vyvedena vzduchová hadice pro připojení tlakového vzduchu o tlaku 10 bar. Rozvaděč robotu je společně s podpůrným vzdušníkem umístěn nad hlavním rozvaděčem, ze kterého je zároveň napájen. Prvky, u kterých je potřeba, aby vzájemně komunikovaly nebo byly napájeny, jsou mezi rozvaděči propojeny datovými či napájecími vodiči.



Obrázek 84 - Umístění rozvaděčů na zadní straně pracoviště (1 - Pneumatický rozvaděč; 2 - Hlavní rozvaděč s PLC; 3 - Rozvaděč robotu)



Obrázek 85 - Pohled na rozvaděč robotu s přidavným vzdušníkem pro systém natlakování robotického ramene

4.10.8 Ovládání robotu

Ovládání robotu Fanuc PaintMate 200iA/5L lze provádět pomocí ručního kontroléru, kterým robota lze i programovat. Jelikož je robot určen pro práci ve výbušném prostředí, je před jeho uvedením do provozu potřeba k robotu přivést tlakový vzduch a počkat zhruba 3 minuty, dokud se uvnitř celého ramene nevytvoří dostatečný přetlak. Pomocí zmíněného kontroléru je robotu nastavena domovská a servisní pozice. Řídicí systém robotu komunikuje s PLC a zasílá do něj informace o poloze svých členů, rychlosti, zrychlení a době chodu. Zároveň musí mezi PLC a robotem být bezpečnostní vazba, která způsobí zastavení robotického ramene v případě stisknutí tlačítka nouzového zastavení. Díky vzájemné komunikaci těchto 2 systémů lze naprogramovat parametry tlaku ve stříkací pistoli v závislosti na trajektorii koncového efektoru.

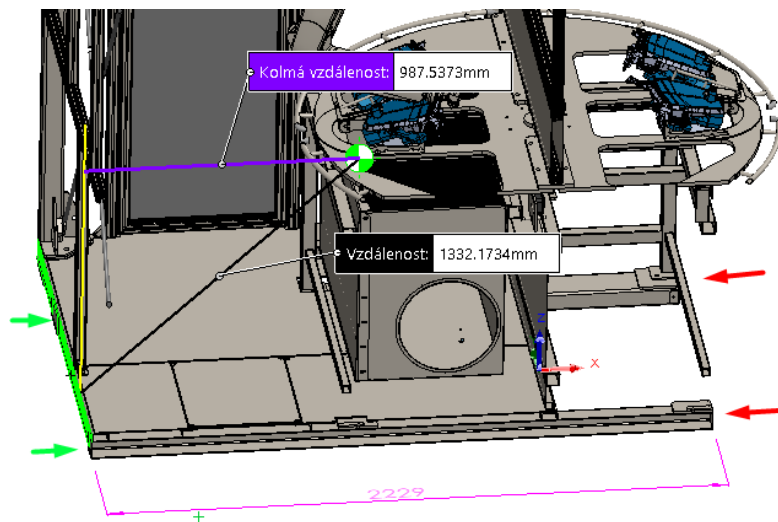
Ovládání robotu nabízí režim automatický a režim ruční, do kterého systém lze přepnout klíčem pomocí ovladače na rozvaděči. V automatickém režimu je chod závislý na patřičném programu, kdežto v ručním režimu může na ovládacím kontroléru robotu proškolený programátor plánovat jednotlivé rychlosti, trajektorie či měnit odsazení efektoru od stříkaného povrchu. V systému robotu následně může přiřadit z PLC pro jednotlivé trajektorie sady tlaků pro ovládání stříkací pistole.



Obrázek 86 - Ruční kontrolér Fanuc iPendant [73]

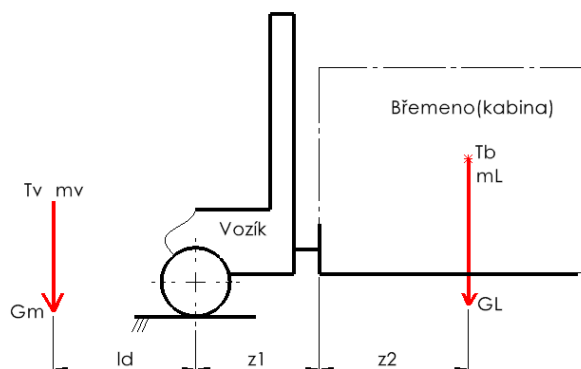
4.11 Manipulace a doprava

Požadavek na pracoviště je koncipovat jej jako přemístitelné. Jak bylo nastíněno v předešlých kapitolách, celé pracoviště je jako jednotný modul podepřeno pomocí 6 stavitelných nohou, z čehož vyplývá, že je jej možné v průběhu své životnosti libovolně přemísťovat v hale, ve které bude umístěno. Pro manipulaci s pracovištěm je potřeba VZV s prodlouženými vidlicemi o průřezu 100x40 mm a délce 2000 mm, které se zasunou do dutých čtyřhranných profilů TROBD 140x70x3 v jeho spodní svařované platformě. Profily jsou průběžné a díky tomu lze s pracovištěm manipulovat z obou stran. Vzhledem k umístění těžiště pracoviště je primárně doporučena manipulace nasunutím vidlí ze zadní strany, ale pokud to prostředí haly nedovolí a nebude zde dostatečný prostor, znamená to, že je potřeba pro manipulaci z přední strany demontovat otočný talíř stolu, aby nemohlo dojít k jeho poškození a spodní platforma šla nasunout až k patě vidlic.



Obrázek 87 - Znázornění polohy těžiště celého zařízení s vyznačenými strany manipulace (červená - přední; zelená - zadní)

Hmotnost celé osazené kabiny je přibližně 1310 kg a vzdálenost těžiště od přední strany 1242 mm. Lze uvažovat manipulaci klasickým vozíkem s předním přesahem 400 mm. Pro správné provedení manipulace je potřeba splnění podmínky ze vztahu č. 16.



Obrázek 88 - Schéma výpočtu potřebné hmotnosti vozíku pro manipulaci se zařízením

Název parametru	Značka	Hodnota parametru
Hmotnost kabiny	m_L	1310 kg
Vzdálenost těžiště břemene	z_2	1,242 m
Přední přesah vozíku	z_1	0,4 m
Bezpečnostní součinitel převrácení	k_p	1,1 [-]
Vzdálenost těžiště vozíku od středu kola	l_d	0,6 m

Tabulka 14 - Vstupní parametry výpočtu potřebné hmotnosti vozíku pro manipulaci se zařízením

Výpočet potřebné hmotnosti vozíku

$$\sum M_{ivo} > \sum M_{iGl} \Rightarrow l_d \cdot m_v \cdot g > (z_1 + z_2) \cdot m_L \cdot g \cdot k_p \quad (16)$$

$$m_v > \frac{(z_1 + z_2) \cdot m_L \cdot k_p}{l_d} \quad (17)$$

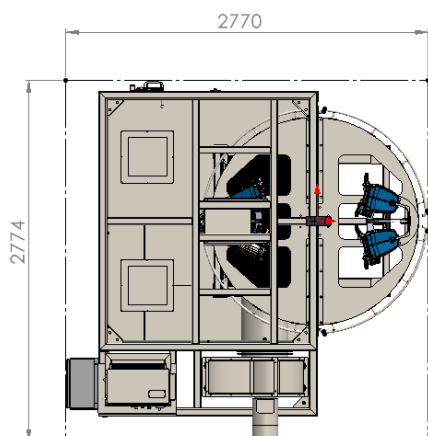
$$m_v > \frac{(0,4 + 1,242) \cdot 1310 \cdot 1,1}{0,6} \quad (18)$$

$$m_v > 3943 \text{ kg} \quad (19)$$

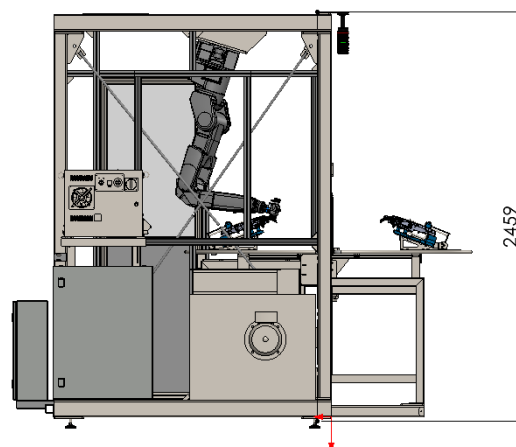
Z výpočtu vyplývá, že je pro manipulaci nutné použít vozík s minimální vzdáleností vlastního těžiště od středu předních kol 0,6 m a hmotností více jak 3913 kg. Rychlost manipulace je doporučena jako velice pomalá.

Převážní rozměry sólo vozů bývají 2,5 x 2,7 m (šířka x výška). Pro ekonomičtější přepravu pracoviště k zákazníkovi tímto způsobem je potřeba z pracoviště demontovat otočný talíř stolu a pneumatický rozvaděč. Tím lze docílit šířkového rozměru 2,23 m. Výškový rozměr pracoviště je 2,46 m. [74]

Pro splnění požadavků ze zadání nesmí být v provozu půdorysný rozměr pracoviště větší než 3000 x 3000 mm a ten výškový větší než 3500 mm. Tento požadavek byl s rezervou splněn.



Obrázek 89 - Maximální půdorysné rozměry stříkací kabiny



Obrázek 90 - Maximální výškový rozměr stříkací kabiny

5 Ukázka fyzické realizace

Před dokončením montážních prací bylo pořízeno několik fotografií znázorňujících téměř dokončené robotické pracoviště pro automatický nástřik rozpouštědlového lepidla. Na následujících fotografiích jsou zobrazeny pohledy na téměř zkompletované zařízení.



Obrázek 91 - Pohled na zařízení před dokončením 1



Obrázek 92 - Pohled na zařízení před dokončením 2



Obrázek 93 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 1



Obrázek 94 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 2



Obrázek 95 - Pohled na vnitřek zařízení před dokončením 3



Obrázek 96 - Expedice hotového zařízení

6 Zhodnocení a závěr

Cílem diplomové práce bylo zhotovit konstrukční návrh robotického pracoviště pro automatizace nástřiku rozpouštědlového lepidla na plastové díly o rozměrech přibližně 300x300x50 mm. Zároveň bylo při návrhu nutné dodržet důležité body ze zadání a požadavky z norem a směrnic ATEX. Na základě zjištěných poznatků z robotiky, senzoriky a technologie nanášení látek bylo možné navrhnout 2 koncepční varianty řešení, z kterých díky komplexnímu zhodnocení bylo následně rozhodnuto pro tu optimálnější.

Vybraná varianta pro detailní konstrukční návrh obsahuje implementovaný lakovací robot PaintMate 200iA/5L od výrobce Fanuc. Pro provedení automatizovaného nástřiku je zápěstí zmíněného robotu osazeno automatickou stříkácí pistolí Wagner Ga 1030 se speciální úpravou trysky pro vysoko viskózní adhezivní látky, kde nástřik a jeho parametry jsou řízeny externě pomocí stlačeného vzduchu. V závislosti na hodnotách posunutí zjištěných pomocí MKP výpočtu v softwaru Solidworks Simulation bylo provedeno ztužení nosné konstrukce robotu a následné zhodnocení dosažených výsledků. Efektivita celého cyklu pracoviště je zvýšena díky navrženému konstrukčnímu řešení stolu s otočným talířem, kde obsluha může během jednoho procesu nástřiku připravovat další díl na opačné straně stolu. Kvůli povaze funkce pracoviště a požadavkům ze zadání je jeho vnitřní prostor vybaven navrženou aktivní ventilací pro zamezení vzniku výbušné atmosféry. Pro zajištění bezpečnostních funkcí a splnění požadavků z norem je na pracovišti použito variace bezpečnostních prvků, které slouží jako prevence proti vzniku nebezpečí. Celé pracoviště je řízeno pomocí zvoleného PLC Siemens, které komunikuje se systémem robotu a ostatními elektronickými prvky celého zařízení. Ovládání pracoviště je realizováno pomocí dotykového panelu a programování robotu pomocí ručního kontroléru.

Ve finálním zhodnocení je nutné poznamenat, že díky systematickému konstrukčnímu návrhu bylo dosaženo splnění všech bodů ze zadání. Zhodnocením požadavků z harmonizovaných norem a jejich následným zanesením do konstrukčního návrhu bylo dosaženo potřebných parametrů pro prokázání shody s požadovanými technickými požadavky na zařízení.

Konečným výsledkem práce je funkční robotické pracoviště, na kterém je ozkoušený jeho pracovní cyklus. Lze jej bez problémů po připojení energií a zásobníku stříkaného lepidla Korapren FU 35 uvést do zkušebního provozu v hale zákazníka.

Reference

- [1] - Logo společnosti Strkan s.r.o. Online. In: . Dostupné z: <https://www.strkan.cz/>. [cit. 2024-05-20].
- [2] - IFR - INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. Online. Dostupné z: <https://ifr.org/industrial-robots>. [cit. 2024-05-20].
- [3] - SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ediční středisko VŠB – TUO. 2007.
- [4] - FANUC CZECH S.R.O. Delta robot M-3iA/6A. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/delta-robots/%C5%99ada-m3/m-3ia-6a>. [cit. 2024-05-20].
- [5] - Redundantní robot Schunk LWA. Online. Dostupné z: <https://www.joanneum.at/en/robotics/reference-projects/finalized-projects/redobco-redundant-robot-control>. [cit. 2024-05-20].
- [6] - Kartézský robot. Online. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/wp-content/uploads/2016/05/cartesian-robot.gif>. [cit. 2024-05-20].
- [7] - SCARA robot ABB 3HAC056161-004. Online. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/cs/3HAC056161-004/3hac056161-004>. [cit. 2024-05-20].
- [8] - Manipulační robot FANUC M20iD/12L. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%c3%a1nka-filtru-robot%c5%af/%c5%99ada-m-20/m-20id-12l>. [cit. 2024-05-20].
- [9] - FANUC CZECH S.R.O. Druhy průmyslových robotů. Online. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>. [cit. 2024-05-20].
- [10] - RUMÍŠEK, Pavel. Automatizace (roboty a manipulátory). Online. 2003. Brno. [cit. 2024-05-20].
- [11] - FANUC CZECH S.R.O. Lakovací robot FANUC P-250iB/15. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/ua/en/robots/robot-filter-page/paint-series/p-250ib-15>. [cit. 2024-05-20].
- [12] - FANUC AMERICA. Arc welding robot FANUC ARC Mate 120iD. Online. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/arc-mate/arc-mate-120id-welding-robot>. [cit. 2024-05-20].
- [13] - ZHANG, You Liu. What are the composition and characteristics of welding robots? What is the principle of precision cold welding machine? What are our common cold weld. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/what-composition-characteristics-welding-robots-principle-zhang>. [cit. 2024-05-20].
- [14] - MARTINEZ, Lucas Ariel. Automotive Rotary-Bell Spray Painting. Degree project for Master of Science. University of Gothenburg.
- [15] - DION, Mark. When to Use Air Spray Guns or Rotary Bell Atomizers for Robotics. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.pfonline.com/articles/when-to-use-air-spray-guns-or-rotary-bell-atomizers-for-robotics>. [cit. 2024-05-20].
- [16] - SEIKI, Fuso. Structure and use of automatic spray guns. Online. Roč. 2021. Dostupné z: <https://www.fusoseiki.co.jp/en/column/knowledge/223.html>. [cit. 2024-05-20].
- [17] - WAGNER - WATECH. Automatic spray gun GA 1020 and GA 1030 User manual. 2020. Dostupné také z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty.html>.

- [18] - SEIKI, Fusio. An easy to understand guide to types of paint sprayers. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.fusoseiki.co.jp/en/column/knowledge/191.html>. [cit. 2024-05-20].
- [19] - HARTLEY, Wendy. Improving paint transfer efficiency starts at the spray gun. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/finishing/improving-paint-transfer-efficiency-starts-at-the-spray-gun>. [cit. 2024-05-20].
- [20] - SAMES. EASY PAINT ROBOT - GUN VERSION. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.sames.com/sao/en/solutions-easy-paint-robot-gun-version.html>. [cit. 2024-05-20].
- [21] - How RFID Technology Works: Revolutionizing the Supply Chain. Online. 2023. Dostupné z: <https://bluefletch.com/rfid-technology-how-it-works-and-has-the-power-to-transform-the-supply-chain/>. [cit. 2024-05-20].
- [22] - KLAUZ, Milan. JAKÝ JE ROZDÍL MEZI AKTIVNÍM A PASIVNÍM RFID? Online. In: . 2017. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/clanky/id:53208/jaky-je-rozdil-mezi-aktivnim-a-pasivnim-rfid->. [cit. 2024-05-20].
- [23] - POVINNÁ CERTIFIKACE - POSUZOVÁNÍ SHODY. Online. Dostupné z: <https://www.tzu.cz/povinna-certifikace>. [cit. 2024-05-20].
- [24] - Posuzování shody. Online. 2024. Dostupné z: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/compliance/conformity-assessment/index_cs.htm. [cit. 2024-05-20].
- [25] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 12 100, Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. 2011.
- [26] - Hodnocení rizik a navrhovaná opatření na strojních zařízeních - 1. díl. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/hodnoceni-rizik-a-navrhovana-opatreni-na-strojnich-zarizenich-1-dil>. [cit. 2024-05-20].
- [27] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 12 218-1, Roboty pro výrobní prostředí - Požadavky na bezpečnost - Část 1: Robot. 2009.
- [28] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 12 218-2, Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace. 2012.
- [29] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 12 218-1, Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. 2017.
- [30] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 62 061, Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. 2005.
- [31] - VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů - 2. díl - PL vs. SIL. Online. 2015. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-2-dil-pl-vs-sil.html>. [cit. 2024-05-20].
- [32] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 13850, Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci. 2017.
- [33] - Funkce nouzového zastavení – zásady pro konstrukci. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/funkce-nouzoveho-zastaveni-zasady-pro-konstrukci>. [cit. 2024-05-20].

- [34] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 13857, Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami. 2008.
- [35] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 14119, Bezpečnost strojních zařízení - Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu. 2014.
- [36] - Zásady činnosti a typické druhy blokovacích zařízení spojených s ochrannými kryty. Online. 2016. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/zasady-cinnosti-a-typicke-druhy-blokovacich-zarizeni-spojnych-s-ochrannymi-kryty>. [cit. 2024-05-20].
- [37] - Blokovací zařízení. Online. In: . Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/vyrobky-a-reseni/vyrobky/safety/blokovaci-zarizeni/c/g191551>. [cit. 2024-05-20].
- [38] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 13855, Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla. 2010.
- [39] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN ISO 14120, Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů. 2016.
- [40] - Požadavky pro konstrukci a výrobu ochranných krytů pro strojní zařízení dle ČSN EN ISO 14120 - 2 díl. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/pozadavky-pro-konstrukci-a-vyrodu-ochrannych-krytu-pro-strojni-zarizeni-dle-csn-en-iso-14120-2-dil>. [cit. 2024-05-20].
- [41] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 16985, Stříkácké kabiny pro organické nátěrové hmoty - Bezpečnostní požadavky. 2020.
- [42] - Automatizace a robotizace lakovací linky výrobního závodu High Voltage Hitachi Energy Czech Republic. Online. In: SURFIN TECHNOLOGY. Dostupné z: <https://www.surfin-tech.cz/reference/roboticke-lakovani/automatizace-a-robotizace-lakovaci-linky-vyrobniho-zavodu-high-voltage-hitachi-energy-czech-republic>. [cit. 2024-05-20].
- [43] - ATEX 2014/34/EU. In: . 2014.
- [44] - ATEX 99/92/EU. In: . 99n. l.
- [45] - ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 60079-0, Elektrická zařízení pro výbušnou plynou atmosféru - Část 0: Všeobecné požadavky. 2018.
- [46] - Hazardous area guide for ATEX and ITEX (zones/groups). Online. In: . Dostupné z: <https://www.cmlex.com/wp-content/uploads/hazardous-area-guide.pdf>. [cit. 2024-05-20].
- [47] - Useful information on ATEX. Online. Dostupné z: <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/atex>. [cit. 2024-05-20].
- [48] - FANUC CZECH S.R.O. Paint Mate 200iA/5L. Online. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%a1nka-filtru-robot%c5%af/%c5%99ada-paint/paint-mate-200ia-5l>. [cit. 2024-05-20].
- [49] - ABB. IRB 52. Online. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty/lakovaci-roboty/irb-52>. [cit. 2024-05-20].
- [50] - FANUC Robot Paint Mate 200iA and Paint Mate 200iA/5L Operator's manual. FANUC America Corporation, 2020.

- [51] - SMC. ITV 2050. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.smcworld.com/assets/pg/en-jp/files/SP175X-006E-ITV.pdf>. [cit. 2024-05-20].
- [52] - SMC. ITV 2050. Online. 2018. Dostupné z: https://static.smc.eu/pdf/ITV-G_EU.pdf. [cit. 2024-05-20].
- [53] - SMC. Software pro výpočet poklesu tlaku v hlavním rozvodu. Online. Dostupné z: <https://mssc.smcworld.com/pdrfrcs/index.php/pdrfrcs/parainput/new>. [cit. 2024-05-20].
- [54] - HENNLICH. TRIFLEX R. Online. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/lin-tech/triflex-r-pro-roboty/>. [cit. 2024-05-20].
- [55] - ELESA+GANTER. Polohovací nohy s LV.A-AS s NBR podložkou. Online. Dostupné z: https://www.elesa-ganter.cz/siteassets/PDF/CZ/LV.A.pdf?_gl=1*cr5oi*_up*MQ.*_ga*Nzk1MTE3NDU0LjE3MTYyNDA0MTU.*_ga_YZTT08GS87*MTcxNjI0MDQxNC4xLjAuMTcxNjI0MDQxNC4wLjAuMA..*_ga_MPTKN31M3W*MTcx-NjI0MDQxNC4xLjAuMTcxNjI0MDQxNC4wLjAuMA... [cit. 2024-05-20].
- [56] - BRIOL. Utahovací momenty metrických šroubů. Online. Dostupné z: <https://www.briol.cz/cs/m-364-utahovací-momenty-metrickych-sroubu>. [cit. 2024-05-20].
- [57] - JTEKT CORPORATION. Insert bearing units KOYO UCF 207. Dostupné také z: <https://koyo.jtekt.co.jp/en/support/catalog-download/uploads/catbs006en.pdf>.
- [58] - MURDTFELDT. Die Werkstoff "S" plus+ Familie. Dostupné také z: https://www.murtdfeldt.com/fileadmin/media/downloads/pdf/08_Broschuere_Werkstoff-S-plus-Familie/Murtdfeldt_Splus_Brochure_EN_FG.pdf.
- [59] - MAGSY. Magnetická upevňovací sada. Dostupné také z: <https://e-shop.magsy.cz/magneticka-upevnovaci-sada-pr-15-mm/>
- [60] - VENTRA TEM 400-8. Radiálně nízko a střednotlakové ventilátory s priamym pohonom. Dostupné také z: <https://ventra.sk/radiálne-ventilatory-s-priamym-pohonom/>.
- [61] - ENERGETICKÝ ÚSTAV. VLASTNOSTI SUCHÉHO VZDUCHU. Online. Dostupné z: <https://eu.fme.vutbr.cz/file/vomm/2006.htm>. [cit. 2024-05-20].
- [62] - BRIGGLE, Rick. Drag of Cylinders & Cones. Online. 2005. Dostupné z: <https://aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0231.shtml>. [cit. 2024-05-20].
- [63] - 276 Windscribe Handheld Wind Speed Indicator. Online. Dostupné z: <https://www.coleparmer.com/i/davis-instruments-276-windscribe-handheld-wind-speed-indicator/6800022>. [cit. 2024-05-20].
- [64] - SICK. I10 Lock. Online. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/catalog/vyrobky/safety/blokovaci-zarizeni/i10-lock/c/g211151>. [cit. 2024-05-20].
- [65] - SICK. MB1-BL11. Online. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/catalog/vyrobky/safety/blokovaci-zarizeni/mb1/mb1-bl11/p/p594876>. [cit. 2024-05-20].
- [66] - ATEX DELLVALE. MB1-BL11: Tlačítko Ex. Online. Dostupné z: <https://www.atexdelvalle.com/cs/ex-operacni-hlava/tlacitko>. [cit. 2024-05-20].

[67] - TURCK. Bi5-M18-Y1X-H1141. Online. Dostupné z: <https://www.turck.cz/cs/product/40152>. [cit. 2024-05-20].

[68] - SICK. MLP1-SMUA0AC. Online. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/catalog/vyrobky/safety/blokovaci-zarizeni/mlp1/mlp1-smua0ac/p/p665025?tab=detail>. [cit. 2024-05-20].

[69] - NORELEM. Průmyslové tlumiče nárazů nastavitelné. Online. Dostupné z: <https://1url.cz/G1KKm>. [cit. 2024-05-20].

[70] - TURCK. Čtecí RFID hlava TN-EM18WD. Online. Dostupné z: <https://www.turck.cz/cs/product/7030382>. [cit. 2024-05-20].

[71] - TURCK. Hard tag SLIX 3002. Online. Dostupné z: <https://www.turck.cz/cs/product/100002356>. [cit. 2024-05-20].

[72] - TURCK. LED Signalizační maják K90LGYRPQ. Online. Dostupné z: <https://www.turck.cz/cs/product/3092822>. [cit. 2024-05-20].

[73] - DEVICEBASE. Fanuc iPendant Summary. Online. Dostupné z: <https://devicebase.net/en/fanuc-ipendant>. [cit. 2024-05-20].

[74] - LC SPED. Vozový park. Online. Dostupné z: https://www.lcsped.cz/vozovy_park.aspx. [cit. 2024-05-21].

Ostatní nereferované informace obsažené v práci použity z vlastní zkušenosti nebo zjištěny od zkušených odborníků z praxe.

Seznam příloh

- Příloha A - Datový list lepidla Korapren FU 35
- Příloha B - Datový list radiálního ventilátoru Ventra TEM 400-8
- Příloha C - Pneumatické schéma navrženého zařízení
- Příloha D - Produktový list Fanuc Paint Mate 200iA/5L
- Příloha E - Axonometrické pohledy na 3D model navrženého zařízení
- Příloha F - Výrobní výkres otočného talíře
- Příloha G - Výrobní výkres adaptéru efektoru
- Příloha H - Výkres svařované sestavy nosného sloupu
- Příloha I - Výkres svařované sestavy horní platformy nosné konstrukce kabiny

Příloha A

Körapren FU 35



Kontaktní lepidlo na dřevo, dřevěný materiál, hliník, ocel a různé druhy plastu

- Velmi vysoká přilnavost
- Dobrá odolnost proti vlhkosti
- Vysoká tepelná odolnost
- Nevhodné na polystyrenovou pěnu (Styropor®)
- Bez toluenu

TECHNICKÉ ÚDAJE

Základ	polychloropren, s obsahem rozpouštědel	
Barva	Braun	
Konzistence	tekutá, možnost stříkání	
Hustota	0,82 g/cm ³	DIN 53 479
Pevná látka	20 %	
Viskozita	450 mPas	Brookfield RVT
Spotřeba	250-300 g/m ² v závislosti na podkladu	
Tepelná odolnost	+130 °C	Zkušební norma K0 100098
Doba přilnavosti na povrchu	30 min	

ZPRACOVÁNÍ

Nezpracovávat při teplotách

pod +12°C

Přípravné práce

Lepené plochy musejí být suché, čisté, zbavené prachu a mastnoty.

Lepení

Lepidlo rovnoměrně naneste stříkáním na obě lepené části. Na tento účel jsou vhodné stříkací trysky s průměrem 1,8-2,0 mm při stříkacím tlaku 5-6 bar.

Po uplynutí doby čekání (doba odvětrání) 5-10 minut k sobě vhodně přiložte části a pevně je stlačte, příp. přerolujte. Doba čekání závisí na teplotě v místnosti, tloušťce aplikované vrstvy a savosti podkladu. Části se mohou spojit, pokud se vrstva lepidla ještě trochu lepí, ale při mírném přitlačení prstem na něm nezůstane.

Příloha B

Data sheet

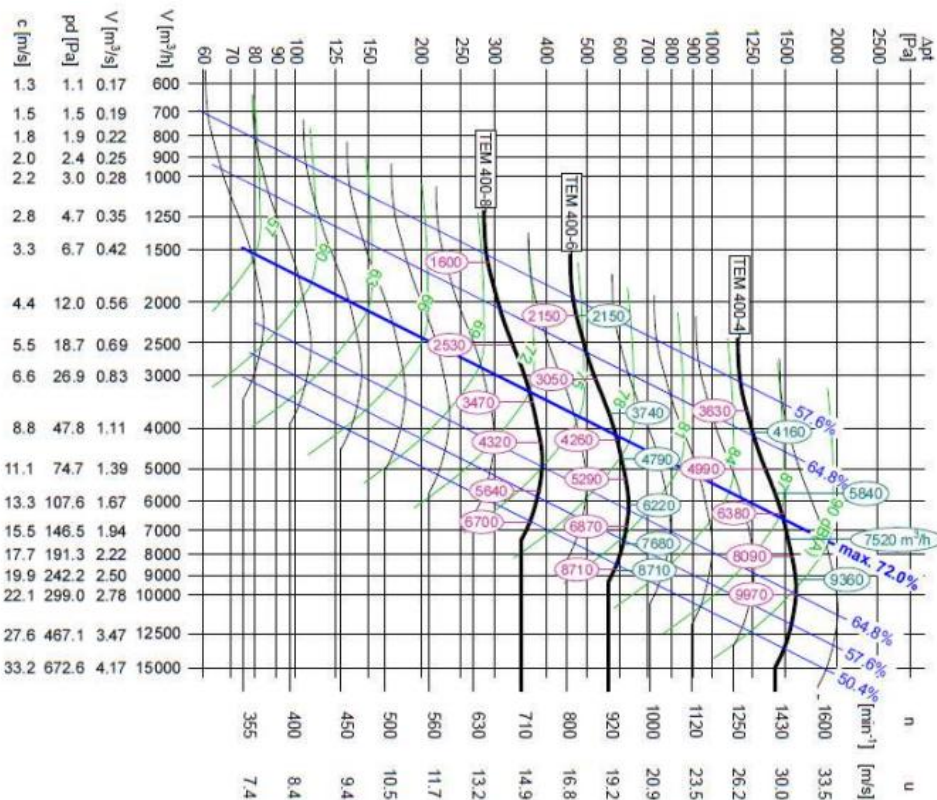
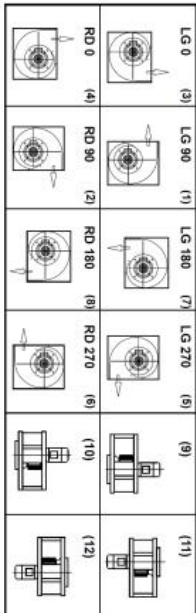
TEM 400-8/1,1 VFZ



Duty point	Volume: 4500 m ³ /h	Pressure: 320 Pa st.
	Density 1,2 kg/m ³	Temperature 20 °C

Operating data	Type: TEM 400-4/1,1 VFZ / EX II 3G Ex h IIB+H2 T3 Gc
	Volume: 4500 m ³ /h
	Tot.pres.: 383 Pa
	Stat. pres.: 324 Pa
	Fan speed: 700 1/min
	Operating frequency: 50 Hz
	Absorbed power: 0,71 kW
	Sound power: 73 dBA
	Efficiency 68 %
	Medium temp.: -20°C --- +50°C
	Note 1: ATEX: EX II 3G Ex h IIB+H2 T3 Gc
	Note 2:
	Note 3:

Casing orientation options:



Příloha D

Paint Mate 200iA/5L (Long arm)

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]								
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.03	37	340	230	373	380	240	720	270	270	270	450	450	720	11.9/0.3	11.9/0.3	6.7/0.1

Max. load capacity at wrist: 5 Kg

Max. reach: 892 mm

Robot

Robot footprint [mm] 260 x 255

Mounting position Floor *

Mounting position Invert *

Mounting position Wall *

Mounting position Angle *

Controller

Open air cabinet R-30iB Plus

Male cabinet *

A-cabinet *

B-cabinet -

Pendant *

ISTP option -

Electrical connections

Voltage 50/60Hz 3-phase [V] 200-230

Voltage 50/60Hz 1-phase [V] 200-230

Average power consumption [kW] 0.5

Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out -

Integrated air supply *

Environment

Acoustic noise level [dB] < 70

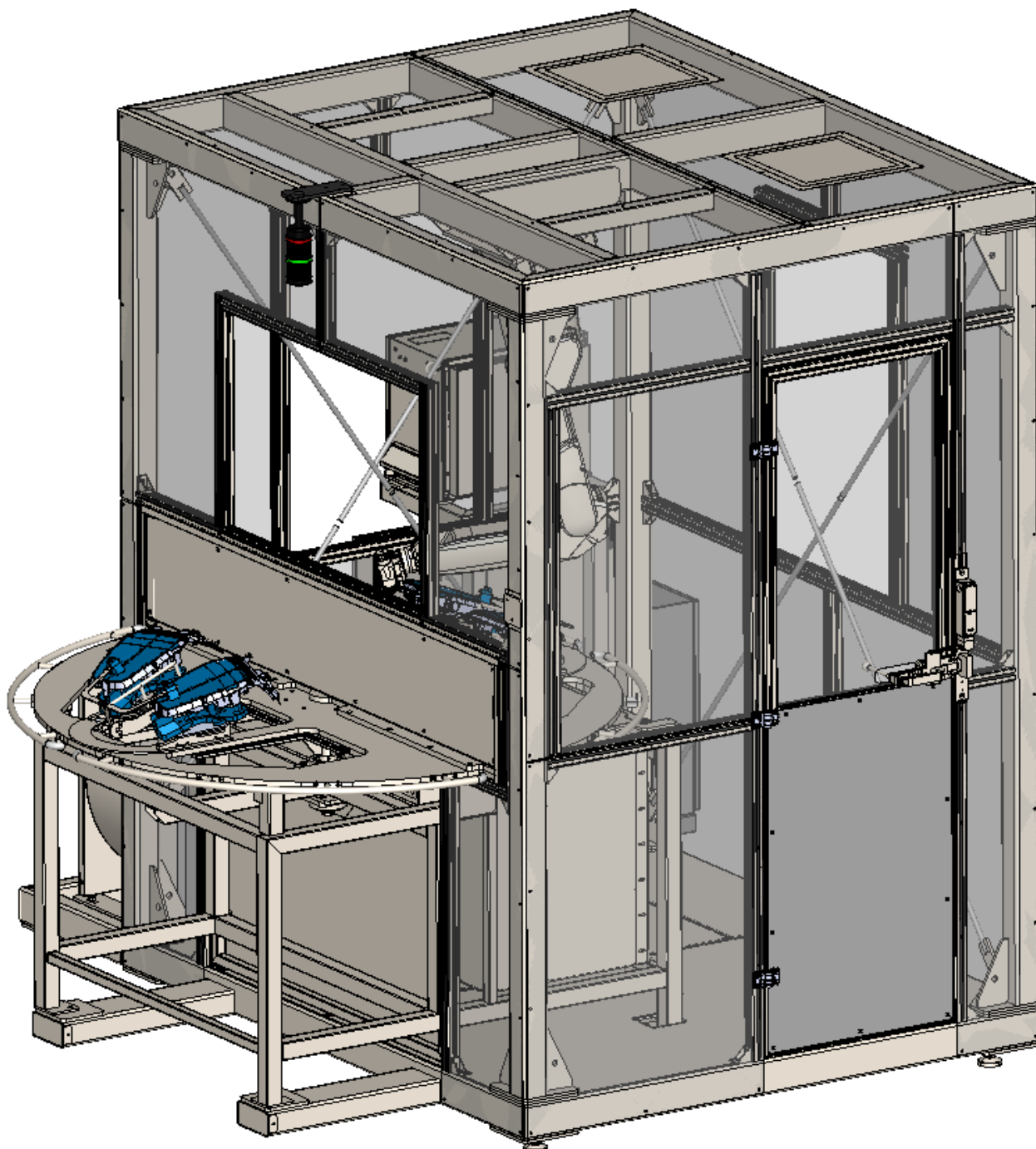
Ambient temperature [°C] 0-45

Protection

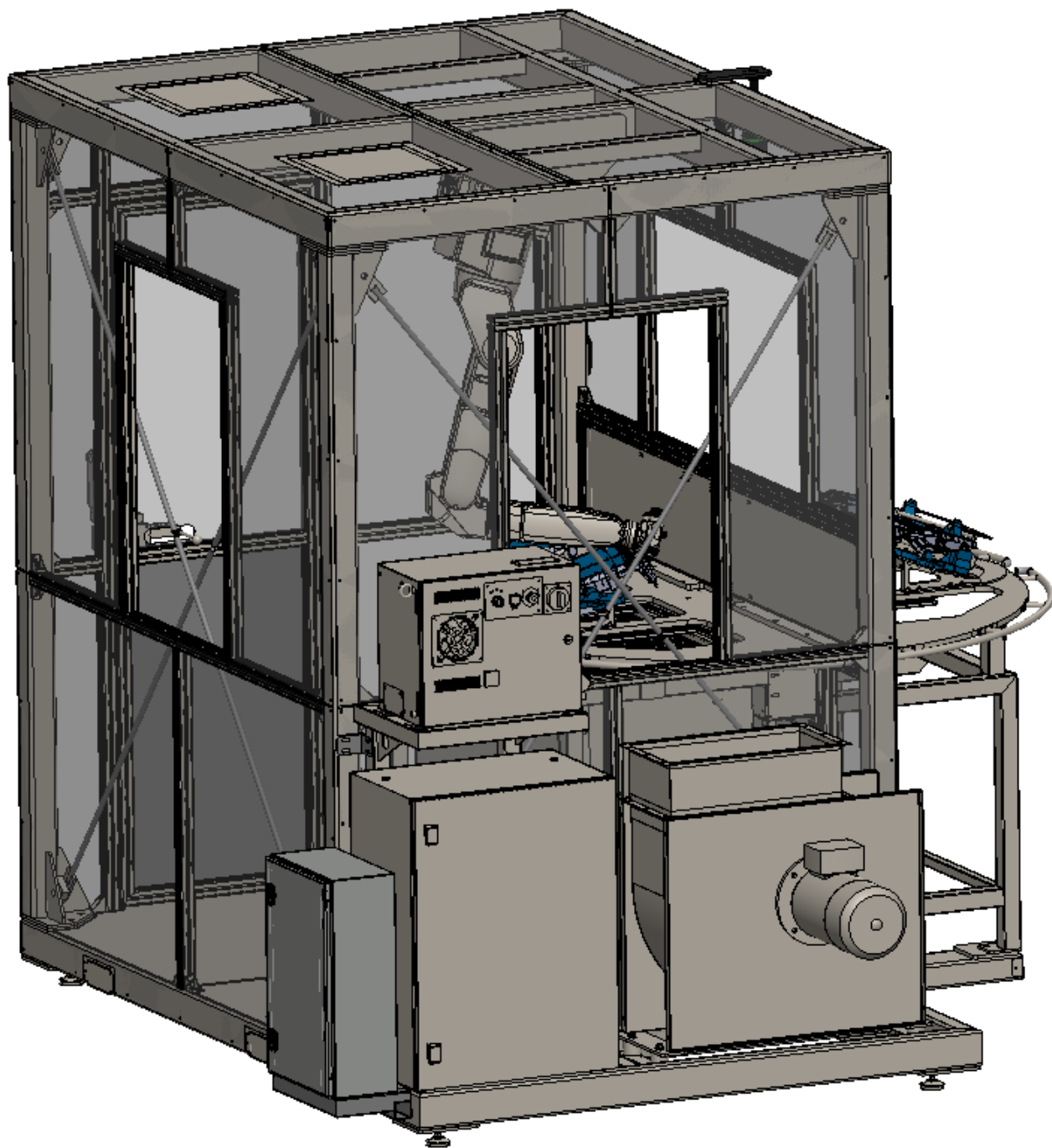
Hazardous location certification *

MDS-03898-EN Technical information subject to changes without prior notice. All rights reserved. ©2021 FANUC Europe Corporation

Příloha E



Obrázek E.1 - Pohled na celkový model zařízení 1



Obrázek E.2 - Pohled na celkový model zařízení 2