



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ NA OBRÁBĚNÍ TVAROVĚ SLOŽITÉ SOUČÁSTI VÁLCOVITÉHO TVARU

DESIGN OF A ROBOTIC WORKPLACE FOR MACHINING A CYLINDRICAL SHAPED PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Fajt

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Petr Fajt
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2019/20

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

Návrh robotického pracoviště na obrábění tvarově složité součásti válcovitého tvaru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro obrábění tvarově složité součásti kruhového (válcovitého) tvaru je třeba vyvinout automatické obráběcí pracoviště, které bude složeno z vlastních obráběcích strojů (řešeno jako subdodávka) a z nové koncepce prostředků manipulace mezi výrobními a manipulačními operacemi během obrábění součástí. Tyto operace lze obstarávat více způsoby (manipulátorem nebo robotem apod.). Cílem práce je navrhnout optimální variantu koncepce manipulace s předmětnou součástkou, vzhledem ke kvantitativním a kvalitativním ukazatelům, kladenými na produkt ze strany zákazníka. Řešení musí dále splňovat snadnou přestavitelnost na jiný (podobný) typ produktu. Je nutné zdůvodnit výběr zvolené varianty – uvést výhody, nevýhody, použitelnost a část projekce a konstrukce dále rozpracovat dle výše uvedených znění zadání dle bodů 4 až 8. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností DEL a. s. ve Žďáře nad Sázavou, která bude plnit roli vývojového konzultanta práce.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu technologie a techniky u řešené problematiky.

Systémová analýza řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu, především problematiky správného uchopení součásti mezi výrobními operacemi, efektivní využití manipulátoru a kontrolní operace pro dosažení výsledné a požadované kvality vyráběného produktu.

Návrh variantních řešení nové konstrukce zařízení a zdůvodnění výběru optimální varianty – především z pohledu zadaného počtu vyráběných kusů, variability při přestavování na jiný druh produktu.

Technické výpočty – především zatížení a upínací síly manipulačních sestav pro minimalizaci hmotnosti konstrukce.

Výkres sestavy, kusovník a min. 5 výkresů vyráběných dílů.

Komentář k přiložené výkresové dokumentaci.

Analýza rizik navrženého robotického pracoviště.

Závěr a vyhodnocení, doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem robotického pracoviště na obrábění tvarově složitých součástí. v teoretické části je stručně rozebrána problematika průmyslových robotů, koncových efektorů a CNC obrábějících strojů. Praktická část se věnuje samotnému konstrukčnímu návrhu. Je navrhnout koncový efektor na robot, manipulátor, stanoviště výstupní kontroly a zařízení pro paletizaci, poté je sestaveno celé pracoviště. Následně jsou provedeny kontrolní výpočty a na závěr je k danému pracovišti zhotovena analýza rizik.

ABSTRACT

This diploma thesis is about the design of a robotic workplace for machining complex components. The theoretical part briefly discusses the issue of industrial robots, end effectors and CNC machines. The practical part is about design of individual devices. First is designed end effector for the robot, then manipulator, output checking station and palletizing equipment. Then the entire workplace is assembled. Next there are performed control calculations and at the end a risk analysis is done for the designed workplace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotické pracoviště, konstrukce koncového efektoru, konstrukce manipulátoru, automatizace výroby

KEYWORDS

Robotic workplace, construction of end effector, construction of manipulator, production automation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FAJT, Petr. Návrh robotického pracoviště na obrábění tvarově složité součásti válcovitého tvaru. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124610>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 16.6.2020

.....

Bc. Petr Fajt

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi Dr. a celému oddělení konstrukce společnosti DEL a.s., především pak Ing. Lubošovi Gregorovi, za vstřícný přístup, cenné rady a připomínky, které mi pomohly k dokončení této diplomové práce.

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	MOTIVACE	19
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	21
3.1	Průmyslové roboty	21
3.1.1	Roboty kartézského typu	21
3.1.2	Roboty typu SCARA	22
3.1.3	Delta roboty	22
3.1.4	Šestiosé roboty	23
3.1.5	Kolaborativní roboty	24
3.2	Koncové efekторы	24
3.2.1	Koncové efekторы manipulační	24
3.2.2	Další typy koncových efektorů	27
3.2.3	Trendy v oblasti uchopovačů	29
3.3	CNC obráběcí stroje	30
3.3.1	CNC soustružnické stroje	30
3.3.2	CNC frézovací stroje	31
3.3.3	Multifunkční CNC obráběcí stroje	33
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ÚLOHY	35
4.1	Definice úkolu a očekávání	35
4.2	Požadavky zákazníka	35
4.3	Porovnání vyráběných součástí	36
4.3.1	Čep ALFA	36
4.3.2	Čep BETA	37
4.3.3	Čep GAMA	37
4.4	Příchod polotovaru do prostoru pracoviště	38
4.4.1	Zásobník	38
4.4.2	Manipulátor	40
4.5	Uchopení součástí při manipulaci robotem	42
4.6	CNC obráběcí stroj	43
4.7	Výstupní kontrola	44
4.8	Odchod obrobků z pracoviště	45
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	45
5.1	Koncový efektor	47
5.1.1	Konstrukční řešení č. 1	47
5.1.2	Konstrukční řešení č. 2	51
5.1.3	Porovnání a výběr optimální varianty	52
5.1.4	Ofuk chladící kapaliny	53
5.2	Robot	55
5.3	Manipulátor	56
5.3.1	Pohony	56
5.3.2	Stůl manipulátoru	57
5.3.3	Tělo manipulátoru	59
5.3.4	Prizmatická lůžka	60
5.3.5	Spojovací součásti	61
5.3.6	Chapadlo	61

5.3.7	Prsty.....	62
5.3.8	Energetické řetězy	62
5.3.9	Snímače	64
5.3.10	Sestava manipulátoru	65
5.4	Výstupní kontrola	66
5.4.1	Stůl	66
5.4.2	Měřicí prvky	67
5.4.3	Tělo kontroly	68
5.4.4	Upínací mechanismus	69
5.4.5	Kryt.....	71
5.4.6	Skluz pro neshodné díly	71
5.4.7	Sestava stanoviště kontroly	73
5.5	Paletizace.....	73
5.5.1	Rám	74
5.5.2	Horní skluz	74
5.5.3	Spodní skluz	76
5.5.4	Pohyblivý pracovní stůl.....	77
5.5.5	Mechanismus pohonu.....	82
5.5.6	Snímače	83
5.5.7	Sestava stanoviště paletizace.....	84
5.6	Oplocení pracoviště	86
5.7	Layout.....	88
6	TECHNICKÉ VÝPOČTY	89
6.1	Uchopovací síla koncového efektoru	89
6.1.1	Výpočet zrychlení v místě úchopu	89
6.1.2	Výpočet uchopovací síly	92
7	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	96
8	ANALÝZA RYZIK.....	98
8.1	Přeprava zařízení a jeho montáž.....	101
8.1.1	Mechanická nebezpečí	101
8.1.2	Elektrická nebezpečí	102
8.1.3	Nebezpečí nadměrného hluku	104
8.1.4	Nebezpečí vibrací.....	105
8.1.5	Nebezpečné materiály a látky.....	106
8.2	Provoz a údržba zařízení	107
8.2.1	Mechanická nebezpečí	107
8.2.2	Elektrická nebezpečí	113
8.2.3	Tepelná nebezpečí	115
8.2.4	Nebezpečí hluku	116
8.3	Likvidace zařízení	116
8.3.1	Mechanická nebezpečí	116
8.3.2	Elektrická nebezpečí	118
8.3.3	Nebezpečí hluku	119
8.3.4	Nebezpečí vibrací.....	119
9	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	120
10	ZÁVĚR.....	123
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	125

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	129
12.1 Seznam tabulek	129
12.2 Seznam obrázků	130
13 SEZNAM PŘÍLOH	133

1 ÚVOD

Tématem této diplomové práce je návrh robotického pracoviště na obrábění tvarově složité součásti válcovitého tvaru. První část práce bude věnována teoretické rešerši témat, které s prací úzce souvisí. Zazní definice průmyslového robotu, jeho využití a budou zmíněny nejrozšířenější typy robotů. Dalším rozebíraným tématem pak budou koncové efekторы, kde bude uvedeno jejich rozdělení podle charakteru činnosti, pro kterou jsou navrženy a jejich typické úchopné prvky. Též zazní moderní trendy v dané oblasti. Na konci teoretické části se práce bude věnovat CNC obráběcím strojům, které budou definovány a následně rozděleny do základních charakteristických skupin.

Druhá část práce bude vyhrazena systémovému rozboru úlohy, konkrétně bude rozebráno zadání a uvedeny požadavky zákazníka na daný návrh. Budou charakterizovány vyráběné součásti a uveden výrobní postup. Též zazní popis jednotlivých prvků celého pracoviště a jejich vlastností, případně důvod jejich použití. Velký důraz bude dle zadání kladen na způsob a možnosti uchopení výrobků.

Následující a hlavní část práce bude věnována konstrukci jednotlivých zařízení potřebných k chodu pracoviště. Postupně navrhne konstrukční řešení pro koncový efektor, manipulátor, pro odebrání čepů ze zásobníku, stanoviště výstupní kontroly, kde bude docházet ke kontrole jakosti výrobku a paletizační zařízení, které poslouží k odvádění hotových výrobků z pracoviště. Následně bude třeba sestavit oplocení celé buňky a poskládat ideální layout pracoviště.

Práce poté bude pokračovat výpočtovou částí, kde ověříme správnost návrhu koncového efektoru a spočteme potřebnou uchopovací sílu pro danou manipulační úlohu. Také bude uveden stručný komentář k přiložené výkresové dokumentaci. Bezpečnosti navrhovaného robotického pracoviště, zvážení možných rizik, která mohou nastat a návrhům na jejich snížení se na závěr bude věnovat část analýzy rizik.

Závěrem celé diplomové práce pak bude zhodnocení výsledků, kterých bude dosaženo, celkové shrnutí práce a možné návrhy pro kvalitnější řešení.

2 MOTIVACE

Po bakalářském studiu, které jsem uzavřel závěrečnou prací na téma návrhu konstrukce modulárního úchopného zařízení, jako koncového efektoru pro manipulaci se součástkami pomocí robotu, jsem nastoupil do navazujícího magisterského studia na Ústavu výrobních strojů systémů a robotiky na Vysokém učení technickém v Brně. Vědomosti získané během studia jsem se snažil co nejvíce uplatňovat během brigád ve společnosti DEL a.s., která sídlí ve Žďáře nad Sázavou, a právě během práce zde se mi naskytla příležitost spojit všechna témata mého zájmu a vytvořit diplomovou práci na toto, dle mého názoru, velmi zajímavé téma.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty se dají definovat mnoha způsoby, velice dobře však definici vystihl ruský profesor Petr Nikolajevič Beljanin, který řekl:

„Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ [1]

V dnešní době už si průmysl bez průmyslového robotu snad ani nelze představit. Zatímco dříve se robotů využívalo výhradně v oblastech, kde na požadovanou činnost člověk nestačil. Dělo se tomu tak například u příliš fyzicky namáhavých prací, monotónních činností, nebo byl člověk nahrazován robotem v prostorách, které mohou být škodlivé pro jeho zdraví. v dnešní době je však trendem plná automatizace výroby a roboty jsou nasazovány i při naprosto běžných činnostech, a to hlavně za účelem zefektivnění výrobních procesů a eliminace chyb, které by mohl do výroby vnést lidský faktor. Na Obr. 1. je jako příklad vyobrazena robotizovaná výrobní linka v automobilce.



Obr. 1) Robotizovaná výrobní linka [2]

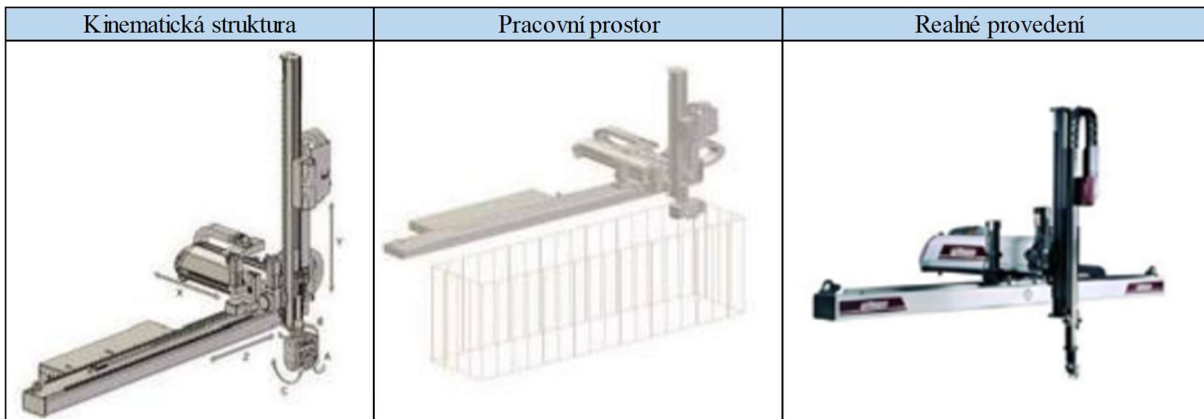
Při stavbě průmyslových robotů se využívají dva základní typy kinematických dvojic, jedná se o otočné neboli rotační a posuvné neboli translační. Rotační kinematické dvojice mohou být buď otočné nebo kyvné. Translační pak mohou být smýkadlové, u kterých se delší těleso posouvá v kratším vedení, suportové, u kterých se kratší těleso posouvá po delším vedení nebo výsuvné, čili teleskopické. Pomocí různých kombinací uvedených kinematických dvojic pak vznikají kinematické řetězce, které posléze tvoří kinematickou strukturu robotu.

V současné době jsou nejvíce rozšířené následující osvědčené konstrukce robotů, o kterých budou v nadcházejících podkapitolách uvedeny základní informace.

3.1.1 Roboty kartézského typu

Někdy též nazývané roboty portálové či přímočaré, jsou mechatronická zařízení, která k pohybu využívají tři po sobě jdoucí translace. Ty bývají řešeny lineárními aktuátory nebo

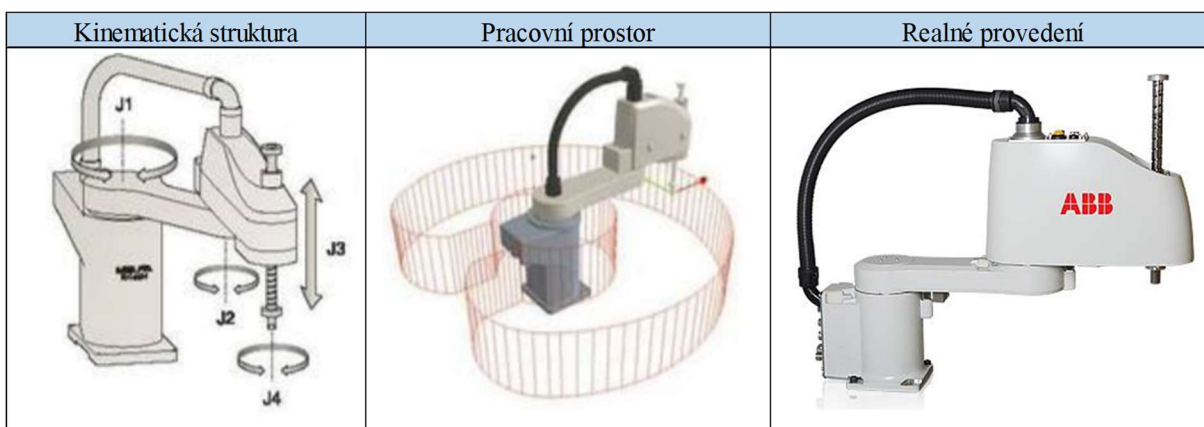
elektromotory. Pohyblivé osy X, Y a z jsou shodné s kartézským souřadným systémem, od kterého je i odvozen název robotu. Často bývá připojeno pohyblivé zápěstí umožňující rotační pohyb. Hlavní stavební částí robotu je jeho kovová konstrukce sloužící jako rám stanovující trasy jednotlivých os. Kartézské roboty mají pracovní prostor ve tvaru krychle, popřípadě kvádru Obr. 2. Konkrétní tvar pracovního prostoru je ovlivněn konstrukcí, která může být montována horizontálně, vertikálně a v některých případech i závěsně. Kartézské roboty se ve velkém používají při těžkých a precizních operacích, například při přenášení jednotlivých dílů karoserií automobilů nebo výrobě detailních povrchových vzorů.



Obr. 2) Kartézský robot [3]

3.1.2 Roboty typu SCARA

Označení pochází z anglického selective-compliance-articulated robot arms, což lze přeložit jako libovolně polohovatelná robotická ramena. Kinematická struktura robotů typu SCARA je tvořena dvěma po sobě jdoucími rotacemi a jednou translací, pohyb probíhá taktéž v rovinách X, Y a Z, na konci osy z je však navíc přidána rotační osa. Pracovní prostor má tvar části válce. Roboty typu SCARA se nejčastěji používají pro vertikální montážní práce, jako je například vkládání závlaček do otvorů. Lze je ale využít i pro kování, nebo balení. Montáž se pak provádí ve většině případů na podstavci.

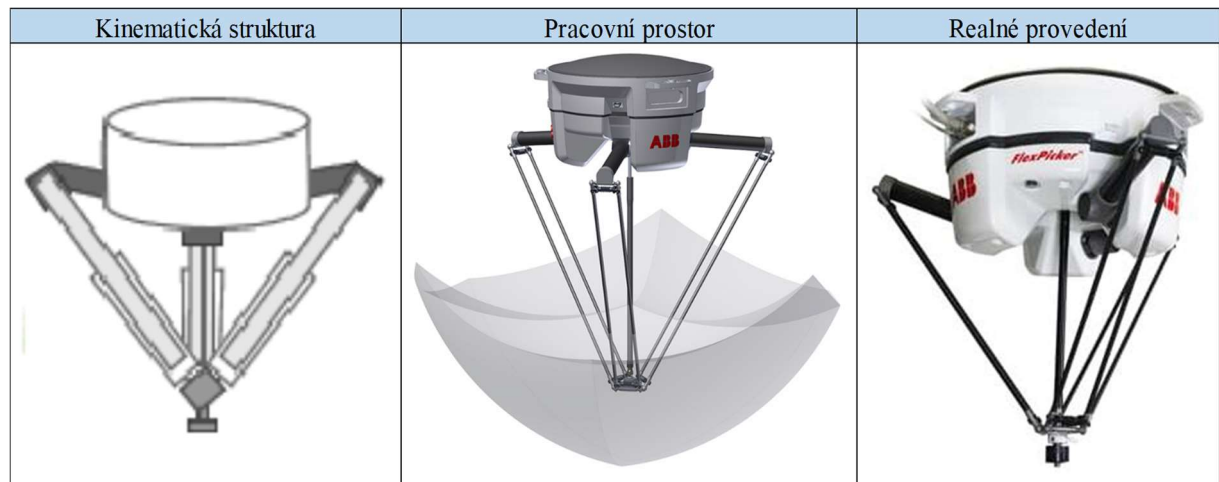


Obr. 3) Robot typu SCARA [3][4]

3.1.3 Delta roboty

Delta roboty jsou paralelní roboty, které svým vzhledem připomínají pavouky. Skládají se z propojených paralelogramů, které jsou připojeny ke společné základně. Jsou schopné jemných a přesných pohybů při vysokých rychlostech. Tento druh robotů se využívá převážně

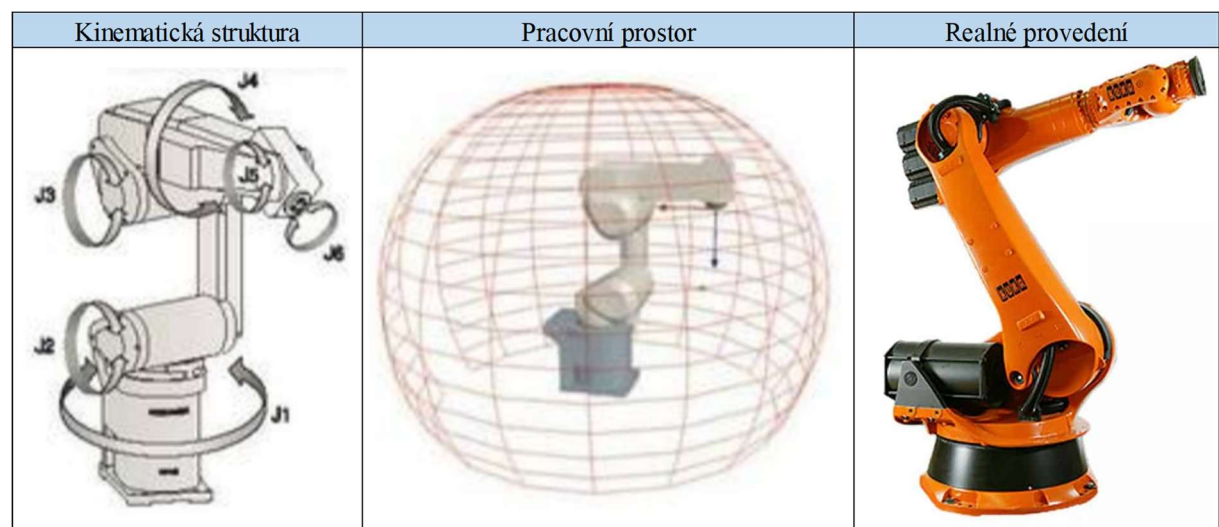
při nakládání a podávání různých součástí, balení nebo vkládání do krabic. Tvar pracovního prostoru je podobný paraboloidu.



Obr. 4) Delta roboty [4][5]

3.1.4 Šestiosé roboty

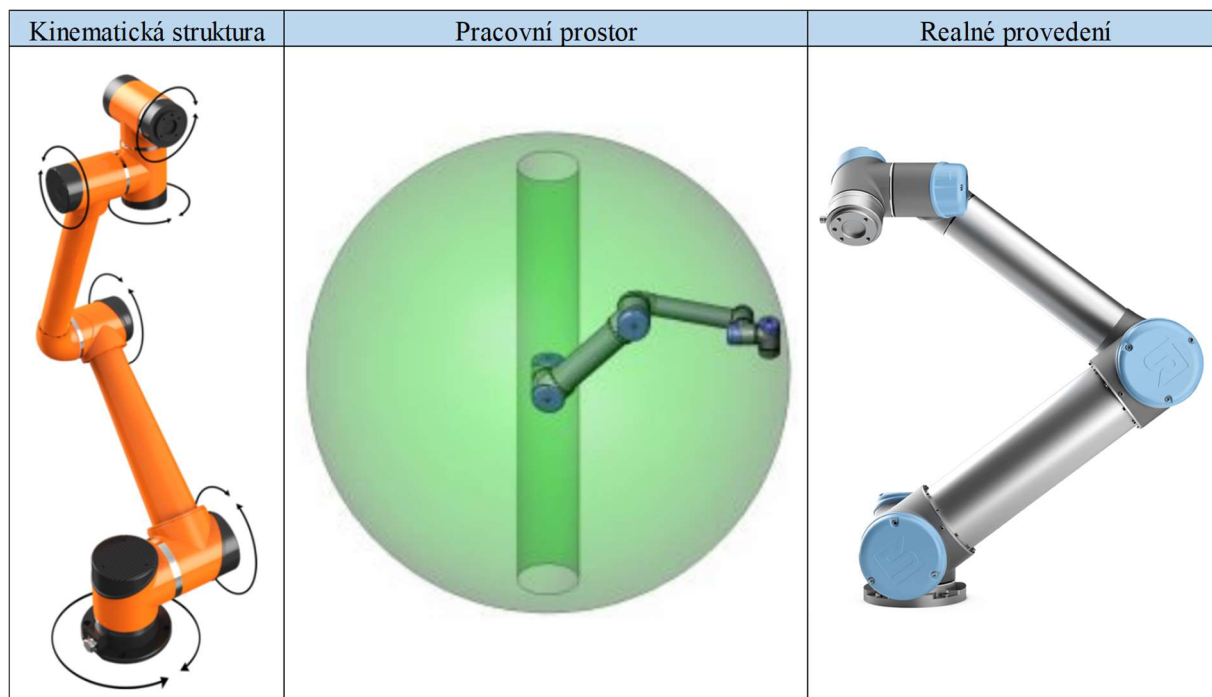
Jak už název napovídá, kinematická struktura tohoto typu robotů se skládá ze šesti po sobě jdoucích rotačních os. Jednotlivé osy jsou vybaveny rychlými a přesnými pojezdy. Šestiosé roboty dovedou provést širokou škálu pohybů a díky tomu mohou vykonat větší objem práce. Pracovní prostor má tvar kulové výseče. Jsou často využívány při paletizaci, svařování, lakování, nebo obsluze strojů.



Obr. 5) Šestiosý robot [3][6]

3.1.5 Kolaborativní roboty

V dnešní době je velkým trendem využívání kolaborativních robotů, které sdílí svůj pracovní prostor s lidmi. Kvůli tomu musí být vybaveny speciální senzorikou a servopohony, aby v žádném případě nemohlo dojít k úrazu. z kinematického hlediska jsou velmi podobné robotům šestiosým, jelikož také sestávají z šesti po sobě jdoucích rotací. Pracovní prostor má tvar části koule. Kolaborativní roboty se dají využít pro mnoho různých aplikací, například pro operace typu pick and place, obsluhu strojů, balení a paletizaci, nebo i leštění.



Obr. 6) Kolaborativní roboty [7][8][9]

3.2 Koncové efekторы

Koncový efektor použitý na robotu se odvíjí od činnosti, pro kterou je daný průmyslový robot určen a lze je rozdělit do dvou základních skupin. Koncové efekторы manipulační jsou určeny k manipulaci s různými objekty, u kterých jsou zadány parametry vzdálenosti, polohy, rychlosti zrychlení, orientace a další. Koncové efekторы technologické provádějí určitou technologickou operaci, jako je například svařování, lakování, obrábění, či montáž. Obě základní skupiny se však mohou prolínat a tím dojde ke vzniku hybridních koncových efektorů.

3.2.1 Koncové efekторы manipulační

Slouží k uchopení objektu a následné manipulaci s ním, bývají převážně konstruované na míru pro danou aplikaci. Části efektoru, které přímo zajišťují uchopení daného objektu manipulace, nazýváme úchopné prvky, ty dále mohou být pasivní nebo aktivní. Pasivní úchopné prvky nelze nijak ovládat a k uvolnění objektu je třeba zásahu zvenčí. Na druhou stranu aktivní prvky můžeme ovládat a zásahy zvenčí tím pádem nejsou potřebné. Manipulační koncové efekторы lze dále dělit dle charakteru styku při aktivaci úchopné síly do několika následujících skupin.

Magnetické

Využívají se výhradně k manipulaci s objekty zhotovenými z feromagnetického materiálu. Velkou výhodou tohoto typu koncových efektorů je konstrukční jednoduchost. Nevýhodou pak

může být zachycení nežádoucích předmětů, například ocelového prachu či špon, které mohou způsobit vychýlení či úplné uvolnění uchopovaného předmětu.

Pasivními úchopnými prvky jsou v tomto případě permanentní magnety a používají se převážně k manipulaci s menšími předměty. Nejčastěji se jedná o rozličné plechové výlisky například podložky. Velikost úchopné síly závisí na síle a počtu magnetů. Hlavní výhodou je jednoduchá konstrukce, značnou nevýhodou je potřeba přídavných mechanismů určených k uvolnění uchopených objektů. v nejjednodušších případech využijeme dorazu či podobného zařízení, díky kterému dojde k tangenciálnímu stažení objektu z magnetu pomocí pohybu ramene robotu. Tento způsob uvolňování objektů manipulace není však ve většině aplikací ideální, a proto se k uvolňování používají programově řízené mechanismy, ty ovšem činí fázi uvolňování aktivní.

Aktivními úchopnými prvky jsou poté elektromagnety, které bývají většinou napájeny stejnosměrným elektrickým proudem. Velkou výhodou na rozdíl od koncových efektorů vybavených permanentními magnety je, že k uvolnění objektu manipulace není potřebný žádný přídavný mechanismus. Uvolnění probíhá přerušením přívodu proudu do elektromagnetu, vlivem vlastní hmotnosti pak dojde k oddělení. u drobných těles ovšem může dojít vlivem působení stejnosměrného magnetického pole ke zmagnetizování, proto je třeba ještě na okamžik obrátit směr proudu při průchodu cívkami elektromagnetu, aby došlo k bezproblémovému uvolnění.

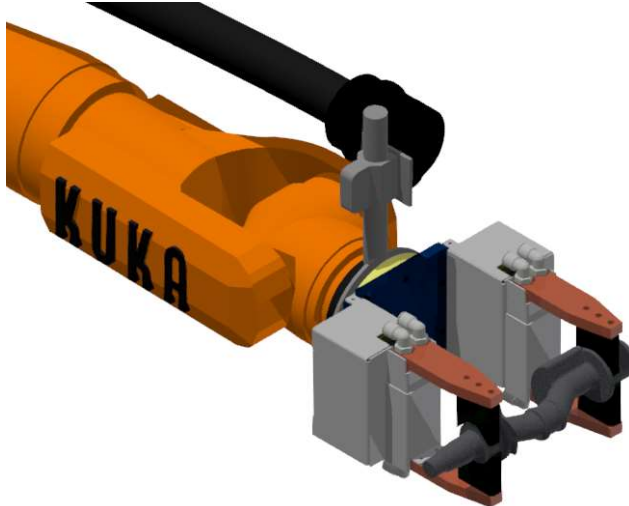


Obr. 7) Koncový efektor manipulační magnetický [12]

Mechanické

Příkladem pasivních mechanických úchopných prvků jsou rozličně tvarovaná prizmatická lůžka, většinou zhotovená na míru pro danou operaci. Dále lze do této skupiny zařadit různé čepy, háky, vidlice, pružné čelisti a další jim podobné prvky. Pasivní prvky nelze ovládat pomocí řídicího systému, proto se k uchopení objektů při manipulaci využívá pohybu ramena robotu. v případě uvolnění pak využíváme podobného principu, kdy uchopení jiným manipulátorem, či upnutí do sklíčidla způsobí zpětný ráz, díky kterému dojde k uvolnění objektu. Uvolnění uchopeného tělesa může být také zajišťováno pomocí vyhazovače.

Aktivní úchopné prvky jsou pohyblivé čelisti, jenž bývají bezprostředně ovládány řídicím systémem. Pohyb jednotlivých čelistí se liší dle konstrukce, jedná se však o lineární nebo rotační pohyb. Pohon je zajišťován pneumaticky, hydraulicky či elektricky. Existuje nespočet různých provedení mechanismů určených k uchopení objektu, je však nesmírně obtížné přiblížit se orgánu k úchopu nejdokonalejšímu, a to lidské ruce.



Obr. 8) Koncový efektor manipulační mechanický

Podtlakové

Nejčastěji používané pasivní podtlakové úchopné prvky jsou deformační pryžové přísavky. Jejich funkce spočívá v prvotním zmenšení vnitřního objemu, vlivem kterého dojde při zpětném pohybu ke vzniku podtlaku. Pro bezpečné uchopení musí být zajištěna vysoká těsnost styku. Ta je ovlivňována především drsností a kvalitou povrchu objektu manipulace. Za účelem zlepšení přilnutí k povrchu tělesa lze použít viskózní tekuté látky. Tento typ koncových efektorů lze využít například k manipulaci s plechy či tabulemi skla. Při manipulaci s plechy obecně bývá problém v oddělování uchopených předmětů od ostatních. Řešením je rozšíření manipulačního cyklu o pohyb v tangenciálním směru, který zajistí sesunutí horního plechu. Výhodou použití těchto úchopných prvků je jednoduchost a možnost práce v kapalném, plynném, ale i výbušném prostředí. Uvolnění objektu manipulace poté probíhá podobně jako u jiných pasivních úchopných prvků, tedy například za pomoci dorazu.

Aktivní podtlakové manipulačními prvky využívají k uchopení objektu manipulace podtlak, který bývá vytvářen za pomoci vývěvy nebo ejektoru. Ejektor je tryskové zařízení sloužící k odsávání nebo čerpání, jeho pohon je zajišťován proudem plynu, vody či páry. Na jeden ejektor lze připojit jednu, ale i více podtlakových komor. Nevýhodou použití ejektoru je nadměrná spotřeba stlačeného vzduchu, využívají se tedy převážně pro menší konstrukce. Při využití vývěv bývá na společné odsávací vedení připojeno více podtlakových komor. Nevýhodou využití vývěv je jejich vyšší cena. Tato řešení se využívají například k manipulaci s balenými potravinami, krabicemi, plechy a podobně.



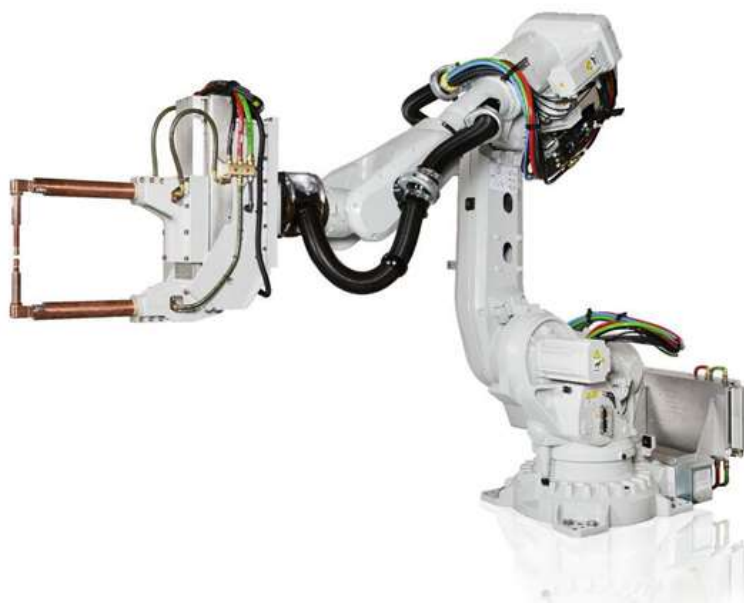
Obr. 9) Koncový efektor manipulační podtlakový [13]

3.2.2 Další typy koncových efektorů

Kromě manipulace mohou být koncové efektorů určené i k jiným specifickým funkcím, k jejichž vykonávání jsou speciálně konstruovány. Kromě energetických přívodů, které u manipulačních koncových efektorů mohou zajišťovat například pohyb čelistí, bývají vybaveny takzvanými pomocnými, nebo technologickými přívody. u svařecích kleští se může jednat například o přívod elektrického proudu a chladicí vodu. v případě stříkací hlavičky pak přivádíme k tryskám stlačený vzduch a barvu. Přítomnost dalších přívodů však může omezovat pohyby robotu včetně koncového efektoru.

Technologické koncové efektorů

Jak napovídá název, jedná se o hlavičky konstruované k provedení požadované technologické operace za pomoci daného nástroje, či celého systému nástrojů. Technologických efektorů existuje nespočet a lze je využít například pro svařování, jak švové, tak i bodové. Toho bývá hojně využíváno například v automobilkách, kde roboty se svařovacími kleštěmi svařují karoserie aut.



Obr. 10) Robot vybavený kleštěmi pro bodové svařování [14]

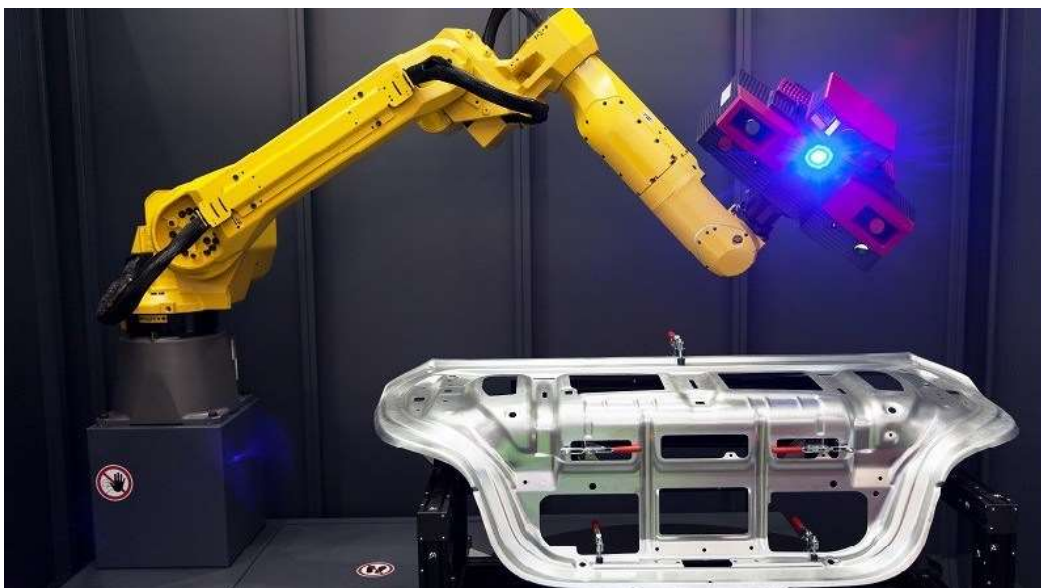
Technologické koncové efekty bývají často používány pro lakovací aplikace, kde jsou využívány pro automatizované nanášení nátěrových hmot. Příkladem může být spolupráce společností KUKA a Dürr, nazvané ready2_spray. Dále se lze v různých oblastech průmyslu setkat i s hlavicemi navrženými pro lepení, obrábění materiálu a další.



Obr. 11) Ready2_spray [15]

Koncové efekty kontrolní a měřicí

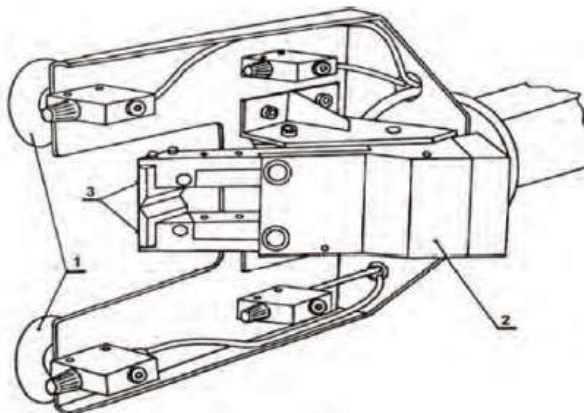
Hlavice jsou vybaveny čidly pro snímání požadovaných veličin. Může se jednat například o jednoduchý úkon, jako je například kontrola tloušťky stěny trubky. Moderní hlavice, sloužící ke kontrole jakosti výrobku, jsou vybaveny kamerou, která pořizuje snímky, jež jsou analyzovány systémem strojového vidění. Pomocí takového systému lze vyhodnotit kvantitativní (rozměry), či kvalitativní (úchylnka tvaru) znaky kvality.



Obr. 12) Měření pomocí robotu

Kombinované koncové efekторы

Spočívají v kombinaci více hlavice do jedné konstrukce, která umí provést více funkcí. Většinou se jedná o jednoúčelové hlavice konstruované na míru pro danou operaci. Příkladem může být efektor kombinující úchopnou a technologickou funkci.



Obr. 13) Kombinovaný koncový efektor [1]

3.2.3 Trendy v oblasti uchopovačů

Robotická ruka Schunk SVH

Výrobce se pokusil co nejvěrněji napodobit nejsofistikovanější úchopný systém, tedy lidskou ruku. Vznikla tak antropomorfní robotická pětiprstá ruka s označením SVH, která se co do schopnosti úchopu lidské ruce vyrovná. Sestává z pohyblivých dílů a celkem devíti pohonů. Pro spolehlivé uchopení objektů manipulace je ruka vybavena elastickými uchopovacími plochami. Veškerá elektronika je kompletně integrována v oblasti zápěstí. Oblast využití v praxi je však limitována nedostatečným krytím pro průmyslové prostředí. Mohlo by tedy snadno dojít k poškození vlivem různých emulzí, či kovového prachu. Prozatím je tedy největší využití ruky SVH u vývojářů elektrosoučástek a v oblasti výzkumu. Výhodou použití, je kromě širokého množství uchopovacích operací i možnost komunikace mezi člověkem a robotem pomocí gestikulace.



Obr. 14) Schunk SVH [19]

Gecko gripper

Technologie inspirovaná přírodní říší, konkrétně pak gekony, byla původně vyvinuta v laboratořích NASA za účelem sběru nefungujících satelitů a jiného vesmírného odpadu. Nyní dochází k jejímu využití právě v oblasti uchopovací techniky. Princip spočívá v tom, že k povrchu uchopovaného předmětu přilnou díky van der Waalsovým silám miliony stvolů tvořených z mikrovláken. Uvolnění předmětu manipulace pak probíhá jednoduše nakloněním plochy uchopovače, protože vlivem oddálení povrchů dochází k zániku síly. Gecko gripper, dánské firmy OnRobot, dokáže bezpečně uchopit ploché a hladké předměty s hmotností až 6,5 kg. Problém pro něho nejsou ani děrované či porézní výrobky. Mezi hlavní výhody tohoto koncového efektoru patří to, že po sobě nezanechává žádný otisk, není tedy nutné dodatečné čištění povrchu. Další výhodou je pak to, že pro provoz není potřeba žádný přívod energie, což vede k možným úsporám. Příkladem aplikace pak může být manipulace s deskami plošných spojů, či solárními panely.



Obr. 15) Gecko Gripper [20]

3.3 CNC obráběcí stroje

Zkratka CNC pochází z anglického computer numerical control, což ve volném překladu do češtiny znamená, že stroj je číslicově řízený pomocí počítače. Stroj tedy využívá počítače s CNC řídicím systémem k tomu, aby obrobil součást podle předem sestaveného technologického NC programu. Charakteristickým znakem CNC strojů je též přítomnost automatických systémů sloužících k výměnám nástrojů nebo obrobků, odvodu třísek z pracovního prostoru stroje nebo chlazení obráběcího procesu. Rozdělení CNC obráběcích strojů lze provést na tři základní skupiny, a to sice na stroje soustružnické, frézovací a multifunkční.

3.3.1 CNC soustružnické stroje

Základní charakteristikou soustružení je, že hlavní pohyb je vykonáván rotujícím obrobkem a nástroj je posouván proti obrobku. Charakteristickými příklady soustružnických CNC strojů jsou vertikální a horizontální soustruhy.

Horizontální CNC soustružnické centrum

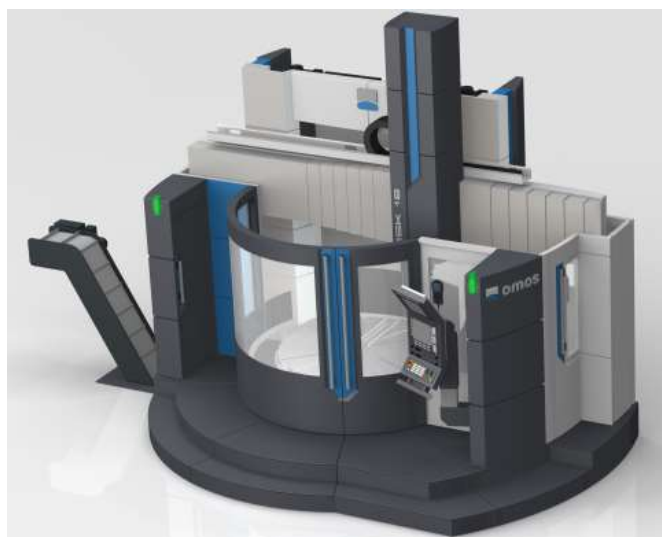
Jedná se o univerzální obráběcí stroj určený pro přesné soustružení rotačních součástí. Zcela běžně bývá vybaven automatickou výměnou nástrojů, například pomocí nástrojové hlavy obsahující 12 nástrojů. Mimo soustružnických nožů lze použít i naháněné rotační nástroje, což nám umožní i provádění mimostředných operací, jako je například osazení, mimostředné vrtání či frézování drážek. Koník bývá u těchto strojů manuální či taktéž programově řízený.



Obr. 16) Horizontální CNC soustruh [22]

Vertikální CNC soustruhy

Též označovány jako karusely, jsou stroje využívané k obrábění těžkých rotačních součástí většího průměru. Hlavní výhodou vodorovného upnutí je omezení deformací vlivem vlastní váhy obrobku. Podobně jako u horizontálního CNC soustruhu může nástrojová hlava karuselu obsahovat kromě soustružnických nožů i naháněné nástroje například pro frézování, vrtání či broušení.



Obr. 17) Vertikální CNC soustruh [23]

3.3.2 CNC frézovací stroje

Základní charakteristikou frézování je, že hlavní pohyb vykonává rotující nástroj, tedy fréza, která je posouvána proti statickému obrobku.

Vertikální CNC frézky

Jedná se o univerzální stroje určené převážně k obrábění obrobků menších rozměrů. Obrobky bývají upínány do svěráku, nebo přímo na stůl. Tyto stroje bývají vybaveny zásobníkem nástrojů a pomocí ramenového mechanismu dochází k jejich automatické výměně. Díky tomu jsou široce využitelné pro sériovou i kusovou výrobu. Často bývají konstrukčně řešeny jako rychlostní, což znamená využití rychlostních nástrojů s velkou rychlostí posuvu a menší hloubkou řezu, za účelem efektivního úběru materiálu.



Obr. 18) Vertikální CNC frézka [22]

Pětiosé CNC frézovací centrum

Jak označení napovídá, jsou vybaveny pěti pohyblivými osami. Ke klasickým třem osám X, Y a z jsou dodány další dvě navíc. Jedná se buď o otočný a sklopný stůl, nebo otočný stůl v kombinaci s kyvnou hlavou, případně o sklopnou a otočnou CNC řízenou hlavu. Díky pěti osám je možné obrobek obrábět z více stran a obrobit prakticky jakýkoli složitý tvar. u tohoto typu frézek bývá kladen velký důraz na přesnost, které je dosaženo za pomoci teplotních čidel, optických odměřovacích pravítek, tepelné klimatizace vřetena a robustní konstrukce lože a smykadla.



Obr. 19) Pětiosé CNC frézovací centrum [22]

3.3.3 Multifunkční CNC obráběcí stroje

V podstatě sdružují frézovací a soustružnické centrum do jednoho stroje. Různé druhy třískového obrábění mají přibližně stejné velikosti instalovaných výkonů. Nabízejí velkou kinematickou adaptabilitu v obrobku i nástroji, díky čemuž lze obrobit různé tvary obrobků na jedno upnutí. Konstrukčně je však ve většině případů možné rozeznat, ze kterého stroje se dominantně vychází. Jako příklad bude uvedeno multifunkční CNC obráběcí centrum, jehož konstrukce vychází ze soustružnického centra. Takovýto stroj bývá vybaven vřetenem, protivřetenem, zásobníkem pro výměnu nástrojů a jednou či dvěma kyvnými nástrojovými hlavami. Díky kyvným hlavám je možné frézovat tvarově složité plochy nebo soustružit komplikované tvary s měnící se geometrií soustružnického nože. Díl je možné z velké části obrobit v hlavním vřetenu a po přechycení do protivřetena obráběcí operace kompletně dokončit. Nabízí se také možnost souběžného obrábění dvou dílců na obou vřetenech, čímž dojde k velkému zvýšení produktivity.



Obr. 20) Multifunkční CNC obráběcí centrum [24]

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ÚLOHY

4.1 Definice úkolu a očekávání

Zákazník poptává plně automatizované pracoviště pro výrobu více variant kulových čepů, které budou využity na tyčkách stabilizátorů osobních automobilů. Jedná se o rozměrově i produkčně menší pracoviště s jedním robotem a jedním CNC obráběcím strojem. Dodávka polotovarů do prostoru pracoviště má být zajištěna automaticky, tedy zásobníkem. Pracoviště má obsahovat také zařízení pro vizuální kontrolu jakosti a automatický odchod hotových, a zkontrolovaných součástí na paletě. Polotovary přicházející do pracoviště jsou výkovky, zhotovené metodou zápusťkového kování. Úkolem pracoviště je u čepů, kde se závit vytváří technologií válcování, provést obrobení tvarových ploch ve středu čepu a předobrobit kulový konec před dokončením. u čepů, kde se závit soustruží, dojde k jeho zhotovení přímo v pracovišti. Společně se závitem jsou obrobeny i tvarové plochy v jeho středu. Čepy poté putují na další pracoviště, pokud ještě nemají závit tak je zhotoven, a poté jsou prováděny dokončovací operace.



Obr. 21) Tyčka stabilizátoru s kulovými čepy [26]

4.2 Požadavky zákazníka

Požadavkem zákazníka je, aby pracoviště dosahovalo výrobnosti nejméně jednoho čepu za časový úsek 35 sekund. Hodinová produkce navrhovaného pracoviště by tedy měla dosahovat minimálně 102 ks. v ideálním případě by pracoviště mohlo dosahovat ještě větší produktivity.

Prostorové požadavky zákazníka nejsou nijak zvlášť omezující, jelikož pracoviště má být umístěno v nově vznikajících výrobních prostorách. Zastavený prostor pracoviště by se měl vejít do vyhrazené plochy o rozměrech 5,2 x 3,6 m.

Pro projekt nebyl zákazníkem zadán požadovaný rozpočet. Zákazník bude posuzovat ekonomickou náročnost návrhu po jeho zhotovení. Požadavkem pro návrh, který výrazně sníží jeho cenu, je využití CNC stroje HAAS ST-10 a deskového zásobníku, které již zákazník vlastní a byly využívány v předešlých řešeních.

Posledním požadavkem zákazníka pak je, aby obrobené čepy opouštěly pracoviště ve speciálních paletkách, jejichž používání má zákazník již zaběhlé.

4.3 Porovnání vyráběných součástí

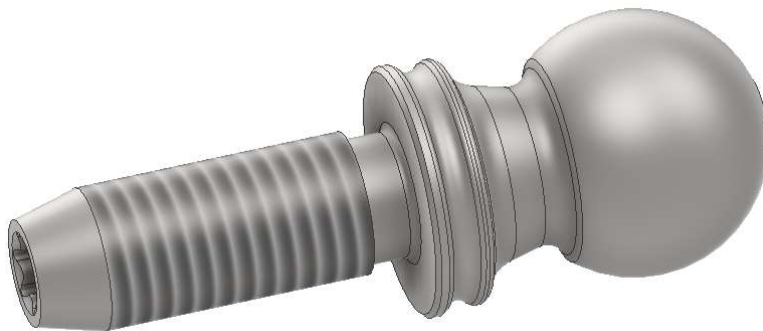
Pracoviště má produkovat tři různé varianty kulových čepů. Jednotlivé čepy jsou si tvarově podobné, rozměrově se však mírně liší. Všechny tři varianty jsou zhotoveny ze stejného materiálu označeného 42CrMoS4+QT (1.7227) dle EN 10083. Materiálové normy ho popisují takto:

Ocel legovaná Cr-Mo-S, ušlechtilá. Ocel se zlepšenou obrobiteľnosťou. Vhodná k zušlechťování, pro předvalky tvářené za tepla, válcované tyče, dráty, širokou ocel, plechy a pásy válcované za tepla, volné a zápusťkové výkovky. Na součásti s vysokou houževnatostí v automobilovém a leteckém průmyslu, např. klikové a pastorkové hřídele a ozubená kola vyráběná sériově třískovým obráběním. Konečný stav dodávky: zušlechťený, označení +QT. [27]

Hustota materiálu je $7,80 \text{ g/cm}^3$.

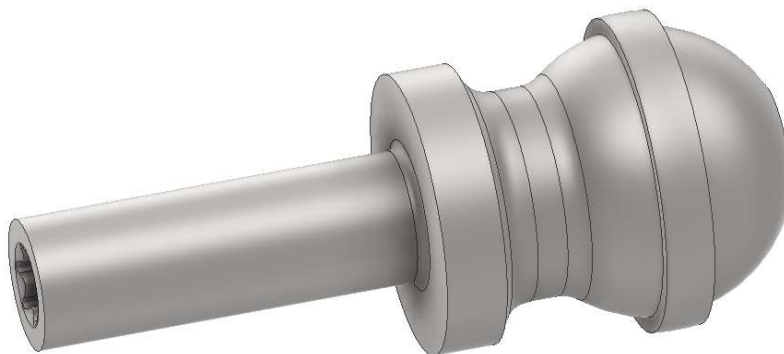
4.3.1 Čep ALFA

Čep s označením ALFA má hmotnost 89 g, jeho celková délka je 62,5 mm a kulová část na jeho konci má průměr 22 mm. Závit na tomto čepu je M12 se stoupáním 1,75 a třídou 6g. Ve spodní části se nachází vnitřní hexalobulární drážka velikosti 40 dle normy DIN EN ISO 10664.



Obr. 22) Čep ALFA

Polotovár, z něhož je zhotoven čep ALFA, má hmotnost 104 g, celková délka je stejná jako u konečného výrobku. Vystouplá část koule na jeho konci má průměr 26 mm. Závit na tomto typu čepu je vyráběn technologií válcování, proto je rozměr v závitové části větší u finálního výrobku než u polotovaru. Průměr části, na které má být zhotoven závit je 10,8 mm.



Obr. 23) Polotovár čepu ALFA

4.3.2 Čep BETA

Čep s označením BETA má nepatrně nižší hmotnost než ALFA, váží 88 g, jeho celková délka je však větší 72 mm a kulová část na jeho konci má průměr 23 mm. Závit na tomto čepu je M10 se stoupáním 1,5 a třídou 6g. Ve spodní části se opět nachází vnitřní hexalobulární drážka, dle normy DIN EN ISO 10664, tentokrát však velikosti 30.



Obr. 24) Čep BETA

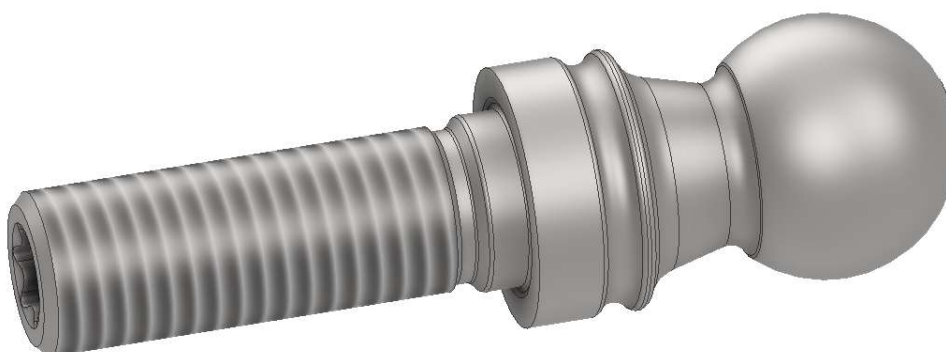
Polotovar pro čep BETA má hmotnost 146 g. Celková délka je stejná jako u konečného produktu a válcová plocha na jeho konci má průměr 25 mm. Závit je u tohoto typu soustružen, proto je v závitové části polotovaru přídavek materiálu na rozměr 14 mm.



Obr. 25) Polotovar čepu BETA

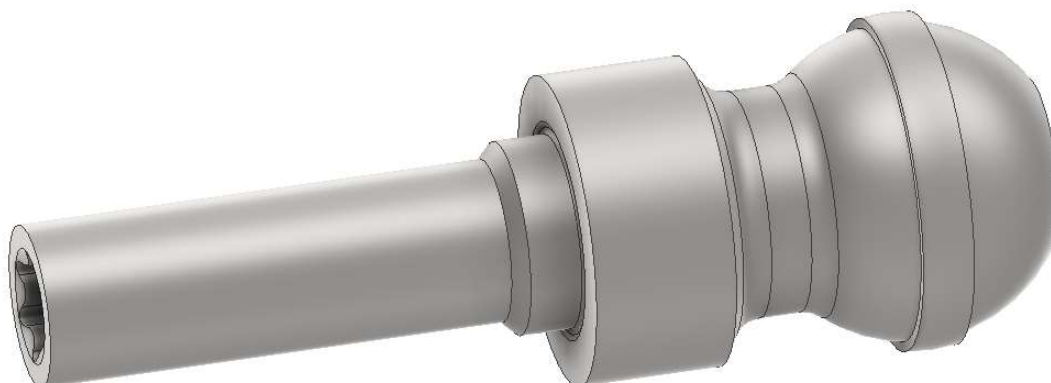
4.3.3 Čep GAMA

Čep s označením GAMA je z vyráběné trojice největší, má hmotnost 135 g, jeho celková délka je 79,3 mm a kulová část na jeho konci má průměr 22,3 mm. Závit na tomto čepu je M14 x 2 a třídou závitu 6g. Ve spodní části se také nachází vnitřní hexalobulární drážka velikosti 50, dle normy DIN EN ISO 10664.



Obr. 26) Čep GAMA

Polotovar pro výrobu čepu s označením GAMA má hmotnost 153 g. Celková délka je opět shodná s finálním výrobkem a vystouplá část kulové plochy na konci má průměr 26 mm. Závít je zhotoven technologií válcování z průměru 12,6 mm.



Obr. 27) Polotovar čepu GAMA

4.4 Příklad polotovarů do prostoru pracoviště

Prívod polotovarů určených k obrobení do pracoviště bude zajištěn pomocí kombinace zásobníku a manipulátoru.

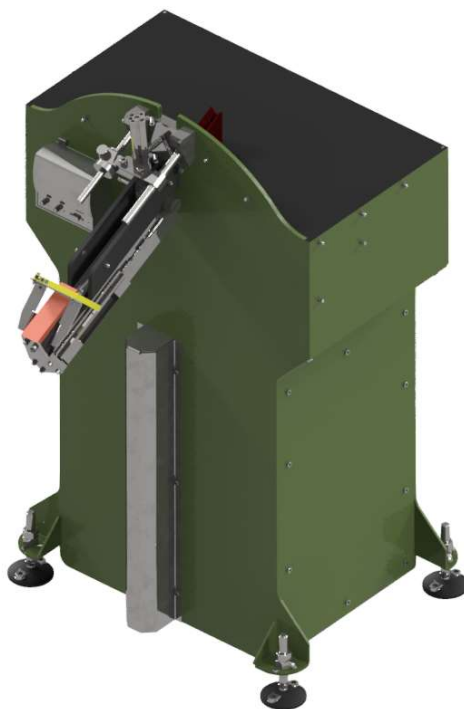
4.4.1 Zásobník

Zákazník požaduje při řešení využití deskového zásobníku. Konstrukce deskových zásobníků vychází z deskových dopravníků, které se běžně využívají v automatizované výrobě jako předzásobníky, případně jako kusové vynášecí dopravníky pro linky a pásové dopravníky. Tento typ zásobníků a dopravníků je vhodný zejména pro vysoce destruktivní díly. Příkladem mohou být šrouby, nebo různé výkovky a lisované díly. Pohon je ve většině případů elektrický nebo pneumatický.



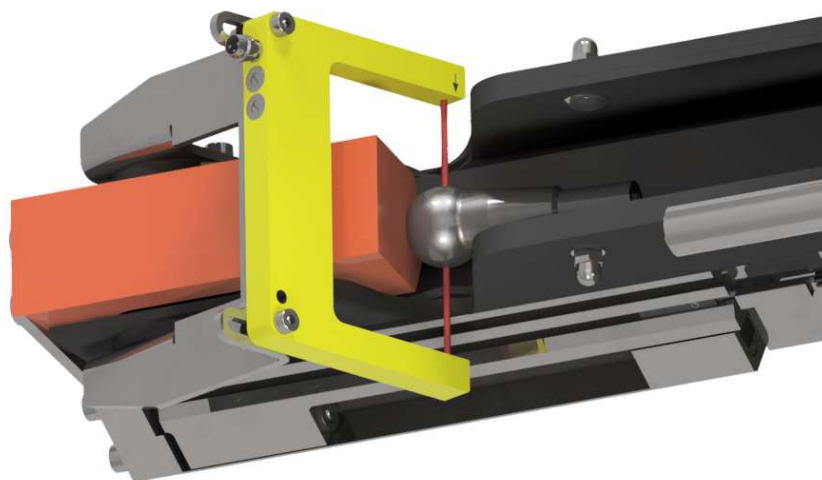
Obr. 28) Deskový dopravník [30]

Deskový zásobník pro toto konkrétní řešení je označován jako typ 06718 a je již ve vlastnictví zákazníka. Byl zakoupen od specializovaného externího dodavatele Balák s.r.o. Zařízení je určeno pro vstup a zásobu válcových obrobků délky 60-120 mm, dle korekční vložky a průměru od 18 do 36 mm. Zástavbová plocha je 0,5 x 0,7 m a výška je 1,1 m. Celková hmotnost zásobníku činí přibližně 100 kg. Pohon je zajištěný elektricky, přičemž napětí na motoru ojnice je 400 v a řídicí napětí je 24 V.



Obr. 29) Deskový zásobník

Polotovaru může být ze zásobníku podán napřed závitovou částí, nebo částí kulovou. To je třeba ošetřit z důvodu další manipulace, jelikož je třeba, aby byly výkovky uchopovány stále ve stejném místě. Toho lze docílit jednoduchým mechanismem, jež se skládá z lineárního elektrického servopohonu a vidlicového optického snímače a je zobrazen na obrázku 30. Princip spočívá v tom, že vidlicový optický snímač, na obrázku žlutý, vyhodnotí, zda je v prostoru určeném pro odebrání polotovaru kulová část, nebo část závitová. Pokud kulová, je vše v pořádku a může dojít k uchopení manipulátorem. Pokud je v daném prostoru však část závitová, dojde k posunu na obrázku oranžové zarážky díky pohybu lineárního pohonu a tím pádem i k posunu polotovaru. Elektrický servopohon je využit kvůli tomu, že pro každou variantu čepu, která může být dodávána zásobníkem, je třeba uskutečnit jiný posun, protože čepy mají různé délky. Po vykonání popsaného pohybu je v prostoru požadovaná kulová část výkovku.



Obr. 30) Podávání polotovaru zásobníkem

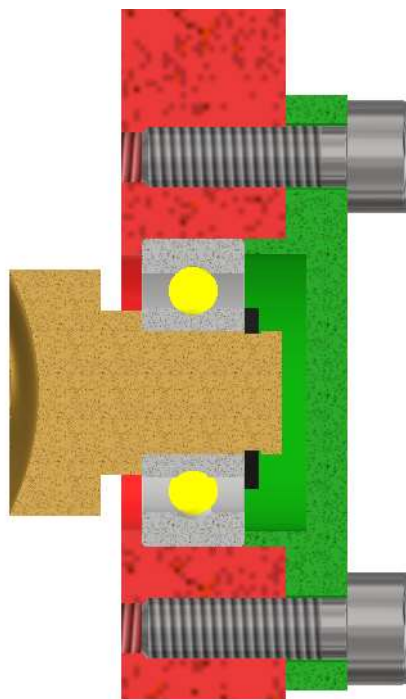
4.4.2 Manipulátor

Využití manipulátoru je nutné kvůli nedokonalým vlastnostem deskového zásobníku. Prvotním problémem je, že nemáme jistotu toho, že se podavači v prostoru násypky podaří vždy úspěšně vyzvednout polotovaru. Mohla by tedy nastat situace, kdy robot s uchopovačem nemá žádný polotovaru k založení do stroje, což by vedlo ke snížení produktivity. Dalším problémem je poté orientace polotovaru při výstupu ze zásobníku, jelikož není jasné, zdali vyjde napřed závitovou částí, či částí kulovou. Právě tyto dva problémy má za úkol manipulátor řešený na míru eliminovat.

Uchopení polotovaru manipulátorem je náročný proces. Je třeba, aby po odebrání ze zásobníku došlo k natočení celého výkovku do svislé polohy, v které je poté ukládán do lůžek pro odběr robotem. k pootočení by mělo dojít samovolně vlivem působení gravitační síly.

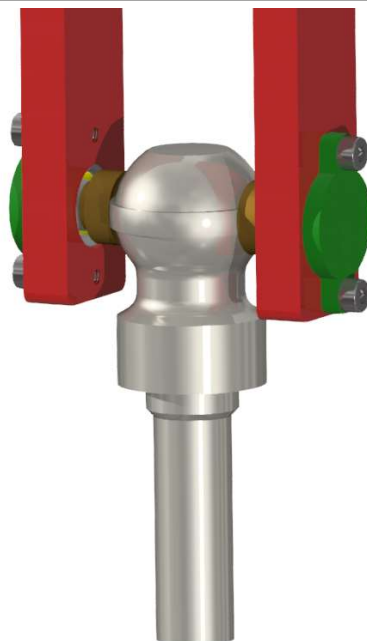
Varianta č.1, použití ložisek

Vzhledem k požadovanému pohybu polotovaru se nabízí využít v konstrukci prstu ložiska. Konkrétně bylo zvoleno kuličkové ložisko z katalogu firmy SKF s označením 619/6. Toto ložisko je v prstu axiálně pojištěno osazením a víkem. Do vnitřního kroužku je poté vložen kontakt, jehož hřídelka je zajištěna na jednom konci osazením a na druhém pojistným kroužkem. Navrhované uložení je dobře patrné v řezu prstem na obrázku 31.



Obr. 31) Řez prstem manipulátoru varianta č. 1

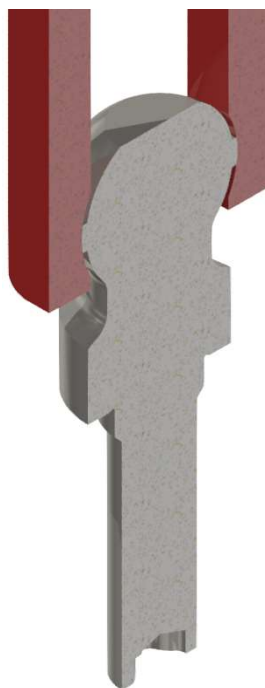
Konec kontaktu, který dosedá na uchopovaný čep, má kulové vybrání pro ideální dosednutí na všechny vyráběné varianty čepů. Kompletní první navržená konstrukce je vyobrazena na obrázku 32.



Obr. 32) Varianta č.1, použití ložisek

Varianta č.2, kulové vybrání

Druhou konstrukční variantou je prst s kulovým vybráním podobným tomu na kontaktu u první konstrukční varianty. Poloměr koule je 13 mm, což je rozměr společný pro všechny čepy. Pohled na uchopení čepu při použití prstů druhé varianty je zobrazen na obrázku 33, pro lepší znázornění tvaru prstu je vyobrazen v polovičním řezu.



Obr. 33) Poloviční řez variantou č.2

Varianta č.3, rovné prsty

Třetí a nejjednodušší konstrukční variantou jsou prsty obvykle rovné bez jakéhokoli vybrání. v tomto případě by tedy navrhované uchopení mohlo vypadat podobně jako na obrázku 34.



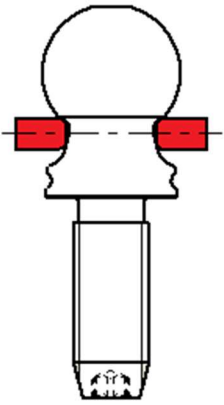
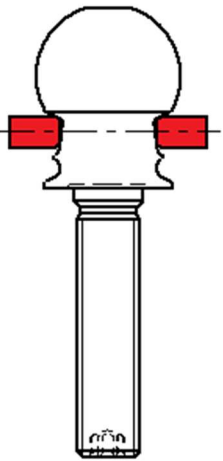
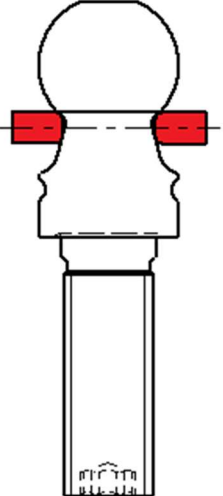
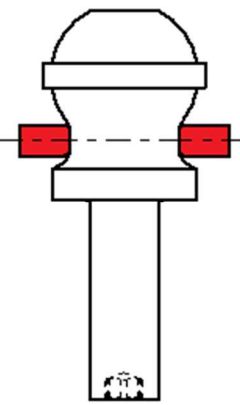
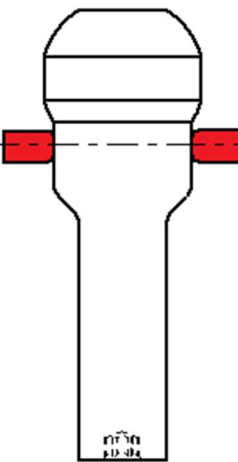
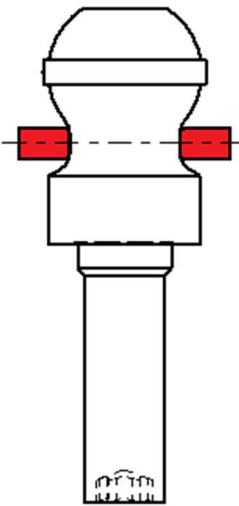
Obr. 34) Varianta č.3, rovné prsty

Volba nejvhodnějšího uchopení

Pro volbu nejvhodnějšího z uvedených způsobů uchopení je velmi důležitý fakt, že přímo v polovině kulových ploch u všech typů čepů je otřep, který vzniká při výrobě polotovaru metodou zápusťkového kování, a to vlivem přítomnosti dělicí roviny. Tento otřep pak může komplikovat požadovaný pohyb u prvních dvou konstrukčních řešení, kdy nedojde k požadovanému natočení čepu. Otřep také může zapříčinit i počáteční špatné uchopení. Další nežádoucí situace, která může nastat je, že kulové vybrání nebude přímo v ose s kulovou částí čepu. To také může zapříčinit nežádoucí vychýlení čepu. Třetí a nejjednodušší varianta, kde jsou stykové plochy prstů jednoduše rovné, se jeví jako nejlepší. u této varianty je naopak využit otřep, a díky dosednutí rovné plochy na nerovnost, dojde k požadovanému pootočení uchopeného polotovaru bez problémů. Rovné plochy také eliminují nebezpečí vzniklé vyosením. Následuje tedy jednoduché rozhodnutí, že pro uchopení součásti manipulátorem bude použita varianta číslo tři, tedy prsty s rovnou plochou.

4.5 Uchopení součástí při manipulaci robotem

Při prvotním pohledu na čepy jakožto objekty manipulace se nabízí uchopení za závitovou část, nebo část kulovou. To však není možné z důvodu upínání součástí do CNC stroje. Čepy s označením ALFA a GAMA jsou totiž v závitové části upínány do sklíčidla stroje, čep BETA je pak naopak upínán v kulové části z důvodu odlišné technologie výroby závitu a koncepce výroby. z toho vyplývá, že uchopení musí proběhnout z boku, aby bylo možné bezproblémově upnout všechny objekty. Je tedy třeba na všech typech čepu naleznout podobnou plochu vhodnou pro univerzální uchopení. Po zvážení uvedených požadavků se nabízejí uchopení znázorněná na následujícím obrázku.

Typ čepu	ALFA	BETA	GAMA
Obrobek			
Polotovár			

Obr. 35) Uchopení čepů

4.6 CNC obráběcí stroj

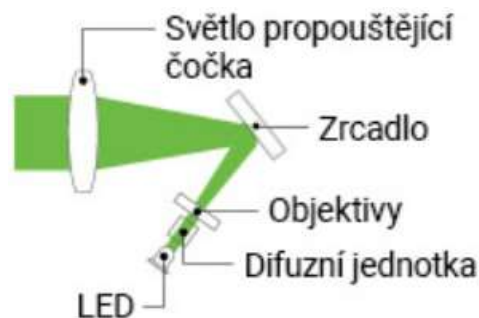
Výrobce požaduje využití obráběcího centra od výrobce HAAS s označením ST-10, který již má ve svém vlastnictví. Jedná se o CNC soustružnické centrum vybavené revolverovou nástrojovou hlavou s dvanácti stanicemi pro nástroje. Vřetenou stroje může dosahovat až 6000 otáček za minutu a celkový výkon stroje je pak 15 koňských sil, což odpovídá přibližně 11 kW. Stroj je dále vybaven automatickými dveřmi, dopravníkem pro odvod třísek a okruhem pro chladicí kapalinu. Upínání obrobků je zajištěné pomocí hydraulického sklíčidla. Stroj se může pyšnit extra malým půdorysem oproti podobným strojům.



Obr. 36) HAAS ST-1 [32]

4.7 Výstupní kontrola

K ověření, zdali výrobky produkované navrhovaným pracovištěm mají požadovanou jakost, je třeba zařadit stanoviště výstupní kontroly. Kontrola by měla po jednoduchém upnutí měřené součásti proběhnout velmi rychle. Právě z tohoto důvodu bude využit vysokorychlostní optický 2D mikrometr řady TM-3000 od výrobce KEYENCE. Princip tohoto měřidla spočívá na jednotném kolimovaném osvětlení zajištěném zeleným LED světlem. Pomocí 2D senzoru CMOS jsou pak detekovány hrany výrobku z dopadajícího světla a provedeno měření. Hlavní výhodou tohoto systému s průchozím paprskem, který není nijak ovlivňován světlem z okolí, je opakovatelnost měření až $\pm 0,15 \mu\text{m}$. Schéma vysílače řady TM-3000 je vyobrazeno na obrázku.



Obr. 37) Schéma vysílače TM-3000 [33]

Práce systému ve dvou rozměrech umožňuje souběžné měření až 16 prvků a nabízí mnoho různých režimů měření. Jako příklad lze uvést měření vnějšího průměru, odsazení, šířky, úhlu, vzdálenosti hran či průsečíků, pozic, souřadnic, rozteče a poloměru či ovality. Měřicí systém dále disponuje funkcemi korekce pozice a korekcí sklonu.



Obr. 38) Řídicí jednotka TM-3001 [33]

4.8 Odchod obrobků z pracoviště

Pro odchod obrobených čepů z pracoviště má zákazník požadavek, aby výrobky byly rovnány do speciálních palet, které již používal u předchozího řešení. Jedná se o palety zhotovené z tvrzeného plastu. Pro každý druh čepu bude použita jiná paleta, základní tvary a rozměry však zůstávají u všech stejné, liší se pouze v lůžcích pro uložení výrobku, kdy jsou jednotlivé palety ideálně uzpůsobeny bezproblémovému uložení toho daného typu čepu. Je tedy potřeba zkonstruovat zařízení, do kterého budou vstupovat prázdné palety a ven budou vystupovat palety plné. Vhodnou vlastností by byla též určitá samočinnost, kdy bude vloženo více prázdných palet a následně se vyjme více palet plných. To přispěje snadnějšímu provozu pracoviště, kdy bude potřeba zásah obsluhy pouze jednou za další časový úsek.



Obr. 39) Paleta

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

5.1 Koncový efektor

Pro koncový efektor byla zpracována dvě podobná provedení, z nichž bude následně vybráno lépe vyhovující konstrukční řešení.


5.1.1 Konstrukční řešení č. 1

Chapadla

Prvotním krokem při návrhu koncového efektoru je výběr vhodného chapadla. Při výběru chapadla je třeba uvážit parametry tělesa, které má být uchopováno. Největší roli hraje hmotnost uchopovaného tělesa a jeho rozměry. z porovnání vyráběných součástí víme, že nejtěžší těleso, s nímž bude robot manipulovat, je polotovar pro výrobu čepu typu GAMA, jenž má hmotnost 153 g. Podle zvoleného místa úchopu dále víme, že budeme manipulovat s tělesy o průměrech v rozsahu 14 až 22 mm.

Rozhodneme-li, že v této konstrukční variantě využijeme paralelní chapadlo, tak lze určit, že pro potřebu uchopení všech požadovaných těles v určeném místě se čelisti budou muset rozevírat přibližně v rozsahu 14 až 23 mm. Tedy posuv na jednu čelist by měl být nejméně 4,5 mm. Podle uvedených parametrů bylo zvoleno chapadlo dodávané firmou Schunk s označením PGN-plus 64-1. Hlavní parametry tohoto chapadla jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1) Parametry chapadla PGN-plus 64-1 [19]

PGN-plus 64-1		Foto
Parametry		
Zdvih na jednu čelist	6 mm	
Hmotnost	0,28 kg	
Doporučená hmotnost obrobku	1,25 kg	
Provozní médium	stlačený vzduch	
Max. přípustná délka prstu	90 mm	
Zavírací síla	250 N	
Max. moment Mx	40 Nm	
Max. moment My	60 Nm	
Max. moment Mz	40 Nm	

Prsty varianta č. 1.1

Prsty chapadla jsou navrženy na míru pro dané řešení, v horní části je prizmatický úchop pro ideální uchopení všech variant čepů. Dotykové plochy, které jsou v kontaktu s objektem manipulace, mezi sebou svírají úhel 130°. Spodní část je poté navržena k dokonalému dosednutí na chapadlo. Materiál, z kterého jsou prsty zhotoveny, je dural. Uchopení objektu z temperované oceli prsty z duralu by nemělo nijak poškodit povrch obrobku. Není tedy nutné dělat speciální opatření, tím by mohla být například výroba prizmatického úchopu z odolného plastu. Montáž prstu na chapadlo je provedena pomocí dvou šroubů, přesnost montáže pak zajišťují středící pouzdra. Hmotnost prstu je 30 g a jeho celková délka je 70,25 mm.



Obr. 40) Prst varianta č. 1.1

Prsty varianta č. 1.2

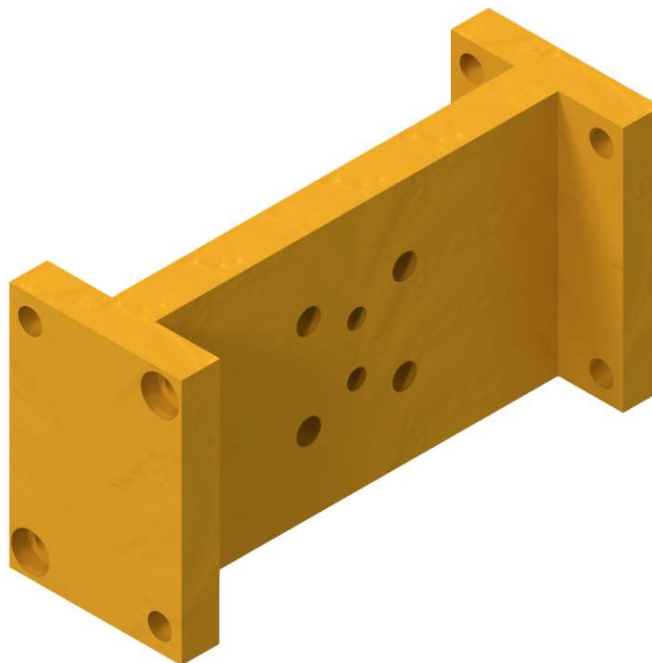
Druhá konstrukční varianta je řešena velmi podobně jako varianta první. Rozdílem však je, že jeden šroub pro montáž k chapadlu je zapuštěn přímo v tělu šroubu. Tato varianta je proveditelná a dojde k úspoře použitého materiálu. Technologické provedení je ale obtížnější, a to kvůli vrtání hluboké díry pro šroub. Bude tedy lépe využít variantu č. 1.



Obr. 41) Prst varianta č. 1.2 v řezu

Tělo

Tělo uchopovače je navrženo s důrazem na tvar a montáž chapadel. Rozměry části pro upnutí chapadla přesně kopírují jeho rozměry. Montáž chapadla je provedena čtyřmi šrouby a poloha je vymezena díky středícím pouzdrům. Díry ve střední části pak mají za úkol spojení těla s konzolou. To je zajištěno čtyřmi šrouby a dvěma kolíky. Tělo je na rozdíl od prstů vyráběno z konstrukční oceli a jeho hmotnost činí 523 g.



Obr. 42) Tělo uchopovače varianty č. 1

Příruba

Příruba slouží k připojení koncového efektoru na robot. Musí být tedy uzpůsobena konkrétnímu typu robotu. Ten však prozatím nelze konkrétně určit, vlivem toho, že neznáme celkovou hmotnost koncového efektoru. Lze však provést odhad, který typ by mohl pro tuto aplikaci vyhovovat, a dle toho přírubu navrhnout. k provedení odhadu budeme potřebovat znát přibližnou celkovou hmotnost koncového efektoru. Sečteme tedy hmotnosti již navrhnutých součástí, což je hmotnost prstu m_{pr} , hmotnost chapadla m_{ch} , hmotnost těla m_t a odhadneme hmotnosti příruby m_p , konzoly m_k , středícího kroužku m_{sk} a spojovacího materiálu m_{sm} . Rovněž je třeba zahrnout i hmotnost objektů manipulace, tedy čepů m_{ζ} . Při odhadu nesmíme zapomenout, že některé prvky jsou při konstrukci využity vícekrát.

$$m = 4 * m_{pr} + 2 * m_{ch} + m_t + m_p + m_k + m_{sk} + m_{sm} + 2 * m_{\zeta} \quad (5.1)$$

$$m = 4 * 29 + 2 * 280 + 523 + 250 + 700 + 20 + 200 + 2 * 153 = 2675 \text{ g} \quad (5.2)$$

Odhadovaná hmotnost koncového efektoru se blíží ke třem kilogramům. Nyní tedy může být provedena první volba robotu. Byl zvolen robot od firmy KUKA s označením KR 10 R1420, později bude provedena kontrola odhadu.

Příruba je konstruována pro bezproblémovou montáž na robot, k tomu slouží sedm vnitřních zapuštěných děr pro šrouby a jedna díra pro kolík. Vnější kruhové pole děr slouží k montáži konzoly, šest z nich má vnitřní závit a dvě jsou pro kolíky. Materiálem pro výrobu součástí je ocel a její celková hmotnost je 210 g.



Obr. 43) Příruba

Středící kroužek

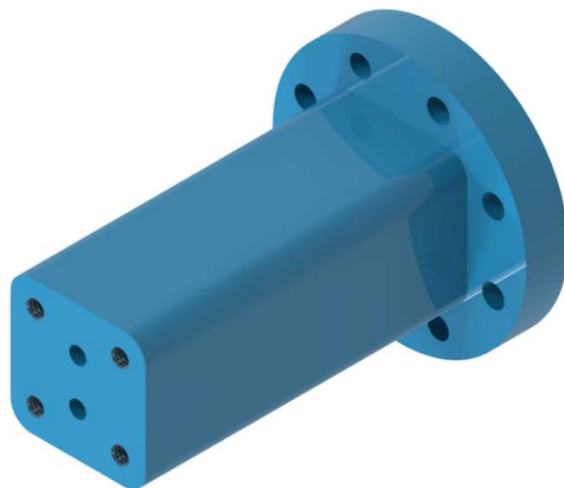
Středící kroužek má za úkol přesné vymezení polohy koncového efektoru na robotu. Je podobně jako příruba navrhován na míru zvolenému robotu. Materiálem pro výrobu součásti je ocel a celková hmotnost je 21 g.



Obr. 44) Středící kroužek

Konzola

Konzola slouží k propojení příruby a těla uchopovače. Materiálem pro výrobu součásti je konstrukční ocel a její hmotnost činí 786 g.




Obr. 45) Konzola

5.1.2 Konstrukční řešení č. 2

Chapadla

Pro druhou konstrukční variantu použijeme chapadlo úhlové. Bylo zvoleno chapadlo od firmy Schunk s označením PWG-plus 50, které by mělo bez problémů zvládnout manipulaci se všemi typy čepů. Hlavní parametry úhlového chapadla jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 2) Parametry chapadla PWG-plus 50 [19]

PWG-plus 50		Foto
Parametry		
Úhel otevření jedné čelisti	15°	
Úhel uzavření jedné čelisti až	3°	
Hmotnost	0,13 kg	
Doporučená hmotnost obrobku	0,4 kg	
Provozní médium	stlačený vzduch	
Max. přípustná délka prstu	64 mm	
Zavírací moment	3,32 Nm	
Max. moment Mx	13 Nm	
Max. moment Mz	15 Nm	

Prsty

Prsty jsou navrženy obdobně jako u první konstrukční varianty, s přihlédnutím na aktuálně zvolené chapadlo. Prst je vyroben z duralu a má hmotnost 27 g, jeho délka je 64 mm, tedy maximální přípustná.



Obr. 46) Prst varianta č. 2

Tělo

Koncepce konstrukce těla koncového efektoru je stejná, jediná změna je v přizpůsobení použitému úhlovému chapadlu. Materiálem je ocel a hmotnost součásti činí 438 g.



Obr. 47) Tělo varianta č. 2

Příruba, středící kroužek a konzola

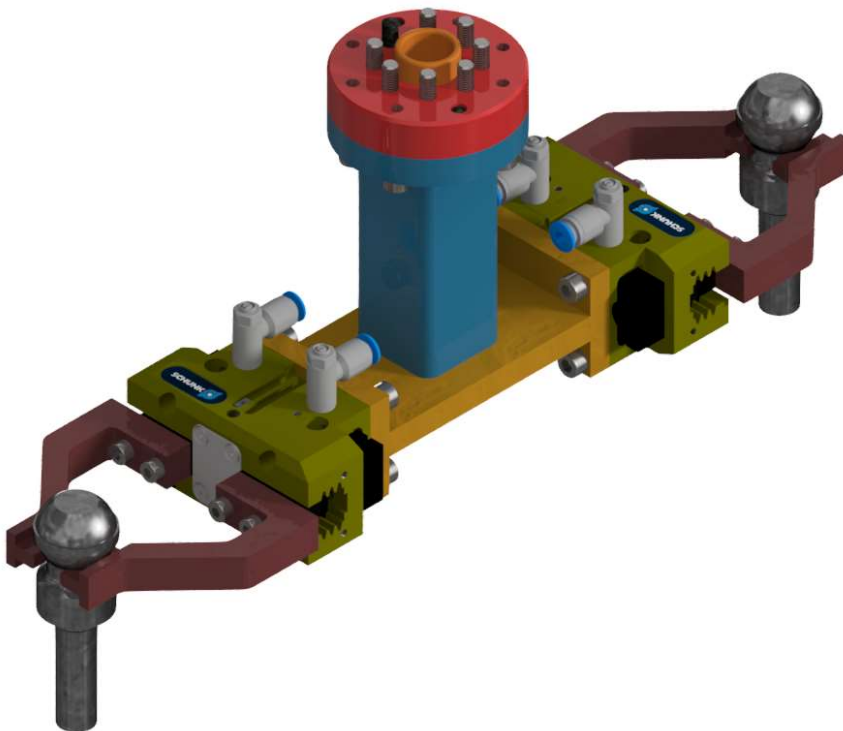
Příruba, středící kroužek a konzola jsou u obou konstrukčních návrhů shodné.

5.1.3 Porovnání a výběr optimální varianty

V momentě, kdy máme všechny potřebné konstrukční prvky navrženy, je čas zkompletovat jednotlivé sestavy koncových efektorů, porovnat jejich parametry a učinit rozhodnutí, která konstrukční varianta bude použita.

Konstrukční řešení č.1

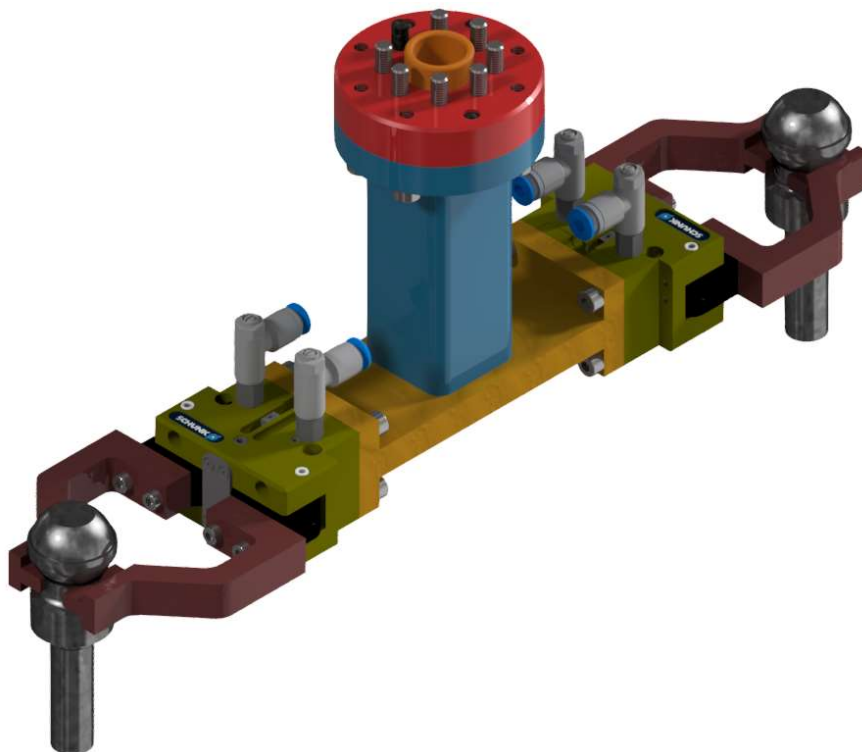
Po sestavení prvního konstrukčního řešení koncového efektoru zjistíme, že jeho reálná celková hmotnost je 2,741 kg.



Obr. 48) Uchopovač řešení č. 1

Konstrukční řešení č.2

Sestavením druhé konstrukční varianty též získáme její celkovou hmotnost, která činí 2,311 kg.



Obr. 49) Uchopovač řešení č. 2

Výběr optimální varianty

Jak je na první pohled jasné z porovnání hmotností konstrukčních řešení, druhé konstrukční řešení je lehčí, což může znamenat výhodu, protože robot nebude tolik zatěžován a zároveň dojde k úspoře nákladů na použité materiály. Vyšší hmotnost první varianty je zapříčiněna nepříliš vhodným použitým chapadlem. Jak lze totiž vyčíst z jeho parametrů, je paralelní chapadlo z důvodu požadovaného rozevření čelistí značně předimenzováno, tedy určeno pro objekty manipulace s vyšší hmotností. Naopak úhlové chapadlo využitě ve druhé konstrukční variantě se pro danou operaci hodí mnohem lépe a jeho parametry nejsou zbytečně překompenzované. Otevírání čelistí úhlového chapadla nůžkovým pohybem zajistí jednodušší nájezd do polohy uchopení, než u chapadla paralelního, kde není příliš prostoru mezi rozevřenými čelistmi a čepem. Všechna uvedená fakta tedy hovoří ve prospěch druhé konstrukční varianty, jež bude pro daný úkol použita.

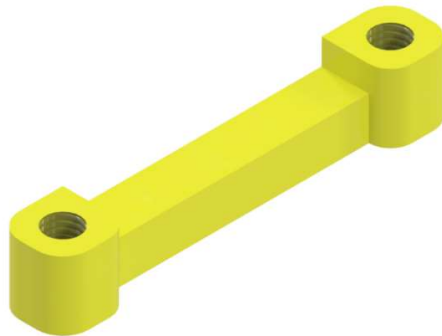
5.1.4 Ofuk chladící kapaliny

Z důvodu vzniku možných nepřesností při optické výstupní kontrole je vhodné na manipulátor přidat zařízení pro ofuk, jehož úkolem je výrobek zbavit nežádoucích špon a chladící kapaliny, které na něm mohly ulpět během obrábění. Je nutné provést návrh tak, aby nijak neomezoval pohyb chapadla. Hlavním prvkem konstrukce ofuku je kostka tvarovaná podle vrchní části chapadla. v kostce jsou zhotoveny díry s vnitřními závity pro úhlové šroubení s převlečnou maticí M-5HL z katalogu firmy SMC a trysky. Funkci trysek zde zastává šroubení s nátrubkem od výrobce FESTO s označením CRCN, jež se normálně používá jako spojovací prvek v pneumatických instalacích. k montáži pak slouží čtyři průchozí díry pro šrouby po stranách. Materiálem pro výrobu kostky je ocel a její hmotnost činí 89 g.



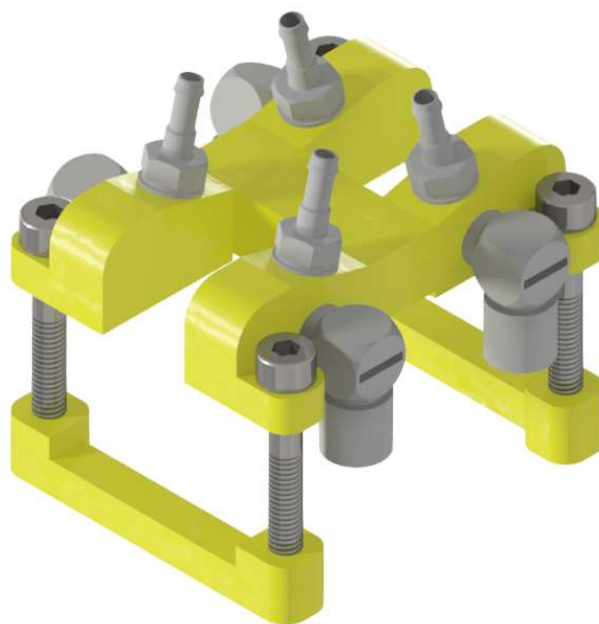
Obr. 50) Kostka ofuku

Montáž na chapadlo je zajištěna pomocí protikusů, které se zaklesnou za výstupek na těle chapadla a jsou spojeny s kostkou ofuku pomocí čtyř šroubů. Materiálem pro výrobu protikusu je také ocel a jeho hmotnost je 12 g.



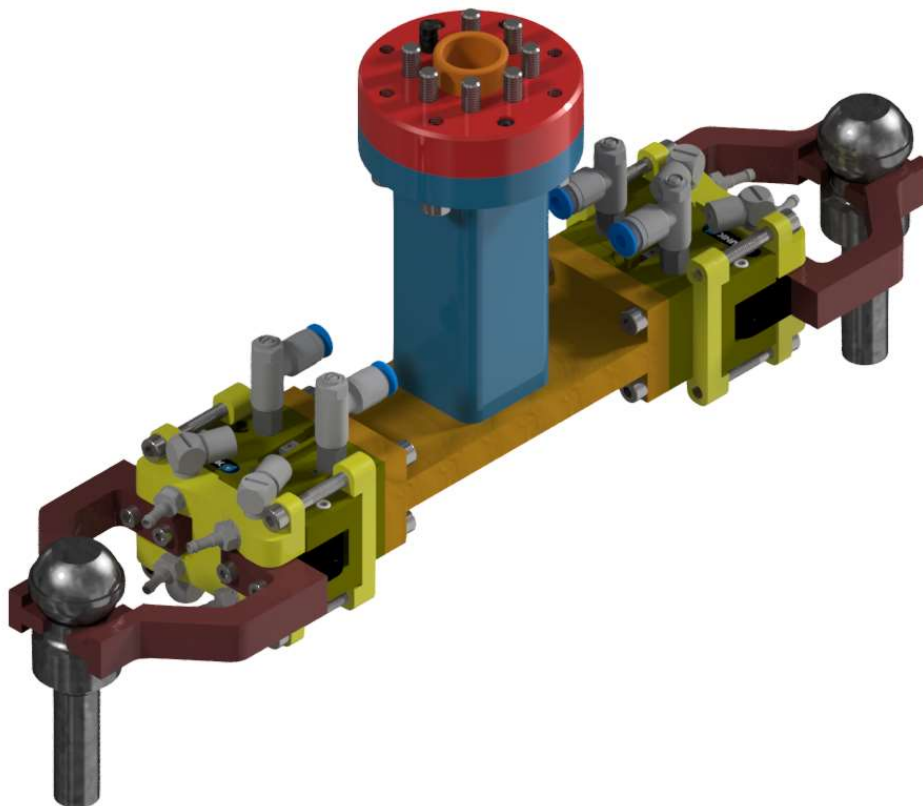
Obr. 51) Protikus kostky ofuku

Kompletní sestava ofuku obrobenej součásti je zobrazena na následujícím obrázku 52. Celková hmotnost sestavy je 157 g.



Obr. 52) Sestava ofuku

Kompletní sestava koncového efektoru vznikne montáží ofuku chladící kapaliny na zvolené konstrukční řešení uchopovače. Celková hmotnost koncového efektoru, jenž bude instalován na robot, je 2,625 kg.



Obr. 53) Koncový efektor

5.2 Robot

Když už je jasné, který konkrétní koncový efektor bude použit, můžeme definitivně určit, jaký robotový typ bude využit. Prvotní odhad, jímž byl robot od výrobce KUKA z produktové řady KR CYBERTECH nano s označením KR 10 R1420, se ukázal jako správný. Tato produktová řada robotů je optimalizována pro manipulace s malými díly, svařování v ochranné atmosféře, paletizační operace a montáž. Celková hmotnost užitého koncového efektoru i s vybavením pro ofuk a polotovary přesahuje 2,5 kg. Zvolený robot má uváděnou nosnost 10 kg a jeho maximální dosah je 1420 mm. Disponuje tedy určitou rezervou a pro dané řešení by bylo možné využít i robot s menší nosností. Mohl by ale nastat problém s jeho dosahem. Proto tedy v tomto řešení bude využit typ KR 10 R1420, který je vyobrazený na následujícím obrázku.



Obr. 54) KUKA KR 10 R1420

5.3 Manipulátor

Navrhovaná konstrukce manipulátoru se skládá z několika uzlů, jejichž návrh bude popsán v následujících podkapitolách.

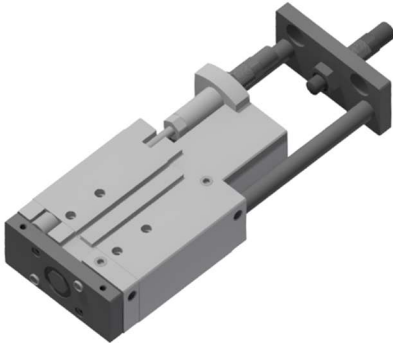

5.3.1 Pohony

Prvotním krokem při návrhu manipulátoru je analýza jeho pohybu. Je potřeba obsloužit tři různé pozice, odebrání polotovaru ze zásobníku a dvě různá odkladná místa, ve kterých bude docházet k odbírání robotem. Dalším krokem je volba typu pohonu. Jako nejjednodušší se jeví využití lineárních pneumotorů, neboli pneumatických válců. Pro dané řešení je třeba využít válce s vedením, konkrétně byly zvoleny válce s vodícími tyčemi. Obsluhu všech požadovaných poloh lze zajistit pomocí čtyř pohonů. Dva z nich se budou pohybovat v horizontálním směru, který označíme jako osu x a dva ve směru svislém, jež označíme osou y .

Pohony osy x

Jeden pohon s menším zdvihem bude v ose x zajišťovat najetí do dvou poloh pro uložení polotovaru a následné odebrání robotem. v kombinaci s druhým pohonem s větším zdvihem pak bude zajištěna poloha na ose x k odběru z deskového zásobníku. Pohon s menším zdvihem bude prvním v pořadí, proto je třeba volit robustnější pístnici. Byly zvoleny válce z katalogu výrobce FESTO, jejich podoba a hlavní parametry jsou uvedeny v následující tabulce.



Tab. 3) Pohony osy x [35]

Pohony osy x		
Označení	DFM-50-80-B-YSRW-A-KF	DFM-32-200-B-YSRW-A-KF
Průměr pístu [mm]	50	32
Zdvih [mm]	80	200
Řada	B	B
Tlumení	Tlumič nárazu	Tlumič nárazu
Vedení	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech
Vyobrazení		

Pohony osy y

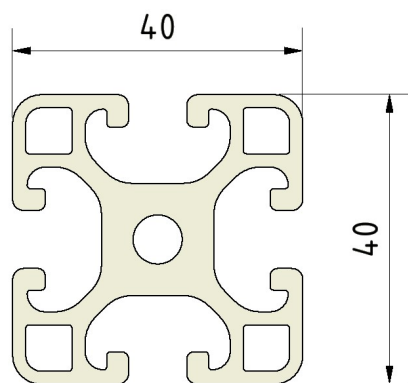
V ose y zajišťuje nejmenší válec obsluhu poloh pro odebrání polotovaru robotem, v kombinaci s druhým válcem, jež má větší průměr pístu a vůbec největší zdvih. Tento válec obsluhuje na ose y polohu, v níž dochází k odebrání polotovaru ze zásobníku. Použité pohony jsou vyobrazeny v následující tabulce.

Tab. 4) Pohony osy y [35]

Pohony osy y		
Označení	DFM-20-250-B-YSRW-A-KF	DFM-16-50-B-PPV-A-KF
Průměr pístu [mm]	20	16
Zdvih [mm]	250	50
Řada	B	B
Tlumení	Tlumič nárazu	Pneumatické tlumení
Vedení	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech
Vyobrazení		

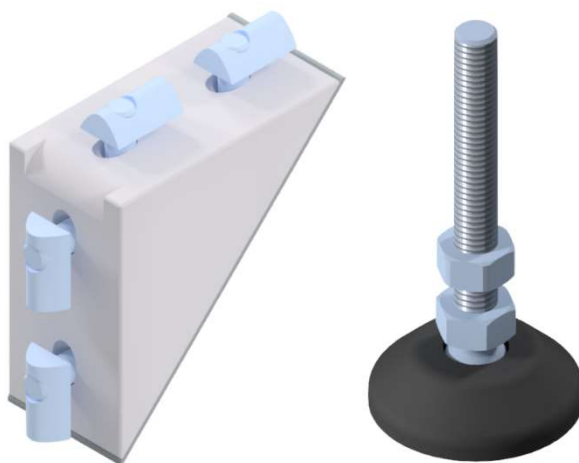
5.3.2 Stůl manipulátoru

Pro optimální funkci manipulátoru musí být jeho hlavní část ve vyvýšené poloze, proto je potřeba konstrukci umístit na podstavec či stůl. Pro toto řešení bude využít stůl skládající se z hliníkových profilů od firmy Item. Byl zvolen profil o rozměru 40 mm x 40 mm, jehož průřez je zobrazen na následujícím obrázku.



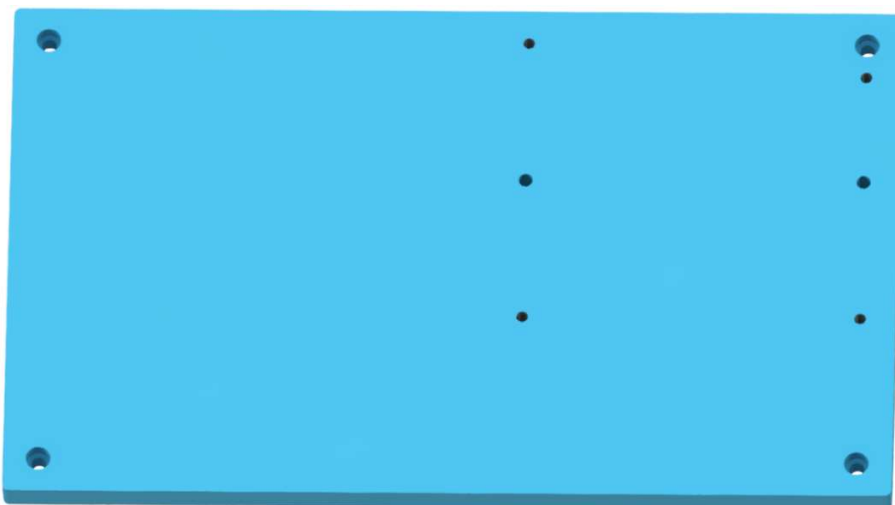
Obr. 55) Průřez profilu [36]

Dále byly z produktů firmy Item, pro konstrukci stolu využity úhlové spojky pro profily, které přímo zapadají do drážek na bocích profilu a nožky, které se šroubují do díry uprostřed. Díky nožkám je pak možné výškově ladit polohu manipulátoru.



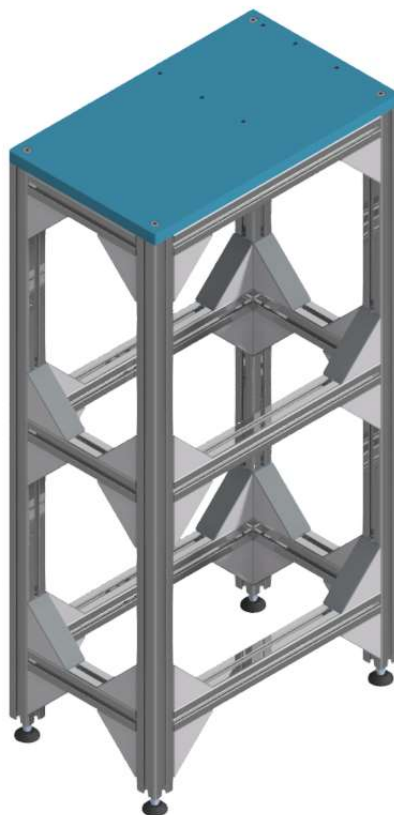
Obr. 56) Úhlová spojka a nožka

Deska stolu je rozměrově uzpůsobena konstrukci z hliníkových profilů. v rozích jsou vyvrtány čtyři díry sloužící pro připojení na stůl, další díry pak slouží k připojení těla manipulátoru. Čtyři jsou s vnitřním závitem pro šrouby, a dvě slouží pro kolíky k vymezení polohy. Materiál, z něhož je deska zhotovena, je ocel.



Obr. 57) Deska stolu manipulátoru

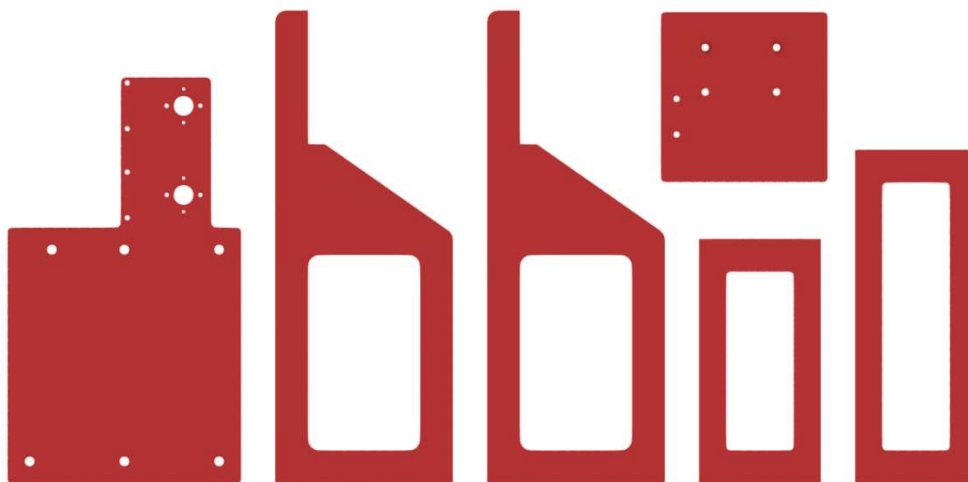
Sestava stolu manipulátoru se tedy skládá ze čtyř profilů o délce 980 mm (nohy), šesti profilů o délce 220 mm (vzpěry kratší), šesti profilů o délce 420 mm (vzpěry delší), čtyř nožek, čtyřiceti úhlových spojek a jedné desky. Kompletní sestava stolu je pak vyobrazena na dalším obrázku.



Obr. 58) Sestava stolu manipulátoru

5.3.3 Tělo manipulátoru

Tělo manipulátoru je montováno na stůl a na jeho vrchní část je poté instalován první ze série pneumatických válců. Ve spodní části těla se nachází prostor pro montáž prizmatických lůžek, do kterých jsou odkládány polotovary odebrané ze zásobníku. Konstrukce těla se skládá z šesti ocelových desek, které jsou spojeny metodou svařování.



Obr. 59) Desky těla

Hotový svařenec má pak podobu následující.



Obr. 60) Tělo manipulátoru

5.3.4 Prizmatická lůžka

Prizmatická lůžka slouží k uložení polotovarů v prostoru manipulátoru, odkud jsou následně odebírány robotem. k tělu manipulátoru jsou lůžka připojena pomocí čtyř šroubů. Materiálem pro výrobu součástí je ocel. Jsou navrženy dvě varianty prizmatických lůžek z důvodu různých tvarů ukládaných polotovarů. Při přechodu pracoviště na jiný typ vyráběného čepu je třeba použít prizmatická lůžka pro danou variantu.

Prizmatické lůžko varianta 1.

Je vhodné pro čepy ukládané na lůžko vodorovnou plochou osazení. Tedy pro typy ALFA a GAMA.



Obr. 61) Prizmatické lůžko varianta 1.

Prizmatické lůžko varianta 2.

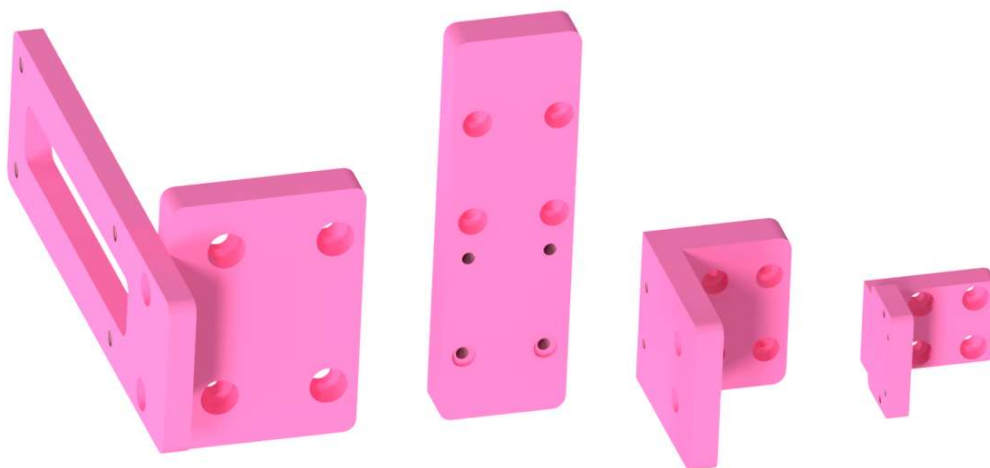
Navrženo speciálně pro typ čepu BETA, který se bude do lůžka ukládat skosenou plochou.



Obr. 62) Prizmatické lůžko varianta 2.

5.3.5 Spojovací součásti

Spojovací součásti jsou montovány na plochy výsuvu lineárních pneumotorů a slouží k připojení dalších válců v pořadí. Ke spojení s výsuvem se používají vždy čtyři šrouby. Přesné vymezení polohy zajišťují středící pouzdra. Pro montáž pneumatických válců se používají taktéž čtyři šrouby vedené skrz tělo válce, poloha montáže je vymezena výstupky, které jsou na tělech válců. Jednotlivé spojovací prvky jsou vyobrazeny na obrázku 63, přičemž je dodržena posloupnost, jak následují za sebou, na obrázku zleva doprava. Poslední spojovací část slouží k připojení chapadla. Aby bylo zamezeno nadměrnému namáhání jednotlivých válců, jsou všechny tyto součásti vyrobeny z duralu.




Obr. 63) Spojovací součásti

5.3.6 Chapadlo

Nyní je třeba znovu provést volbu chapadla. Protože bude polotovár uchopován za kulovou část na jeho konci, je vhodné zvolit chapadlo, které bude pro danou operaci nejlépe vyhovovat. Rozměry průměru kulové části se pohybují v rozpětí 22 až 23 mm. Nebude tedy zapotřebí příliš velkého posuvu na čelist chapadla. Volba byla opět provedena z katalogu výrobce Schunk

a bylo zvoleno chapadlo s označením PGN-plus 50-1, jehož parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5) Parametry chapadla PGN-plus 50-1 [19]

PGN-plus 50-1		Foto
Parametry		
Zdvih na jednu čelist	4 mm	
Hmotnost	0,17 kg	
Doporučená hmotnost obrobku	0,7 kg	
Provozní médium	stlačený vzduch	
Max. přípustná délka prstu	72 mm	
Zavírací síla	135 N	
Max. moment M_x	20 Nm	
Max. moment M_y	25 Nm	
Max. moment M_z	10 Nm	

5.3.7 Prsty

Konstrukce prstů je přizpůsobena tomu, aby mohlo bez problémů dojít k pootočení uchopeného polotovaru vlivem působení gravitační síly, jak bylo již dříve rozebráno. Právě z tohoto důvodu nejsou kontaktní plochy nijak speciálně tvarovány, ale jsou rovné. Spodní část prstu je uzpůsobena k bezproblémové montáži na chapadlo. Přesné připojení zajišťují dva šrouby se středíci pouzdry. Materiálem pro výrobu prstů je stejně jako u koncového efektoru pro robot dural.

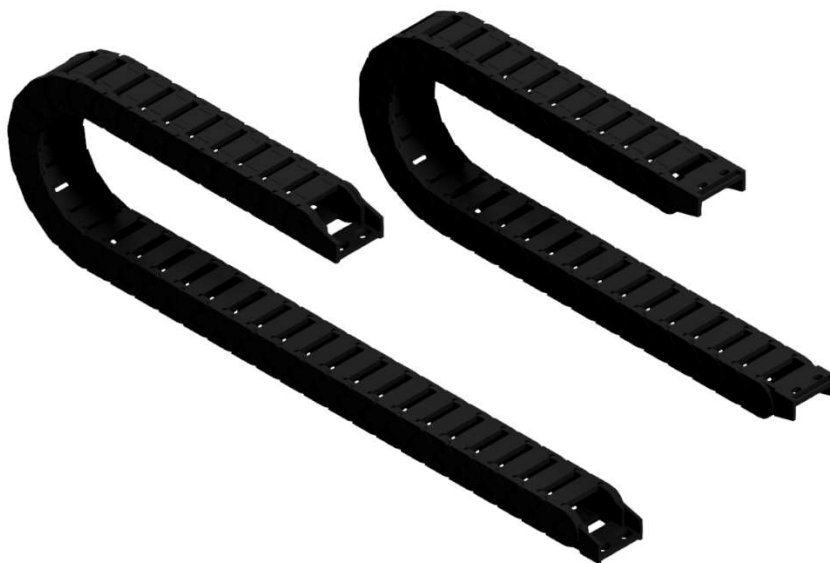


Obr. 64) Prst manipulátoru

5.3.8 Energetické řetězy

Pro bezpečné uložení všech pneumatických hadic a kabelů od sensoriky je třeba na manipulátor instalovat energetické řetězy. Zamezí se tak riziku nechtěného zachycení či utržení daného energetického přívodu. Dodavatelem energetických řetězů je například firma Hennlich, jejichž samonosné řetězy řady 255 budou při konstrukci manipulátoru využity. Energetické řetězy s označením E2 medium disponují vnitřní šířkou 38 mm, vnější šířka je pak 54,2 mm. Poloměr

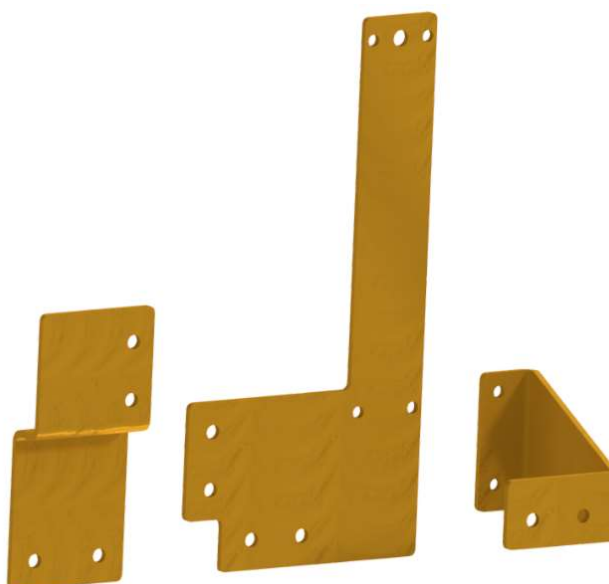
ohybu řetězu je 75 mm. Manipulátor bude vybaven dvěma řetězy o celkových délkách 925 mm a 1120 mm, v každé ose pohybu bude instalován jeden. Konce řetězů jsou osazeny vhodně orientovanými montážními konzolemi z pevného plastu.



Obr. 65) Energetické řetězy

Montáž řetězů

Pro montáž řetězů na manipulátor je třeba zkonstruovat vhodné držáky. Držáky jsou poměrně jednoduché součásti vyrobené z 3 mm tlustého ocelového plechu. Energetické řetězy jsou pak s držáky spojeny pomocí šroubu s maticí. První držák je spojen s tělem manipulátoru, zbytek k přichycení používá nevyužití díry k montáži pneumatických válců. Celkem jsou zhotoveny tři držáky, které jsou vyobrazeny podle pořadí na dalším obrázku 66 (zleva doprava). Na prostředním držáku jsou přichyceny oba řetězy.




Obr. 66) Držáky energetických řetězů

5.3.9 Snímače

Pro zajištění všech potřebných signálů k bezproblémovému chodu programu je manipulátor osazen snímači. Je vhodné snímat, zdali jsou prsty chapadla sevřené, či otevřené. k tomu poslouží dva indukční snímače, které jsou schopny detekovat s vysokou přesností všechny kovy. Zvolený indukční snímač je od výrobce Balluff a jeho označení a vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6) Indukční snímač [38]

BES02YR	
Rozměr	Ø 8 × 49 mm
Dosah	1,5 mm
Spínací výstup	PNP spínací kontakt
Spínací frekvence	2000 Hz
Provozní napětí	10 - 30 V DC
Foto	
	


Zvolené indukční snímače jsou instalovány do ocelového plechu, který je montován na stejnou spojovací součást jako chapadlo. Spojení je zajištěno dvěma šrouby, montážní plíšek je vyobrazen na obrázku 67.



Obr. 67) Montážní plíšek pro indukční snímače

Dále je vhodné zjišťovat přítomnost čepů na odkládacích místech, aby robot věděl, odkud může čep odebrat a manipulátor kam lze uložit další čep. To zajistí vidlicové optické závory zvolené z katalogu stejného výrobce jako indukčních snímačů. Parametry a označení zvolených závor jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7) Vidlicová optická závora [38]

BGL0016	
Rozměr	10 x 50 x 68 mm
Šířka vidlice	30 mm
Rozhraní	PNP spínací/rozpínací kontakt
Druh světla	LED červené světlo
Provozní napětí	10 - 30 V DC
Foto	
	

Zvolené optické závory jsou instalovány zespodu na tělo manipulátoru, kde při uložení čepu přeruší závoru jeho závitová část.

5.3.10 Sestava manipulátoru

Sestavením všech konstrukčních uzlů do jednoho celku získáme kompletní konstrukci dvouosého manipulátoru. Pro přívod stlačeného vzduchu do všech pneumatických zařízení jsou použity jednosměrné škrťací ventily GRLA od výrobce Festo. Celkové rozměry manipulátoru jsou 2010 mm na výšku, 731 mm na délku a 300 mm na šířku. Kompletní sestava manipulátoru je na obrázku 68.



Obr. 68) Manipulátor

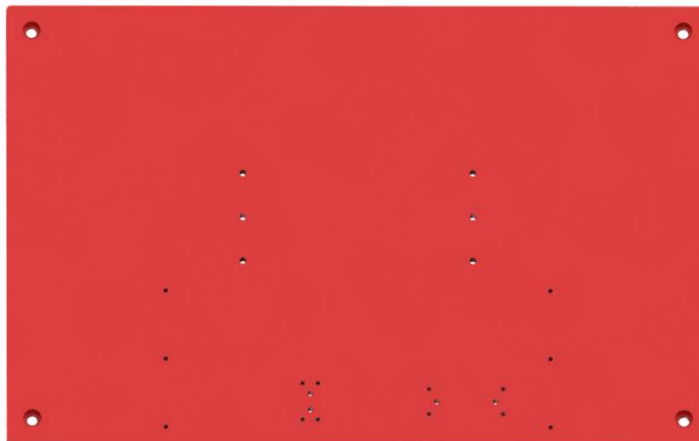
5.4 Výstupní kontrola

Návrh konstrukce stanoviště výstupní kontroly se podobně jako konstrukce manipulátoru sestává z několika konstrukčních uzlů, které budou popsány v následujících podkapitolách.

5.4.1 Stůl

Pro stůl stanoviště výstupní kontroly byly použity stejné nakupované prvky od výrobce ITEM jako pro stůl manipulátoru. Tedy hliníkové profily 40 x 40 mm, úhlové spojky a nožky. Na stůl

byla poté na míru navrhnutá ocelová horní deska, ve které jsou zhotovené díry pro šrouby a kolíky částí, jež na ní budou instalovány.



Obr. 69) Deska stolu kontroly

Celkově je stůl kontroly méně robustní oproti stolu manipulátoru, a to z důvodu, že na něm není instalována tak rozměrově i váhově rozsáhlá konstrukce. Sestava stolu kontroly se skládá ze čtyř profilů o délce 980 mm (nohy), čtyř profilů o délce 470 mm (vzpěry dlouhé), čtyř profilů o délce 270 mm (vzpěry krátké), šestnácti úhlových spojek, čtyř nožek a desky.




Obr. 70) Stůl výstupní kontroly

5.4.2 Měřicí prvky

Jak bylo již uvedeno, bude využit měřicí systém společnosti KEYENCE řady TM-3000, výrobce k tomuto systému nabízí tři velikosti hlavy senzoru s měřicími rozsahy o průměrech 6, 40 a 65 mm. Pro toto konkrétní řešení je vzhledem k velikostem čepu nejvhodnější největší nabízená hlava s označením TM-065, jejíž parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 8) Parametry hlavy senzoru TM-065 [33]

TM-065		Foto
Parametry		
Měřicí rozsah	ø65 mm	
Nejmenší detekovatelný objekt	0,5 mm	
Vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem	270 mm	
Zdroj světla	Zelená LED (InGaN)	
Přesnost měření	$\pm 3 \mu\text{m}$	
Opakovatelnost měření	$\pm 0.2 \mu\text{m}$	
Vzorkovací cyklus	5,5 ms	
Materiál krytu	Hliník	
Hmotnost	4,24 kg	

Na vysílač i přijímač jsou ještě dodatečně montovány ochranné skleněné kryty, které je chrání před poškozením. Kryty prodává výrobce pod označením OP-87036.



Obr. 71) Ochranný skleněný kryt [33]

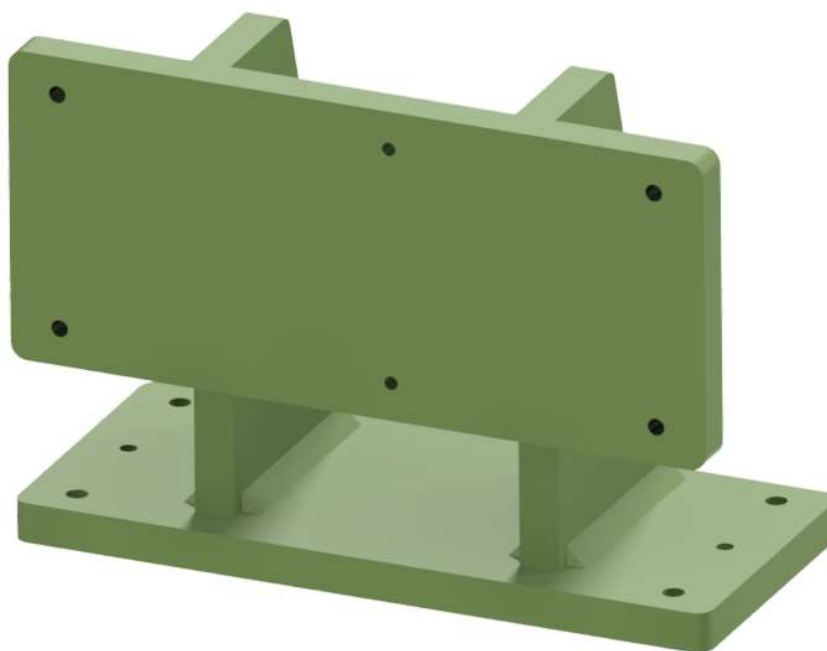
5.4.3 Tělo kontroly

V podstatě se jedná o konzolu pro montáž hlavy senzoru. Tělo kontroly se skládá ze čtyř desek, vrchní část je uzpůsobena montáži měřící hlavy, která je provedena pomocí čtyř šroubů a dvou kolíků. Spodní část slouží k montáži na stůl, ostatní části pak slouží jako propojení součástí již uvedených. Jednotlivé desky jsou vyobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 72) Desky těla kontroly

Stejně jako u těla manipulátoru jsou pak jednotlivé desky zhotovené z konstrukční oceli, nerozebíratelně spojeny pomocí metody svařování. Konečná podoba svařence těla je vyobrazena na dalším obrázku.



Obr. 73) Tělo kontroly

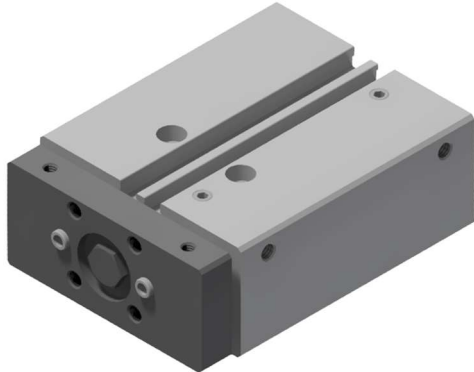
5.4.4 Upínací mechanismus

Za účelem nehybného upnutí obrobku při měření je stanice výstupní kontroly vybavena jednoduchým upínacím mechanismem, který se skládá z dále uváděných prvků.

Válec

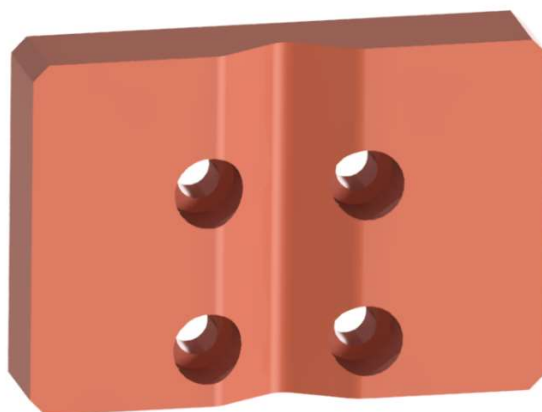
Pohyb celého mechanismu upnutí je zajištěn pohybem jednoho lineárního pneumotoru. Válec s označením DFM-16-20-B-P-A-KF byl opět vybrán z katalogu výrobce Festo a jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 9) Válec DFM-16-20-B-P-A-KF [35]

DFM-16-20-B-P-A-KF	
Průměr pístu	16 mm
Zdvih	20 mm
Řada	B
Tlumení	Pružné tlumící kroužky
Vedení	Vedení v kuličkových oběžných pouzdrech
Vyobrazení	

Prizmatické lůžko

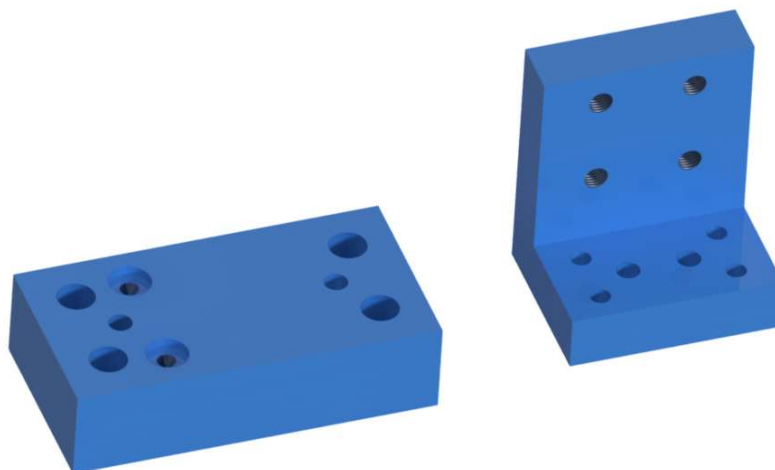
Prizmatické lůžko slouží přímo k upnutí obrobku čepu, je tedy tvarováno pro upnutí všech tří typů čepů. Konkrétně se jedná o drážku do tvaru v svírající úhel 120°. Díry pro montáž jsou tvarovány podle pneumatického válce. Montáž je prováděna pomocí čtyř šroubů a dvou středících pouzder s venkovním průměrem 5 mm. Materiálem pro výrobu lůžka je plast s označením Murylon od firmy Murdfeldt. Tento materiál byl zvolen za účelem zamezení poškození povrchu či deformace obrobeneho čepu. Výhodou oproti běžným plastům je vysoká odolnost proti opotřebení, dobré tlumení rázů a vysoká pevnost v tlaku. Stejně lůžko je použito i na nepohyblivém protikusu.



Obr. 74) Prizmatické lůžko

Spojovací součásti

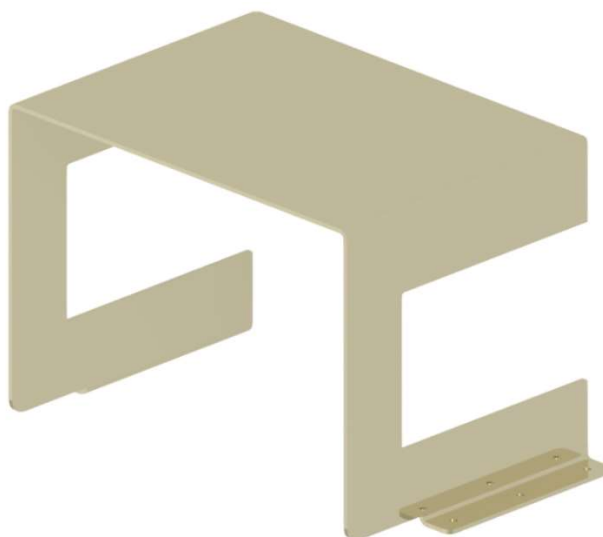
Posledními prvky upínacího mechanismu jsou takzvané spojovací součásti. Ty slouží k zajištění montáže dalších součástí. První z nich je instalována na stůl pomocí čtyř šroubů a dvou kolíků, poté je na ni dvěma šrouby namontován pneumatický válec. Druhá součást je taktéž přišroubována ke stolu a je na ni posléze montované prizmatické lůžko. Obě spojovací součásti vyráběné z oceli jsou vyobrazeny na obrázku.



Obr. 75) Spojovací součásti

5.4.5 Kryt

K zajištění bezchybného průběhu měření je konstrukce pro jistotu zakrytována krytem z ocelového plechu o tloušťce 3 mm i když podle informací od výrobce by okolní světlo na měření vliv mít nemělo.



Obr. 76) Kryt stanoviště kontroly

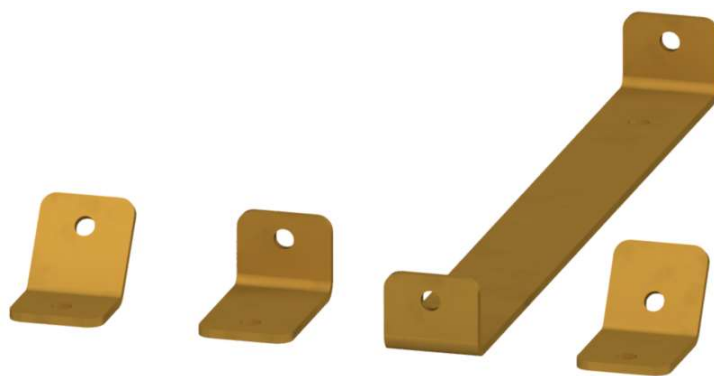
5.4.6 Skluz pro neshodné díly

Je-li při výstupní kontrole zjištěn na obrobeném čepu nějaký neduh, označujeme ho za neshodný díl neboli zmetek. Tento NOK díl musí být oddělen od správně obrobených kusů, a právě k tomu slouží skluz, který bude montován přímo na stůl kontroly. Neshodný kus bude robotem uložen na skluz a ten ho dopraví do předem připravené bedny pro zmetky. Jako skluz je použit ocelový plech ohnutý do v svírající úhel 90°, jenž je zobrazen na obrázku 77.



Obr. 77) Skluz pro NOK díly

Pro montáž na stůl kontroly jsou pak navrženy součásti, které jsou stejně jako skluz zhotoveny z ohýbaného plechu o tloušťce 3 mm.



Obr. 78) Součásti pro montáž skluzu

Spojení se stolem je zajištěno pomocí kamenů zapadajících do použitých hliníkových profilů. Kompletní sestava skluzu je vyobrazena na obrázku 79.



Obr. 79) Sestava skluzu pro zmetky

5.4.7 Sestava stanoviště kontroly

Sestavením všech dříve uvedených konstrukčních prvků získáme kompletní sestavu stanoviště výstupní kontroly. Pro přívod stlačeného vzduchu do pneumatického válce jsou opět použity ventily GRLA. Celkové rozměry stanoviště bez vyčnívajícího skluzu jsou 1232 x 550 x 427 mm.



Obr. 80) Stanoviště výstupní kontroly

5.5 Paletizace

Celkovou konstrukci paletizačního dopravníku je opět vhodné rozdělit na několik dílčích konstrukčních částí, které budou popsány v následujících podkapitolách.

5.5.1 Rám

Pro konstrukci rámu byly opět využity produkty firmy Item a to sice hliníkový profil 40 x 40 mm, nožky, krytky na čelo profilu a úhlové spojky. Úhlové spojky jsou však menší než ty, jež byly použity při konstrukci stolů manipulátoru a výstupní kontroly. Jelikož je stanoviště paletizace poměrně rozsáhlé, je rám složen z velkého množství součástí. Ke konstrukci rámu je zapotřebí 27 profilů (6 x 408 mm, 3 x 488 mm, 8 x 900 mm, 6 x 950 mm, 4 x 1500 mm), 12 krytek na čela profilů, 6 nožek a 72 úhlových spojek. Sestavený rám je na obrázku 81.



Obr. 81) Rám paletizace

5.5.2 Horní skluz


Horní skluz slouží k zakládání palet do paletizačního dopravníku a jejich dopravě do pracovního prostoru, kde jsou do nich ukládány obrobené součásti. Konstrukce je opět provedena z hliníkových profilů a jejich příslušenství. Pro zajištění bezproblémového pohybu palety po skluzu je osazen kolejničkami s valivými elementy a bočním vedením, které brání paletě ve vychýlení. Tyto kolejničky jsou instalovány pomocí speciálně tvarovaných lišt a dvou šroubů do drážek profilů a jsou dalším příslušenstvím, které firma Item nabízí ke svým profilům.



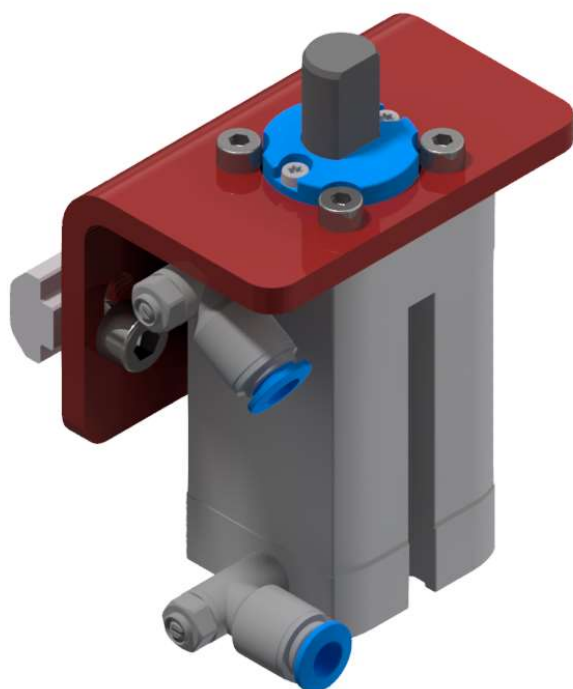
Obr. 82) Kolečníčka s valivými elementy

Dále je třeba zajistit dávkování palet do pracovního prostoru. k tomu poslouží dva zarážkové mechanismy, jejichž hlavním prvkem je pneumatický zarážkový válec DFSP od výrobce Festo, jehož vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 10) Válec DFSP-Q-20-15-DS-PA [35]

DFSP-Q-20-15-DS-PA	
Průměr pístu	20 mm
Zdvih	15 mm
Funkce	Dvojitý
Tlumení	Pružné tlumicí kroužky
Pístnice	S pojištěním proti pootočení
Vyobrazení	

Válec je montován na plechový držák, který je poté pomocí lišty do drážky a šroubů spojen s hliníkovým profilem. Pro připojení stlačeného vzduchu do válce jsou použity ventily GRLA. Sestava zarážkového mechanismu palet je zobrazena na obrázku 82.



Obr. 83) Mechanismus dávkování palet

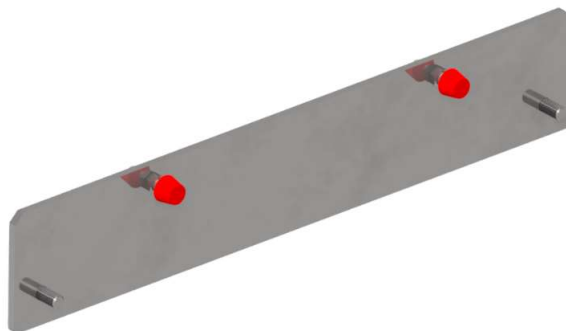
Celková sestava horního skluzu obsahuje 2 x profil o délce 1360 mm, 3 x profil o délce 328, 8 úhlových spojek, 4 krytky na čela profilů, 32 kolejniček s valivými elementy a 2x mechanismus dávkování palet. Přičemž jeden zarážkový mechanismus má na starosti spuštění palety na pracovní stůl, zatímco druhý drží zbylé palety na místě.



Obr. 84) Horní skluz

5.5.3 Spodní skluz

Spodní skluz, jehož úkolem je odvádět plné palety z pracovního prostoru stanice paletizace je koncipován podobně jako skluz horní. Rozdílem však je, že se zde nenachází mechanismus dávkování palet, ale zarážky, které brání paletám v opuštění dopravníku. Jsou použity zarážky s neoprenovou hlavičkou, které pod označením 215208-M distribuuje výrobce upínací techniky Destaco. Zarážky jsou instalovány do plechového čela, které je montováno do závitů zhotovených v díře uprostřed hliníkového profilu, to je zobrazeno na obrázku 85.



Obr. 85) Čelo se zarážkami

Spodní skluz tedy tvoří 2 x profil o délce 1520 mm, 3 x profil o délce 328 mm, 8x úhlová spojka, 2 x krytka čela profilu, 38 x kolejnička a čelo se zarážkami.



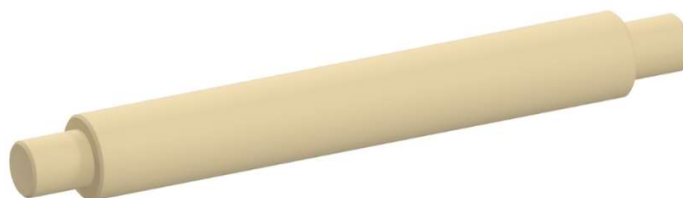
Obr. 86) Spodní skluz

5.5.4 Pohyblivý pracovní stůl

Pohyblivý stůl je bezesporu nejsložitějším konstrukčním uzlem celého stanoviště paletizace. Je totiž třeba zajistit možnost pohybu stolu, vymezení polohy palety a připojení mechanismu pohybu.

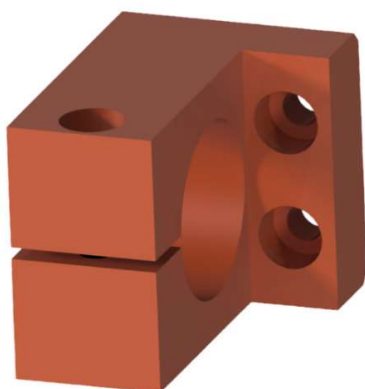
Umožnění pohybu stolu

Pohyblivý stůl se bude celý kyvně pohybovat, je tedy třeba na jednom jeho konci navrhnout kyvný mechanismus podobný svou funkcí pantu u dveří. Bude využita hřídel, jenž bude pevně spojena s rámem a na ni bude v kluzných ložiscích připevněn samotný stůl. Hřídel je vyroben z oceli a pro zajištění axiální polohy stolu jsou na obou jejích koncích osazení.



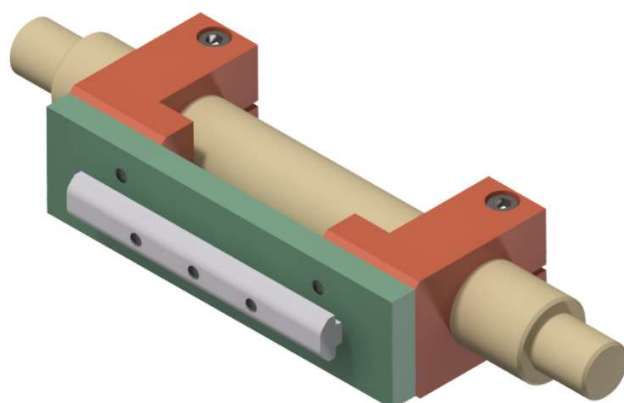
Obr. 87) Hřídel

Hřídel je s rámem nepohyblivě spojena pomocí svěrných součástí, kde je sevření zajištěno dotažením šroubu. Svěrné součásti jsou navrženy dvě, na každou stranu hřídele jedna a jsou zrcadlově stejné, obě jsou vyrobeny z oceli.



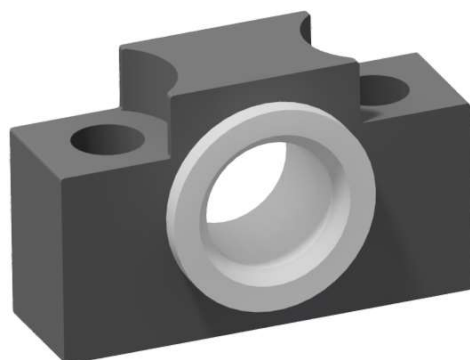
Obr. 88) Svěrná součást

Svěrné součásti jsou instalovány na plechovou desku, která je pomocí šroubů a speciálně tvarované lišty instalována do drážky aluminiového profilu, jak je vyobrazeno na obrázku.



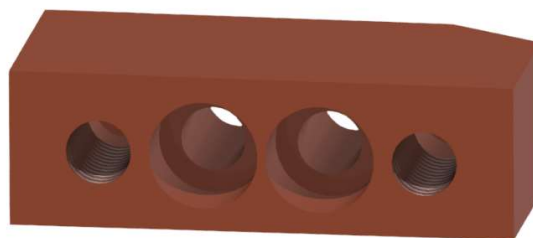
Obr. 89) Svěr hřídele

Na hřídel jsou poté navlečeny ložiskové díly CRLNZG-63, které pro podobné aplikace nabízí Festo. Těleso ložisek je vyrobeno z legované oceli, samotné kluzné ložisko pak z mědi a teflonu.



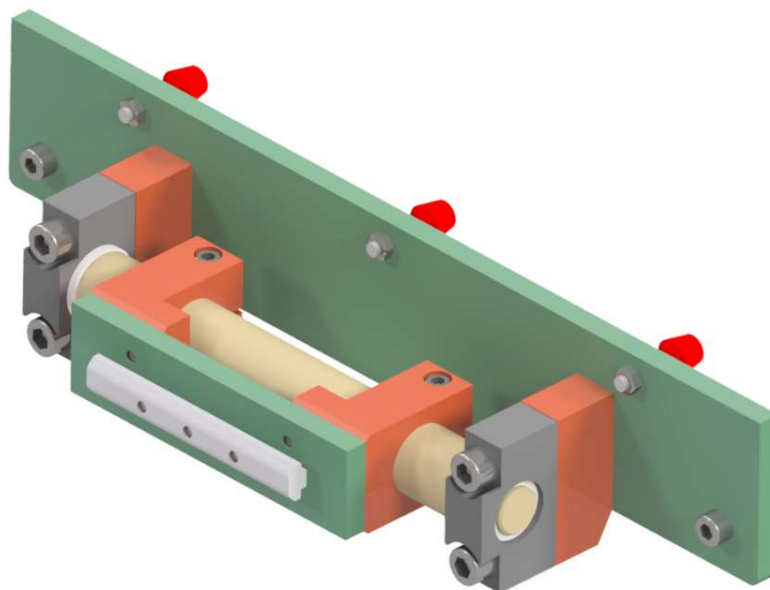
Obr. 90) Ložiskové těleso CRLNZG-63

Ložiskové díly jsou montovány na vyvyšující montážní kostky pro zajištění bezproblémového otáčení. Ložiska jsou s kostkou spojena dvěma šrouby, kostky jsou rovněž dvěma šrouby montovány na plechové čelo stolu.



Obr. 91) Montážní kostka

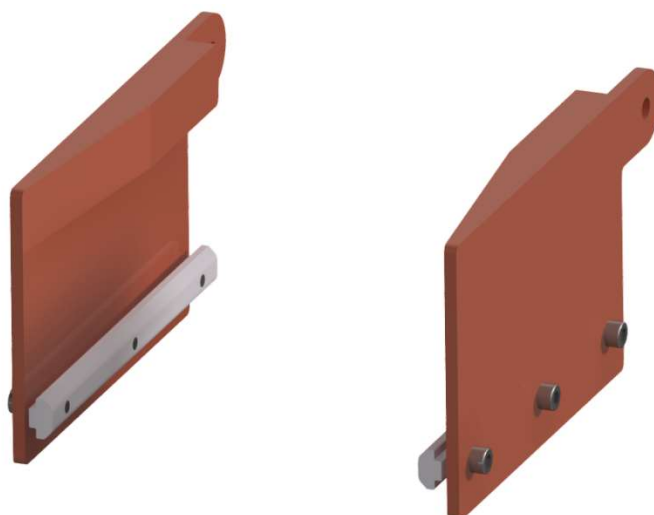
Plechové čelo je ke stolu připojeno pomocí děr uprostřed profilu a zároveň jsou do něho montovány zarážky. Kompletní sestava zajišťující pohyb stolu je zobrazena na následujícím obrázku 92.



Obr. 92) Mechanismus pohybu stolu

Vymezení polohy palety

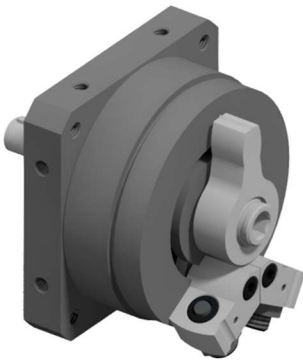
Aby byl zajištěn bezproblémový chod pracoviště, musí být paleta vždy upnuta na stejném místě. Toho se docílí pomocí následujících prvků. Po příchodu palety z horního skluzu na pracovní stůl dojde k zastavení o zarážky s neoprenovou hlavou, které jak už bylo uvedeno, jsou montovány v čele stolu. Zároveň během pohybu dojde k vymezení polohy díky skoseným bočním naváděčům, které jsou montovány do drážek v profilech po bocích stolu. v zadních částech naváděčů je prostor pro montáž snímačů, což bude rozebráno v příslušné kapitole.



Obr. 93) Boční naváděče

Finálním procesem vymezení polohy palety je upnutí pomocí pneumatického kyvného pohonu s kyvným křídlem DSM-12-270-P-A-B, jehož vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 11) Válec DSM-12-270-P-A-B [35]

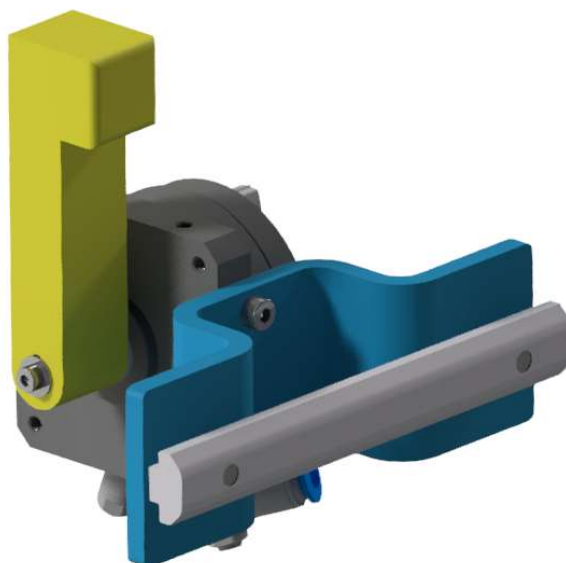
DSM- 12-270-P- A-B	
Velikost	12 mm
Úhel kyvu	Nastavitelný (max 270°)
Tlumení	Pružné tlumící kroužky
Vyobrazení	

Na hřídel kyvného pohonu je montováno kyvadlo, které má za úkol dotlačit paletu do požadované polohy. Spodní část kyvadla je uzpůsobena pro jednoduchou montáž na hřídel, na které bude zajištěno pomocí šroubu s podložkou.



Obr. 94) Kyvadlo

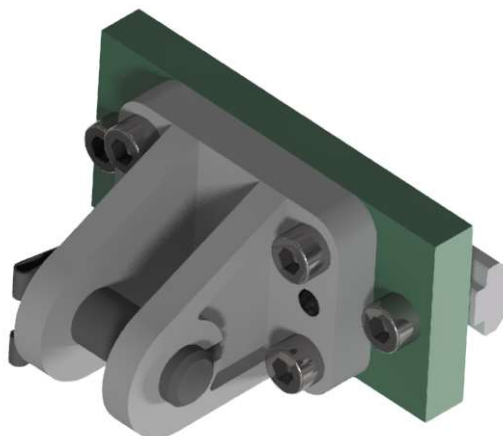
Celý upínací mechanismus je montován na ohnutý plech, který je následně s pomocí lišty a šroubů spojen s hliníkovým profilem. Válec je kvůli řízení vstupu stlačeného vzduchu vybaven ventily GRLA. Sestava upínače je zobrazena na obrázku 95.



Obr. 95) Upínač palety

Připojení mechanismu pohonu

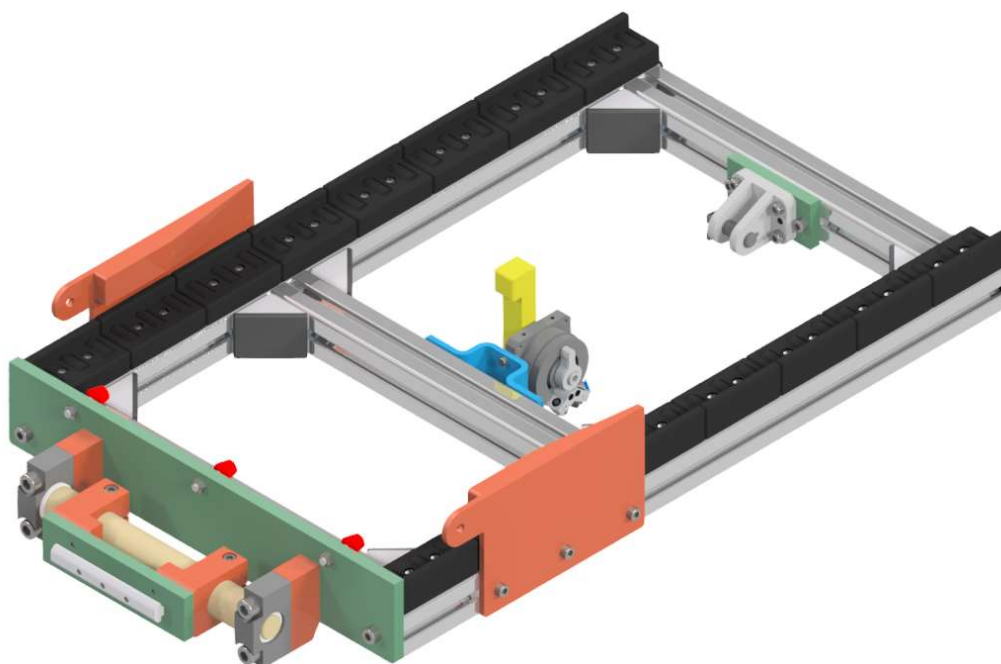
Posledním prvkem pracovního stolu je místo, kam bude připojen mechanismus zajišťující jeho pohon. Jedná se o ložiskové těleso LBG-40, které je odléváno z ušlechtilé oceli a jeho čep je pojištěn proti pootočení kolíkem. Toto těleso je opět pomocí plechové desky, šroubu a lišty montováno na hliníkový profil.



Obr. 96) Připojení mechanismu pohonu stolu

Sestava pohyblivého pracovního stolu

Sestava pohyblivého pracovního stolu obsahuje 2 x profil o délce 640 mm, 3 x profil o délce 328 mm, 2 x krytku na čelo profilu, 8 x úhlovou spojku, mechanismus umožňující pohyb stolu, součásti potřebné k vymezení polohy palety a připojení pro mechanismus pohonu. Kompletní sestava stolu je vyobrazena na obrázku 97.



Obr. 97) Sestava pohyblivého pracovního stolu

5.5.5 Mechanismus pohonu

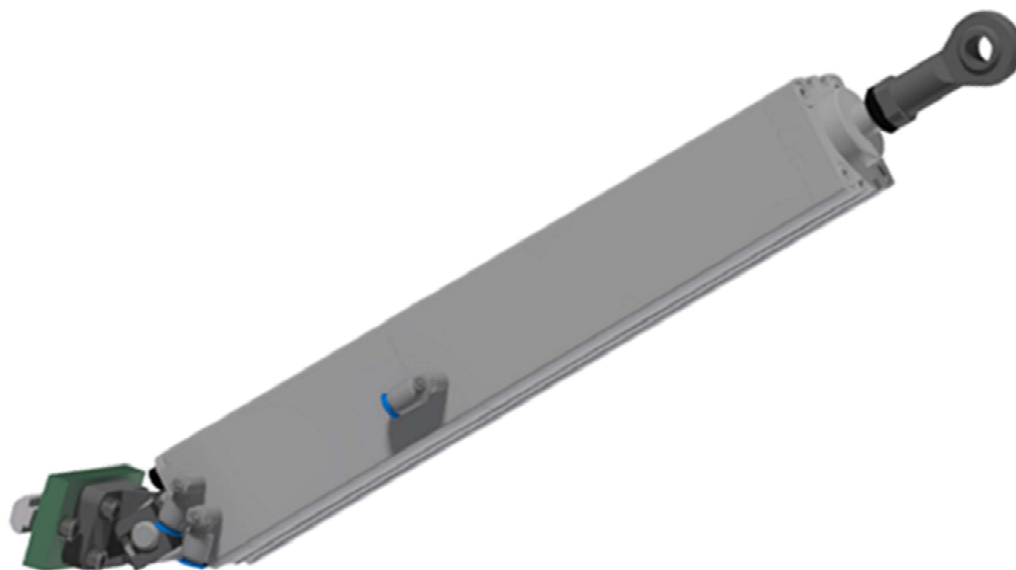
Pohon a obsluhu všech potřebných poloh stolu zajišťuje jeden vícepolohový válec od výrobce FESTO s označením ADN-40-A-P-A-80Z1-160Z2, jehož parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 12) Válec ADN-40-A-P-A-80Z1-160Z2 [35]

ADNM-40-A-P-A-80Z1-160Z2	
Velikost	40 mm
Druh závitu na pístnici	Vnější
Tlumení	Pružné tlumící kroužky
Poloha Z1	80 mm
Poloha Z2	160 mm
Vyobrazení	

Dále je válec doplněn o doporučené periférie, kterými jsou kyvné příruby pro zadní víko SNC 40, ventily GRLA, kloubovou hlavici se sférickým uložením na pístnici SGS-M12x1,25 a ložiskové těleso CRLMC-40, které slouží ke spojení kyvné příruby a rámu stroje. Je proto montováno na plechovou destičku, která opět pomocí lišty a šroubů zajistí spojení s rámem.

Kompletní sestava mechanismu zajišťující pohon pracovního stolu je zobrazena na dalším obrázku.



Obr. 98) Sestava pohonu stolu

5.5.6 Snímače

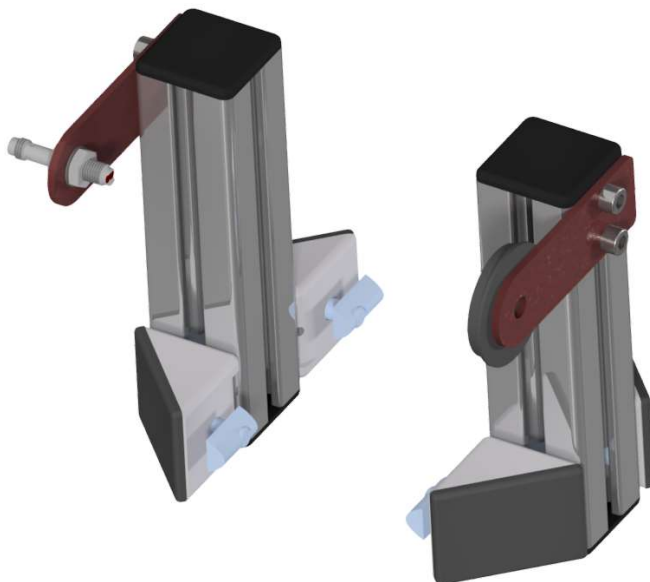
Paletizační dopravník je taktéž potřeba osadit snímači, které mají za úkol sledovat přítomnost palet na potřebných místech. k tomu budou využity reflexní optické závory od výrobce BALLUFF. Použité optoelektronické snímače a jejich reflektory jsou uvedeny v následující tabulce 13.

Tab. 13) Reflexní optické závory [38]

BOS01RK		BAM00UW	
Rozměr	Ø 8 × 40 mm	Rozměr	Ø 46 × 6,5 mm
Dosah	1 m	Tvar	Válec
Spínací výstup	PNP spínací kontakt	Provedení	Hrana kostky 2,5 mm
Druh světla	LED červené světlo	Aktivní plocha	11,6 cm ²
Provozní napětí	10 - 30 V DC	Montáž	Lepením
Foto		Foto	
			

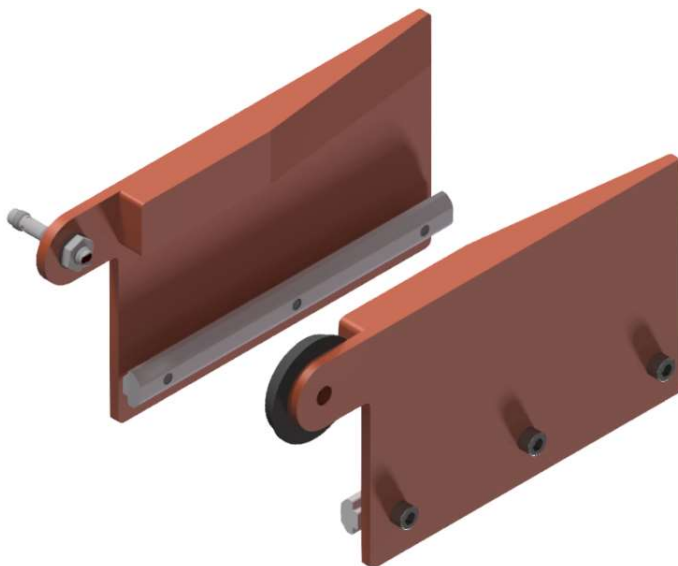
Snímání přítomnosti palet je využito celkem třikrát. Jednou na horním skluzu, kde zjišťujeme, zda je ještě k dispozici volná paleta. Druhý snímač je na pracovním stole a udává, jestli je na místě paleta připravená k upnutí. Poslední je pak umístěn na spodním skluzu

a zjišťuje, zda je na skluzu místo ještě na další palety, nebo je třeba plné palety odebrat. Pro montáž na skluzu byly použity stavebnicové díly od výrobce hliníkových profilů. Sestava se skládá ze dvou profilů o délce 150 mm, čtyř úhlových spojek, čtyř krytek a dvou montážních plechů pro instalaci snímače a nalepení reflektoru. Montážní plíšky jsou k profilu připojeny pomocí lišty v drážce a dvou šroubů.



Obr. 99) Sestava snímače na skluzu

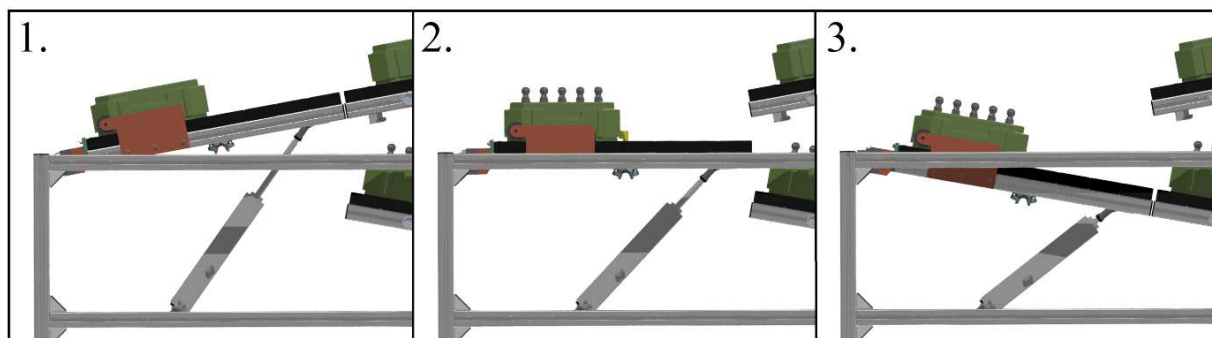
Na pracovním stole je snímač i jeho reflektor instalován na boční naváděče, které jsou pro danou montáž uzpůsobeny.



Obr. 100) Snímač na bočních naváděcích

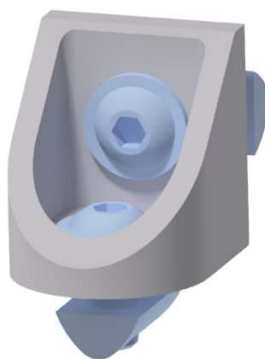
5.5.7 Sestava stanoviště paletizace

Sestavíme-li rám, pohyblivý stůl a mechanismus jeho pohybu, tak díky pohybu pístnice lze odzkoušet návrh a celkový pohyb mechanismu.



Obr. 101) Pohyb stolu

Po odzkoušení pohybu je možné přesně připevnit k rámu i horní a spodní skluz. Horní skluz svírá s pracovním stolem ve vodorovné poloze úhel $10,3^\circ$, spodní pak přesně 10° , změnou uspořádání rámu lze jednotlivé úhly měnit. Skluzy jsou na rám montovány pomocí spojek nabízených firmou Item, které umožňují montáž profilů pod libovolným úhlem.



Obr. 102) Spojky profilů pod úhlem

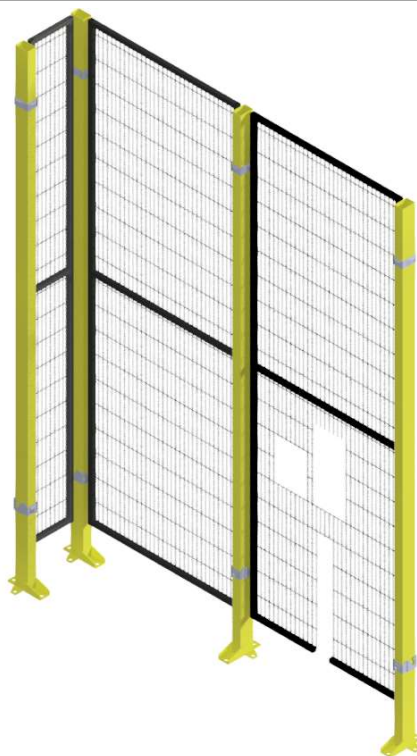
Sestavením všech uvedených konstrukčních uzlů tedy vznikne kompletní sestava stanoviště paletizace. Sestava je ještě doplněna o palety, kterých může být najednou ve stroji až deset, z toho čtyři na vstupu, jedna na pracovním stole a pět palet plných obrobků na výstupu. Rozměry stanoviště činí 570 mm na šířku, 2300 mm na délku a 1540 mm na výšku.



Obr. 103) Sestava stanoviště paletizace

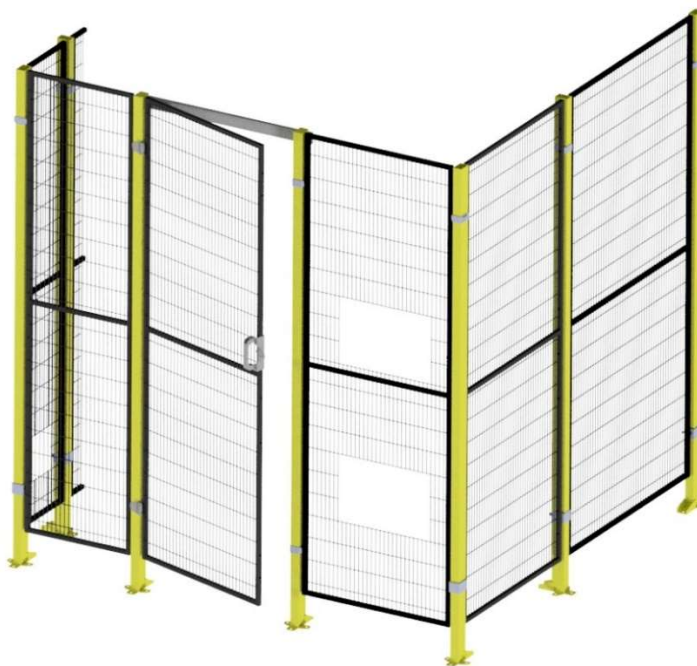
5.6 Oplocení pracoviště

Pracoviště musí být obehnáno ochranným oplocením, jelikož se jedná o robotické pracoviště, které není navrhováno jako kolaborativní. Oplocení má za úkol zabránit vstupu nepovolaným osobám a zamezit zraněním či smrtelným nehodám, které by mohlo přítomné zařízení způsobit. Na trhu je mnoho výrobců podobných oplocení, pro toto konkrétní řešení bude použito oplocení od firmy Troax. Budou použity drátěné panely s označením ST 20, což udává šířku rámu 19 x 19 mm a standardní sloupky o rozměrech 60 x 40 mm. Výška oplocení bude 2200 mm. Celkově je oplocení složeno ze dvou částí. První část, která se rozkládá od CNC stroje po rozvaděč, obsahuje čtyři sloupky. Tři klasické rovné a jeden označovaný jako levý rohový. Dále tři drátěné panely, jeden o šířce 200 mm a dva o šířce 700 mm, z nichž jeden má v sobě vyřezané otvory pro deskový zásobník.



Obr. 104) První část oplocení

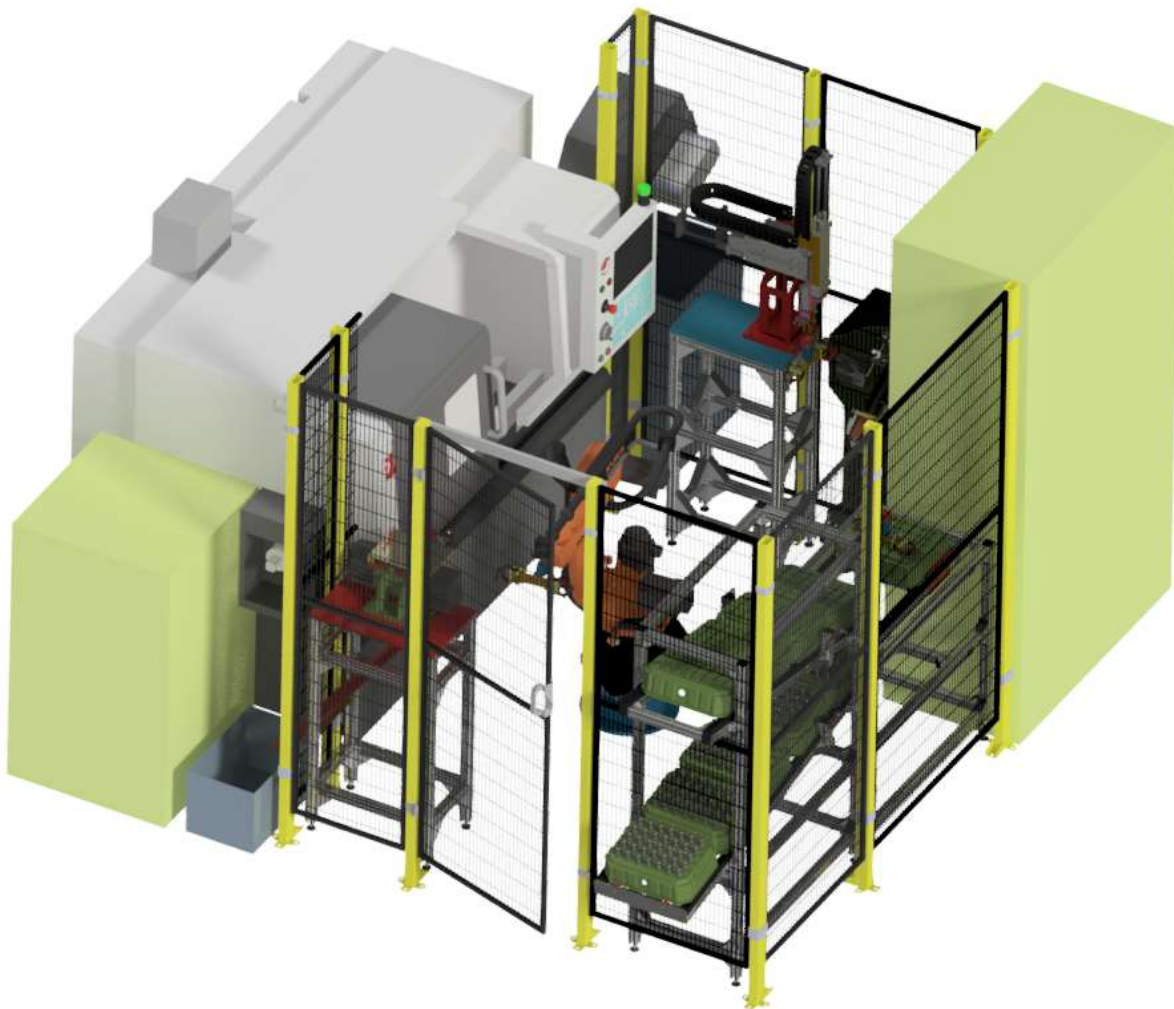
Druhá část oplocení pracoviště uzavírá, a rozkládá se od rozvaděče k CNC stroji. Tuto část tvoří pět sloupků, dva klasické, dva levé rohy a jeden roh pravý. Drátěných panelů je použito celkem šest, po jednom od šířek 1000 mm, 800 mm, 500 mm a. Dále jeden o šířce 700 mm, ve kterém jsou otvory pro vkládání a odebírání palet, další o šířce 300, ve kterém je otvor pro skluz na neshodné obrobky, a nakonec jeden o šířce 200 mm, který je zaříznut na šířku 113 mm, aby dokonale uzavřel oplocení. v této části oplocení se rovněž nachází dveře o šířce 700 mm vybavené magnetickým zámekem.



Obr. 105) Druhá část oplocení

5.7 Layout

Když jsou všechny dílčí části zkonstruovány je načase výrobní pracoviště uspořádat. Jednotlivé stanoviště jsou pro docílení co nejkratších manipulačních časů seřazeny za sebou přesně tak, jak čep postupuje pracovištěm. Tedy jako první je deskový zásobník s manipulátorem, následuje CNC obráběcí stroj, výstupní kontrola, a nakonec stanoviště paletizace. Směr pohybu čepu v pracovišti je proti směru hodinových ručiček. Do layoutu bylo ještě přidáno několik nezbytných součástí, které jsou důležité pro určení celkových rozměrů a k pochopení kompletní funkce výrobního zařízení. Jedná se o elektrický rozvaděč pro celé pracoviště, napájecí skříň robotu, montážní podstavec pod robot a bedny na odpad z CNC stroje a zmetkové díly. Na následujícím obrázku je 3D pohled na celé pracoviště.



Obr. 106) 3D pohled na kompletní pracoviště

6 TECHNICKÉ VÝPOČTY

6.1 Uchopovací síla koncového efektoru

Velikost uchopovací síly musí být taková, aby zajistila bezpečné držení uchopeného objektu, na který v průběhu manipulace působí různé vnější síly. Většinou jde hlavně o sílu tíhovou a setrvačnou. Mohou se ale přidávat i další síly, které vznikají například při vyjímání objektů manipulace z pracovního prostoru stroje či různých zásobníků a přípravků. Podobné vnější síly mohou být také důsledkem vzájemné kooperace dvou manipulátorů. Zpravidla však velikost úchopné síly nejvíce ovlivňují síly setrvačné. Pro výpočet velikosti úchopné síly je nezbytné provést důkladnou analýzu sil, které mohou v jednotlivých fázích pohybu působit na objekt. Pro výpočet poté uvažujeme nejnepríznivější stav, který může nastat. Popíšeme-li všechny vnější síly působící na objekt v daném kritickém momentu, pak se v rovnováze s těmito silami nachází hledaná kritická úchopná síla. Vynásobením této kritické úchopné síly potřebnou bezpečností poté získáme požadovanou velikost úchopné síly. Bezpečnost je ovlivňována celkovými dispozicemi daného pracoviště, konstrukcí koncového efektoru, použitými úchopnými prvky a v neposlední řadě charakterem provozu. Je třeba ošetřit i případy, kdy je stanovená úchopná síla tak velká, že by vlivem jejího působení mohlo dojít k poškození objektu manipulace. Může také dojít k tomu, že požadovaná síla nebude dosažitelná použitými uchopovacími prvky, například vlivem nevhodného tvaru objektu, či příliš malých rozměrů. Poté je na místě zpětná změna rychlostí a zrychlení v manipulačním cyklu.

6.1.1 Výpočet zrychlení v místě úchopu

Pro výpočet uchopovací síly je nutné znát zrychlení v místě úchopu ve vertikálním a horizontálním směru, výrobce robotu však v materiálech přiložených k robotu podobné informace neuvádí. Je ale možné získat potřebná data k jejich výpočtu. Bude tedy proveden výpočet zrychlení v místě úchopu ve směru vertikálním a ve směru horizontálním.

Prvním potřebným parametrem k výpočtu je rychlost otáčení jednotlivých os při jmenovité mezní zátěži. Tyto hodnoty udávají rychlosti při zátěži 10 kg, je tedy pravděpodobné, že při zátěži 2,625 kg, která odpovídá celkové hmotnosti použitého koncového efektoru, budou rychlosti pravděpodobně o něco větší.

Tab. 14) Rychlost při jmenovité mezní zátěži

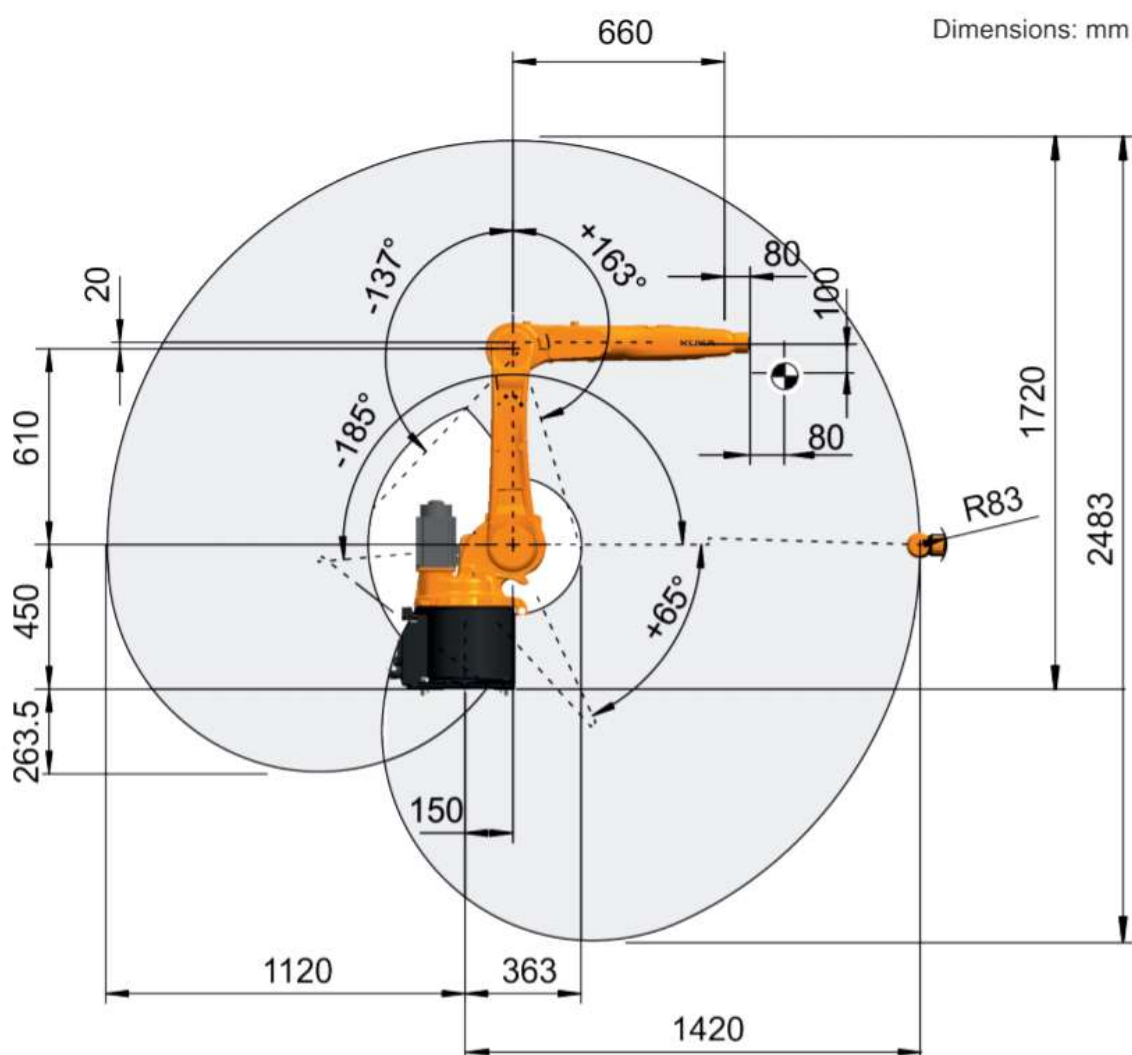
Rychlost při jmenovité mezní zátěži	
A1	220 °/s
A2	210 °/s
A3	270 °/s
A4	381 °/s
A5	311 °/s
A6	492 °/s

Druhým parametrem potřebným pro daný výpočet jsou pak časy, ve kterých jsou jednotlivé osy schopné dosáhnout uvedených maximálních rychlostí, ty jsou uvedeny v tabulce číslo 15.

Tab. 15) Časy pro dosažení maximálních rychlostí jednotlivých os

Časy pro dosažení maximální rychlosti	
A1	299,23 ms
A2	413,62 ms
A3	845,74 ms
A4	136,21 ms
A5	108,51 ms
A6	94,26 ms

Posledním potřebným parametrem k výpočtu jsou rozměry robotu, konkrétně pak vzdálenosti jednotlivých os natačení. Potřebné údaje lze vyčíst z rozměrového nákresu, který výrobce uvádí v dokumentaci.



Obr. 107) Rozměry robotu KUKA KR 10 R1420 [6]

Nyní jsou uvedeny všechny parametry a je možné postoupit k prvnímu kroku výpočtu, kterým je výpočet maximální rychlosti v horizontálním a vertikálním směru podle vzorce uvedeného v rovnici 6.1.

$$v = \omega * r \quad (6.1)$$

Jako první bude proveden výpočet pro rychlost horizontální. Zjistíme-li hodnotu horizontální rychlosti, uvažujeme pouze pohyb osy A1, všechny ostatní lze tedy zanedbat. Úhlové rychlosti v tabulce 14 jsou uvedeny ve stupních za sekundu, je tedy nutné před dosazením provést přepočítání na radiány za sekundu, což je provedeno v rovnici 6.2.

$$\omega_h = 220 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 3,84 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (6.2)$$

Dále v rovnici 6.1 figuruje délka ramene, jelikož chceme počítat s nejnepříznivějším stavem, budeme uvažovat, že je robot natažen maximálně, tedy vodorovně se zemí. Po nahlédnutí do obrázku 107 zjistíme, že rozměr nataženého robotu je $r_1 = 1420$ mm od osy A1 k ose A5 a $r_2 = 80$ mm od osy A5 k přírubě. Též je třeba do výpočtu zahrnout skutečnost, že vzdálenost od osy úchopu koncového efektoru k přírubě robotu je $r_3 = 104$ mm. Celkovou délku ramene tedy spočítáme v rovnici 6.3. Poté už lze dosadit do rovnice 6.1 a získáme hodnotu hledané tangenciální rychlosti v horizontálním směru.

$$r_h = r_1 + r_2 + r_3 = 1420 + 80 + 104 = 1604 \text{ mm} = 1,604 \text{ m} \quad (6.3)$$

$$v_h = \omega_h * r_h = 3,84 * 1,604 = 6,16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6.4)$$

Podobným postupem lze aplikovat i pro výpočet vertikální rychlosti. v tomto případě však budeme uvažovat současný pohyb os A2 a A3, ostatní osy tak můžeme opět zanedbat. Nejprve bude proveden výpočet pro osu A2. Provedeme převod jednotek v rovnici 6.5.

$$\omega_{v1} = 210 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 3,67 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (6.5)$$

Opět uvažujeme, že je robot natažen vodorovně se zemí a odečteme potřebné vzdálenosti z obrázku. Vzdálenost $r_4 = 1270$ mm udává vzdálenost od osy A2 k ose A5, opět je třeba přičíst vzdálenosti r_2 a r_3 . Po výpočtu délky ramene lze vypočítat první složku tangenciální rychlosti ve vertikálním směru.

$$r_{v1} = r_4 + r_2 + r_3 = 1270 + 80 + 104 = 1454 \text{ mm} = 1,454 \text{ m} \quad (6.6)$$

$$v_{v1} = \omega_{v1} * r_{v1} = 3,67 * 1,454 = 5,34 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6.7)$$

Postup zopakujeme pro výpočet s osou A3.

$$\omega_{v2} = 270 \frac{\text{deg}}{\text{s}} = 4,71 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (6.8)$$

Rozměr $r_5 = 660$ mm odpovídá vzdálenosti mezi osou A3 a osou A5, opět je třeba přičíst vzdálenost od osy A5 k ose úchopu.

$$r_{v2} = r_5 + r_2 + r_3 = 660 + 80 + 104 = 844 \text{ mm} = 0,844 \text{ m} \quad (6.9)$$

$$v_{v2} = \omega_{v2} * r_{v2} = 4,71 * 0,844 = 3,98 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6.10)$$

Uvažujeme-li, že se osy A2 a A3 otáčejí na maximum, pak se výsledná hodnota tangenciální rychlosti ve vertikálním směru v místě osy úchopu rovná součtu rychlostí jednotlivých os, což udává rovnice 6.11.

$$v_v = v_{v1} + v_{v2} = 5,34 + 3,98 = 9,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6.11)$$

Ze získaných hodnot tangenciálních rychlostí, lze jednoduše získat zrychlení dle vztahu uvedeného v rovnici 6.12.

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (6.12)$$

Jestliže podělíme vypočítanou tangenciální horizontální rychlost časem, za který dosáhne osa A1 maximální rychlosti, získáme hledanou hodnotu horizontálního zrychlení.

$$a_h = \frac{v_h}{t_{A1}} = \frac{6,16}{0,29923} = 20,59 \frac{m}{s^2} \quad (6.13)$$

Stejný postup aplikujeme na obě vypočítané složky vertikální rychlosti. Tím získáme složky vertikálního zrychlení a jejich součtem celkovou hledanou hodnotu vertikálního zrychlení.

$$a_{v1} = \frac{v_{v1}}{t_{A2}} = \frac{5,34}{0,41362} = 12,91 \frac{m}{s^2} \quad (6.14)$$

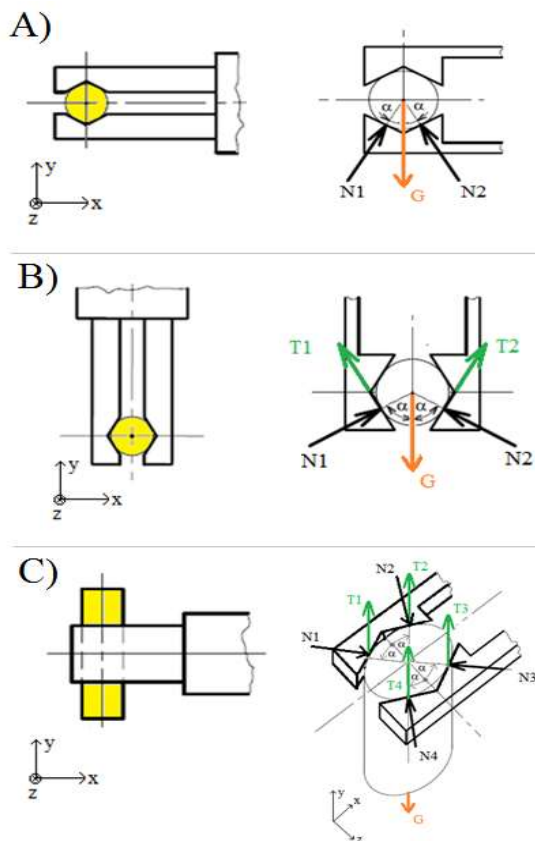
$$a_{v2} = \frac{v_{v2}}{t_{A3}} = \frac{3,98}{0,84574} = 4,71 \frac{m}{s^2} \quad (6.15)$$

$$a_v = a_{v1} + a_{v2} = 12,91 + 4,71 = 17,62 \frac{m}{s^2} \quad (6.16)$$

Byly vypočítány potřebné hodnoty tangenciálního zrychlení v horizontálním a vertikálním směru v místě osy úchopu, nyní lze tedy přistoupit k samotnému výpočtu uchopovací síly.

6.1.2 Výpočet uchopovací síly

Jako první krok k samotnému výpočtu uchopovací síly je třeba vyhodnotit nejnepříznivější situaci, která může během manipulace s objektem nastat. Velkou výhodou v tomto směru je možnost off-line programování a simulace chodu programu robotu v programech jako jsou Process Simulate či RobotStudio, které nám pomohou kritickou polohu určit. Zjednodušeně lze však říci, že mohou nastat tři základní druhy uchopení, které jsou společně s působícími silami znázorněny na obrázku 108. Další možné způsoby uchopení pak odpovídají kombinacím těchto základních druhů.



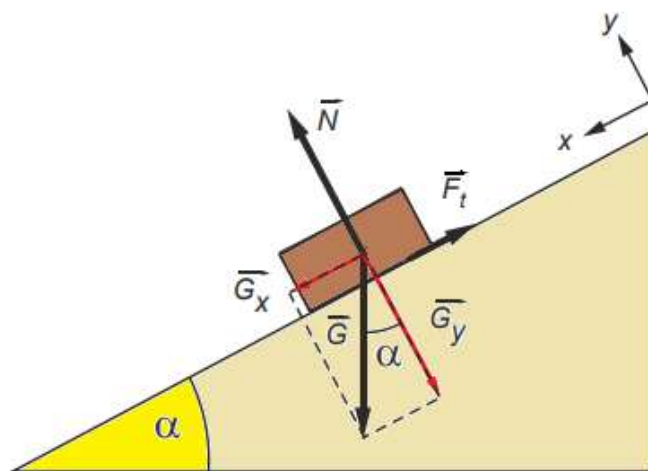
Obr. 108) Základní způsoby uchopení [42]

Po jednoduché analýze lze jednoznačně určit nejnepříznivější styl uchopení. Je jím varianta na obrázku označená jako C), kde objekt manipulace není nijak podpírán čelistmi a jeho vyklouznutí brání pouze působící třecí síly. Výpočet tedy bude proveden pro tuto variantu úchopu.

Jako první bude proveden výpočet pro situaci, kdy by probíhal pohyb pouze ve vertikálním směru podle následujícího vztahu.

$$U_v = k * \frac{m(g+a_v)}{f_s} \quad (6.17)$$

Pro výpočet je třeba zjistit koeficient tření mezi duralem, z něhož jsou zhotoveny prsty, a ocelí, z níž jsou vyráběny čepy. Koeficient bude určen experimentálně. Uvažujeme-li, že na nakloněné rovině platí rovnováha. Platí rozložení sil jako na následujícím obrázku 109.



Obr. 109) Rozložení sil na nakloněné rovině

Pro výpočet je třeba statický koeficient tření f_s , ten lze zjistit z třecí síly F_t , podle vztahu z rovnice 6.18.

$$F_t = N * f_s \quad (6.18)$$

V případě, že se těleso nepohybuje a platí rovnováha sil, víme, že se třecí síla rovná složce tíhové síly působící v ose x.

$$F_t = G_x \quad (6.19)$$

Třecí sílu můžeme nahradit vztahem z rovnice 6.18 a tíhovou silou v ose x podle vztahu v následující rovnici.

$$N * f_s = G * \sin \alpha \quad (6.20)$$

Zároveň víme, že platí rovnost mezi normálovou silou a tíhovou silou v ose y.

$$N = G_y = G * \cos \alpha \quad (6.21)$$

Platí tedy následující vztah 6.22, jehož úpravou získáme hledaný vztah pro výpočet statického koeficientu tření.

$$G * \cos \alpha * f_s = G * \sin \alpha \quad (6.22)$$

$$f_s = \frac{G * \sin \alpha}{G * \cos \alpha} \quad (6.23)$$

$$f_s = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (6.24)$$

$$f_s = \tan \alpha \quad (6.25)$$

Byl zjištěn potřebný vztah pro výpočet, nyní je třeba provést experiment, kdy na ocelové desce bude položena duralová kostička, desku budeme postupně naklánět a následně zapíšeme úhel α , při kterém přestane platit rovnováha sil a destička se dá do pohybu. Provedeme několik měření, z nichž pak použijeme průměrnou hodnotu.

Tab. 16) Záznam měření

Číslo měření	α
1	31°
2	28°
3	30°
4	29°
5	28°
Průměrná hodnota:	29,2°

Podle vztahu 6.25 můžeme nyní dosazením průměrné hodnoty získat hledaný koeficient statického tření, který použijeme v následujících výpočtech.

$$f_s = \tan 29,2^\circ = 0,56 \quad (6.26)$$

Pro výpočet podle vzorce 6.17 dále potřebujeme znát hmotnost manipulovaného objektu, je tedy zvolena nejtěžší možná varianta čepu, což je polotovar pro výrobu čepu s označením GAMA, jehož hmotnost činí $m = 153 \text{ g}$. Dále do výpočtu vstupuje gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, vypočítané tangenciální zrychlení ve vertikálním směru $a_v = 17,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a zjišťovaný koeficient statického tření f_s . Posledním parametrem potřebným pro výpočet je koeficient bezpečnosti, ten je vzhledem k nejistotám u některých hodnot a běžným zvyklostem volen $k = 3$. Nyní je možné vše dosadit do rovnice a vypočítat hledanou uchopovací sílu pro daný případ.

$$U_v = 3 * \frac{0,153 * (9,81 + 17,62)}{0,56} = 22,48 \text{ N} \quad (6.27)$$

Při uvažování pohybu pouze ve směru horizontálním bude použitý vzorec vypadat následovně.

$$U_h = m * \left(\frac{k * g}{f} + a_h * \text{tg } \alpha \right) \quad (6.28)$$

Do výpočtu pro tento případ vstupuje několik odlišných parametrů. Jedná se o zrychlení v horizontálním směru $a_h = 20,59 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a polovina úhlu, jež svírají dotykové plochy na prstu tedy $\alpha = 65^\circ$. Dosazením do vzorce vypočteme požadovanou uchopovací sílu pro pohyb v horizontálním směru.

$$U_h = 0,153 * \left(\frac{3 * 9,81}{0,56} + 20,59 * \text{tg } 65^\circ \right) = 14,8 \text{ N} \quad (6.29)$$

Jako poslední bude uvažován pohyb, který vznikne kombinací pohybu ve směru horizontálním a pohybu ve směru vertikálním. Pro takový pohyb platí následující vzorec.

$$U = m * \left[k * \left(\frac{g}{f} + a_v \right) + a_h * \text{tg } \alpha \right] \quad (6.30)$$

$$U = 0,153 * \left[3 * \left(\frac{9,81}{0,56} + 17,62 \right) + 20,59 * \text{tg } 65^\circ \right] = 22,88 \text{ N} \quad (6.31)$$

Nejvyšší vypočítaná hodnota uchopovací síly je 22,88 N, musíme tedy ověřit, zda je chapadlo použité na uchopovači schopno takovou silou působit. Jelikož se jedná o chapadlo úhlové,

výrobce udává zavírací moment, kterým je schopno působit. Musíme tedy jednoduchým výpočtem ověřit, zdali je chapadlo pro tuto operaci vhodné. Moment, kterým je třeba působit, aby nedošlo k uvolnění objektu při manipulaci, získáme vynásobením uchopovací síly a vzdálenosti mezi osou úchopu a začátkem prstu, která odpovídá $r_p = 53,75 \text{ mm}$. Pro výpočet použijeme následující vztah.

$$M = U * r_p = 22,88 * 0,05375 = 1,23 \text{ Nm} \quad (6.32)$$

Moment, kterým musí chapadlo na čep působit, aby nedošlo během manipulace v žádném případě k jeho uvolnění, musí být dle výpočtu nejméně 1,23 Nm. Výrobce Schunk u použitého chapadla PWG-plus 50 uvádí, že produkuje zavírací moment 3,32 Nm. Použité chapadlo tedy požadavky s rezervou splňuje a může být pro danou aplikaci použito.

7 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- DP-PF-A1-001 Layout pracoviště
 - Výkres layoutu udává základní vymezení pracoviště, jeho celkové rozměry, jednotlivé součásti a jejich umístění.
- DP-PF-A1-002 Uchopovač
 - Výkres sestavení koncového efektoru montovaného na robot, udává jeho celkové rozměry a jednotlivé součásti, z nichž se skládá.
- DP-PF-A3-003 Prst uchopovače
 - Výrobní výkres prstu koncového efektoru popisuje jeho rozměry a předepsané tolerance. Zvýšený důraz je zde kladen na kontaktní plochy a díry pro vymezení polohy.
- DP-PF-A1-004 Výstupní kontrola
 - Výkres sestavení, udává celkové rozměry a jednotlivé součásti, z nichž se stanoví výstupní kontroly sestává.
- DP-PF-A2-005 Kryt kontroly
 - Výkres součásti krytu kontroly udává základní rozměry rozvinutého plechu a obsahuje potřebné informace pro ohnutí krytu do požadovaného tvaru.
- DP-PF-A4-006 Odkladové lůžko
 - Výrobní výkres prizmatického lůžka, do kterého jsou odkládány čepy v prostoru manipulátoru, udává jeho rozměry a tvar.
- DP-PF-A3-007 Prst manipulátoru
 - Výrobní výkres prstu chapadla dvouosého manipulátoru. z výkresu jdou vyčíst potřebné rozměry a předepsané požadavky pro výrobu součástí.
- DP-PF-A1-008 Pneuschéma
 - Schématicky zobrazuje zapojení všech zařízení v prostoru navrhovaného pracoviště, které jsou poháněny stlačeným vzduchem. Jedná se o manipulátor, koncový efektor na robotu, stanoviště výstupní kontroly a paletizační dopravník. Ve výkresu jsou popsány jednotlivé součásti nutné ke zkompletování pneumatického obvodu.

8 ANALÝZA RYZIK


Analýza rizik je zhotovena dle normy ČSN EN ISO 12100, která pojednává o bezpečnosti strojních zařízení, všeobecných zásadách pro konstrukci, posuzování a snižování rizik. Anotace uvedené normy zní následovně:

Tato mezinárodní norma specifikuje základní terminologii, zásady a metodologii pro dosažení bezpečnosti při konstrukci strojního zařízení. Norma specifikuje zásady posouzení a snižování rizika jako pomoc konstruktérům k dosažení tohoto cíle. Tyto zásady jsou založeny na znalosti a zkušenosti z konstrukce, používání, nehod, úrazů a rizik u strojních zařízení. Jsou popsány postupy pro identifikaci nebezpečí a pro odhad a hodnocení rizik v relevantních fázích životního cyklu stroje, a pro vyloučení nebezpečí nebo pro opatření dostatečně snižující riziko. Je uveden návod na dokumentaci a ověřování procesu posouzení rizika a snížení rizika. Tato mezinárodní norma je také určena k tomu, aby byla používána jako základ při zpracování bezpečnostních norem typu B a typu C. Norma se nezabývá rizikem a/nebo poškozením týkajícím se domácích zvířat, majetku nebo prostředí. Příloha B uvádí v samostatných tabulkách příklady nebezpečí, nebezpečných situací a nebezpečných událostí tak, aby byly objasněny tyto pojmy a pomohly konstruktérovi v procesu identifikace nebezpečí. [44]

Dále se ve vypracované analýze rizik odkazuje na několik dalších norem. Jedná se o normy: ČSN EN ISO 13849-1 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci, ČSN EN 60204-1 ED.2 Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky, ČSN EN 50110-1 ED.3 Činnost na elektrických zařízeních - Část 1: Obecné požadavky, ČSN EN ISO 13850 Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci, ČSN EN 349+A1 Bezpečnost strojních zařízení - Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla, ČSN EN ISO 13857 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami, ČSN EN ISO 14119 Bezpečnost strojních zařízení - Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu, ČSN EN ISO 14120 Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů, ČSN EN ISO 11202 Akustika - Hluk vyzařovaný stroji a zařízeními - Měření emisních hladin akustického tlaku na stanovišti obsluhy a dalších stanovených místech - Provozní metoda in situ, ČSN ISO 3746 Akustika - Určení hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Provozní metoda měření ve volném poli nad odrazivou rovinou.

Je třeba brát v potaz, že zhotovená analýza neřeší bezpečnost jednotlivých strojních komponentů, které jsou v lince zařazeny, mimo těch případů, kdy je bezpečnost ovlivněna nadřazeným systémem. Základním předpokladem, který setrvává po celou dobu životnosti stroje je základní znalost právních předpisů, především pak nařízení vlády číslo 101/2005, které pojednává o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí.

Tab. 17) Analýza rizik

		ANALÝZA RIZIK - Bezpečnost strojů dle ČSN EN ISO 12100				
Druh výrobku:	Robotické pracoviště na obrábění kulových čepů					
Zpracoval: Bc. Petr Fajt	Číslo výkresu layoutu: DP_PF_001					
Popis a určení:	Zařízení k obrábění kulových čepů a manipulaci s nimi.					
Obsluha linky:	Seřizování, dohled na automatický provoz, plnění zásobníku, zakládání a vyjímání paletok, výměna beden pro zmetky a odpad z CNC stroje.					
Posouzení:	Zařízení je posuzováno jako linka.					
Tabulka pro odhad a bodové hodnocení rizikovosti strojního zařízení						
Závažnost poškození	Doba pobytu	Možnost vyvarování se nebezpečí	Pravděpodobnost výskytu			Kategorie ČSN EN ISO 13849-1
			Malá m	Střední s	Vysoká v	
Lehké L/S1	Občas -/F1	Pm/P1 – možné za podmínek	0	0	1	a
		Sm/P2 – sotva možné				b
Lehké L/S1	Často -/F2	Pm/P1 – možné za podmínek	0	1	2	b
		Sm/P2 – sotva možné				c
Těžké T/S2	Občas – O/F1	Pm/P1 – možné za podmínek	1	2	3	c
		Sm/P2 – sotva možné	2	3	4	d
	Často – Č/F2	Pm/P1 – možné za podmínek	3	4	5	d
		Sm/P2 – sotva možné	4	5	6	e
Smrt S/S2	Občas – O/F1	Pm/P1 – možné za podmínek	5	6	7	c
		Sm/P2 – sotva možné	6	7	8	d
	Často – Č/F2	Pm/P1 – možné za podmínek	7	8	9	d
		Sm/P2 – sotva možné	8	9	10	e

8.1 Přeprava zařízení a jeho montáž

8.1.1 Mechanická nebezpečí

Tab. 18) Mechanická nebezpečí při montáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Stlačení Stříhu Pořezání Useknutí	Zrychlení či zpomalení Hrnaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Tíže Výška od podlahy Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany Stabilita	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / \check{C} / sm / s = 5$ <i>Opatření:</i> Kontrola nosnosti vázacích prostředků, zjištění těžiště manipulovaných břemen, předem určit postup montáže z výkresové dokumentace, při převážení montovaného zařízení dodržovat bezpečnou vzdálenost a bezpečnost práce. Používání předepsaných osobních ochranných pracovních prostředků (ochranných pracovních rukavic, vhodné pracovní obuvi). Odborná způsobilost pro obsluhu použitých zařízení.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / \check{C} / pm / s = 4$ <i>Opatření:</i> Varovné nápisy a piktogramy, průvodní dokumentace, osobní ochranné prostředky.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / \check{C} / pm / m = 3$ <i>Zbytková rizika:</i> Pád přenášených těles, vstup nepovolaných osob na montážní pracoviště. <i>Řešení:</i> Manipulaci mohou vykonávat vždy nejméně dva pracovníci, kteří se vzájemně kontrolují. Vstupu nepovolaných osob je nutno zamezit ohrazením pracoviště a místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Výkresy Výpočty
Tření Odření	Hrnaté části Pružné prvky Padající předměty Nerovné, kluzké povrchy	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $L / - / sm / v = 2$ <i>Opatření:</i> Používání předepsaných osobních ochranných pracovních prostředků (ochranných pracovních rukavic, vhodné pracovní obuvi).</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $L / - / pm / v = 1$ <i>Zbytková rizika:</i> Špatný odhad možného nebezpečí. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál, správný pracovní postup.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Vymrštění částí	Pružné prvky Vysoký tlak	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / \check{C} / sm / s = 5$ <i>Opatření:</i> Kontrola správného postupu montáže, těsnosti tlakových rozvodů vzduchu, omezení přítomnosti osob při zapínání tlakových rozvodů vzduchu.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / pm / s = 2$ <i>Opatření:</i> Varovné nápisy a piktogramy, průvodní dokumentace, osobní ochranné prostředky.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / pm / m = 1$ <i>Zbytková rizika:</i> Poškození tlakových rozvodů. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření Výkresy Výpočty

8.1.2 Elektrická nebezpečí

Tab. 19) Elektrická nebezpečí při montáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Úrazu elektrickým proudem Usmrcení elektrickým proudem	Živé části Části, které se staly živými při závadě Zkrat	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / \check{C} / sm / v = 10$ <i>Opatření:</i> Ochrana živých částí izolací, krytem zajišťující minimální krytí IP 20, ochrana neživých částí samočinným odpojením od zdroje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $s / o / sm / v = 8$ <i>Opatření:</i> Práce je vykonávána znalými pracovníky, při dodržování předepsaných bezpečnostních předpisů. Vypracování výchozí revizní zprávy. Kompletní dokumentace se zaznamenanými změnami.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $s / o / pm / s = 6$ <i>Opatření:</i> Výstražné značení obvodů pod napětím.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $s / o / pm / m = 5$ <i>Zbytková rizika:</i> Poškození částí elektrického zařízení, přístup k elektrickému zařízení pod napětím. <i>Řešení:</i> Při jakémkoli poškození elektrického zařízení, nebo nestandardním chování je nutno zajistit neprodlenou opravu a poškozené zařízení se nesmí používat. Při otevření krytu</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření ČSN EN 60204-1 ed.2., 50110-1 ed.3

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
		elektrického zařízení rozvaděčů jsou obvody zapojené před hlavním vypínačem / jističem a blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů trvale pod napětím. Obvody před hlavním vypínačem / jističem jsou označeny výstražnou bezpečnostní značkou, a jejich provedení odpovídá krytí IP20. Blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů jsou odlišeny oranžovou barvou izolace vodičů a označeny výstražnou bezpečnostní značkou. Po odejmutí krytu elektrického zařízení z důvodu údržby je nutno po provedené opravě kryt s výstražnou bezpečnostní značkou namontovat na původní místo.	

Tab. 20) Nebezpečí vyvolané elektrostatickými jevy při montáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Úrazu elektrickým proudem Usmrcení elektrickým proudem	Kontakt s živými nabitými částmi	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / o / sm / v = 8$ <i>Opatření:</i> Ochranné kryty lze otevřít až po vybití nebezpečného náboje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí konstrukčního opatření: $s / o / sm / s = 7$ <i>Opatření:</i> Ochrana živých částí izolací, krytem zajišťující minimální krytí IP 20, je provedeno ochranné pospojování všech částí kovových, neživých a cizích, které mohou mít proti sobě různý potenciál.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $T / Č / sm / m = 4$ <i>Opatření:</i> používání správných postupů a metod práce, vypnutí, zajištění, odzkoušení, zemnění a vybití nebezpečného náboje, zkratování.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / sm / m = 2$ <i>Opatření:</i> Výstražné značení obvodů s náboji.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / pm / m = 1$ <i>Zbytková rizika:</i> Poškození částí elektrického zařízení, přístup k elektrickému zařízení pod napětím. <i>Řešení:</i> Při jakémkoli poškození elektrického zařízení, nebo nestandardním chování je nutno zajistit neprodlenou opravu a poškozené zařízení se nesmí používat. Při otevření krytu elektrického zařízení rozvaděčů jsou obvody zapojené před hlavním vypínačem / jističem a blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů trvale pod napětím. Obvody před hlavním vypínačem / jističem jsou označeny výstražnou bezpečnostní značkou, a jejich</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření ČSN EN 60204-1 ed.2., 50110-1 ed.3

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
		provedení odpovídá krytí IP20. Blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů jsou odlišeny oranžovou barvou izolace vodičů a označeny výstražnou bezpečnostní značkou. Po odejmutí krytu elektrického zařízení z důvodu údržby je nutno po provedené opravě kryt s výstražnou bezpečnostní značkou namontovat na původní místo.	

8.1.3 Nebezpečí nadměrného hluku

Tab. 21) Nebezpečí nadměrného hluku při montáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza a snížení rizika	Ověření opatření
Ztráty sluchu Ztráty vědomí Ztráty rovnováhy Stresu Únavy Hučení v uších	Montážní proces Nářadí Pohybující se části Poškrábané povrchy Pískající pneumatické zařízení	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / \check{C} / sm / v = 6$ <i>Opatření:</i> Používání osobních ochranných pracovních prostředků proti hluku, jiný způsob dorozumívání.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / \check{C} / pm / s = 4$ <i>Opatření:</i> Pracovní postupy zmenšují riziko hluku.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / pm / s = 2$ <i>Zbytková rizika:</i> Výskyt velmi hlučných montážních prací, dlouhodobý pobyt. <i>Řešení:</i> Omezení přítomnosti osob, bezpečnostní přestávky.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška

8.1.4 Nebezpečí vibrací

Tab. 22) Nebezpečí vibrací při montáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Nepohodlí Poškození páteře Neurologická poškození Poškození kloubů Cévní poškození	Vibrační zařízení Ruční náradí	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / o / sm / v = 4$</p> <p><i>Opatření:</i> Používání správného náradí a správných montážních postupů.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / sm / s = 3$</p> <p><i>Opatření:</i> Odpovídající proškolení pracovníků.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / sm / m = 2$</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Dlouhotrvající práce.</p> <p><i>Řešení:</i> Omezení těchto prací organizačními opatřeními.</p>	Vizuální kontrola

8.1.5 Nebezpečné materiály a látky

Tab. 23) Nebezpečné materiály a látky

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Dýchací potíže Rakovina Koroze	Provozní náplně	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: T / o / sm / v = 4 <i>Opatření:</i> Konstrukce umožňuje jednoduché plnění a napouštění.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí konstrukčního opatření: T / o / sm / s = 3 <i>Opatření:</i> Omezení použití nebezpečných látek, náhrada látkami s menší nebezpečností.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: T / o / pm / s = 2 <i>Opatření:</i> Nápisy, varování, průvodní dokumentace, osobní ochranné prostředky.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: T / o / pm / m = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Únik kapaliny při poškození tlakových rozvodů. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál a správný pracovní postup pro likvidaci havárie podle bezpečnostního listu uniklé látky.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška
Nebezpečí požáru nebo výbuchu	Svařování Dělení materiálu Hořlavé materiály a hořlaviny	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: s / o / pm / s = 6 <i>Opatření:</i> použití pracovních postupů s vyloučením použití otevřeného ohně, kontrola pracoviště po svařování, broušení.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: T / o / pm / s = 2 <i>Opatření:</i> Nápisy, varování, disciplinovanost pracovníků.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: T / o / pm / m = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Únik kapaliny při poškození tlakových rozvodů. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál a správný pracovní postup pro likvidaci havárie podle bezpečnostního listu uniklé látky.</p>	Vizuální kontrola

8.2 Provoz a údržba zařízení

8.2.1 Mechanická nebezpečí

Tab. 24) Mechanická rizika nouzového zastavení

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Přeběh Vymrštění Stlačení Pořezání nebo oddělení Vtažení nebo zachycení Tření nebo odření Naražení Stříhu Uklouznutí, zakopnutí a pád Propíchnutí	Zrychlení, zpomalení Hranaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Pohyblivost strojního zařízení Pohybující se prvky Rotující prvky Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / o / sm / v = 8$</p> <p><i>Opatření:</i> Vybavení obslužných míst zařízením nouzového zastavení, které odpíná nebezpečné pohyby manipulátoru, mechanismů zásobníku, pohyby robota, pohyby krytů. Bezpečnostní prvky jsou zapojeny v kategorii 4 dle ČSN EN ISO 13849-1.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $s / o / pm / s = 6$</p> <p><i>Opatření:</i> Upozornění v návodu k použití</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $s / o / pm / m = 5$</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Přístup nepovolaných pracovníků do prostoru pracoviště a poškození ochranných zařízení.</p> <p><i>Řešení:</i> Vstup nepovolaných pracovníků na pracoviště je nutno zamezit místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem. Přístup do pracovního prostoru stroje v režimu seřizování mohou provádět pouze osoby pověřené, řádně poučené a určené uživatelem, které jsou obeznámeny s pracovními postupy, uvedenými v tomto návodu. Při seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů. Je nutné pravidelně provádět zkoušky ochranných zařízení.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška ČSN EN ISO 13849-1, 13850

Tab. 25) Mechanická rizika automatického režimu

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Přeběh Vymrštění Stlačení Pořezání nebo oddělení Vtažení nebo zachycení Tření nebo odření Naražení Stříhu Uklouznutí, zakopnutí a pád Propíchnutí	Zrychlení, zpomalení Hrnaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Pohyblivost strojního zařízení Pohybující se prvky Rotující prvky Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / \check{C} / pm / v = 9$</p> <p><i>Opatření:</i> Přístup obsluhy do pracovního prostoru je blokován pomocí bezpečnostního oplocení s jednou vstupní brankou, která je opatřena bezpečnostním koncovým snímačem se zámkem.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $T / \check{C} / pm / s = 4$</p> <p><i>Opatření:</i> Používání pomocných zařízení a ochranných pomůcek.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / \check{C} / pm / m = 3$</p> <p><i>Opatření:</i> Upozornění v návodu k použití.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / \check{C} / pm / m = 3$</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Nesprávná volba režimu a přístup cizích pracovníků.</p> <p><i>Řešení:</i> Po ukončení nastavení příslušného pracovního režimu zařízení je uživatelem pověřená osoba povinna zajistit toto nastavení odejmutím klíčů z uzamykatelných ovládačů a prepínačů a uložit tyto klíče na provozovatelem určeném místě tak, aby nepovolaná osoba toto nastavení nemohla změnit nebo zneužít. Je nutno zamezit vstupu nepovolaných pracovníků na pracoviště provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem. Během seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů a při manipulaci se zpracovanými výrobky s ostrými hranami musí pracovník vždy používat ochranné pomůcky. Je nutné pravidelně provádět zkoušky ochranných zařízení.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření Výkresy Výpočty ČSN EN 349+A1, ČSN EN ISO 13857, 14119, 14120, 13849-1

Tab. 26) Mechanická nebezpečí obsluhy pracoviště

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Stlačení Tření nebo odření Naražení Stříhu	Zakládání palet Vyjímání palet Doplnění polotovarů Odvod odpadu a zmetků z pracoviště Zrychlení, zpomalení	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / o / sm / v = 4$.</p> <p><i>Opatření:</i> Zpomalení vývozu plné palety z pracoviště.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí konstrukčního opatření: $T / o / pm / s = 2$</p> <p><i>Opatření:</i> Snadný přístup k bednám s odpady, snadný únik, používání pomocných zařízení a předepsaných ochranných pomůcek.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / pm / s = 2$</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Uklouznutí, zakopnutí a pád	Tíže Padající předměty Pohybující se prvky Nerovné, kluzké povrchy	<i>Zbytková rizika:</i> Přístup nepovolaných pracovníků. Nepozornost při práci, nebo nesprávná manipulace s paletou při zakládání a vyjímání. <i>Řešení:</i> Při seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů a zamezit vstupu nepovolaných osob do prostoru pracoviště. Při manipulaci se zpracovanými výrobky s ostrými hranami musí pracovník vždy používat ochranné pomůcky. Správná manipulace s paletkou dle přiloženého návodu k používání.	

Tab. 27) Mechanická rizika při seřizování pracoviště

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Přeběh Vymrštění Stlačení Pořezání nebo oddělení Vtažení nebo zachycení Tření nebo odření Naražení Stříhu Uklouznutí, zakopnutí a pád Propíchnutí	Pohyb robotu Zrychlení, zpomalení Hranaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Pohyblivost strojního zařízení Pohybující se prvky Rotující prvky Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany	Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / o / pm / v = 7$ Opatření: Vstup do vnitřního prostoru pracoviště je v režimu seřizování možný. Pohyb robotu a krytu CNC stroje je umožněn pouze bezpečně sníženou rychlostí 250 mm/s, jen pomocí vědomého, synchronního a nepřetržitého působení obsluhy na ovladač povolení pohybů. Při výpadku elektrické energie dojde k zastavení nebezpečného pohybu. Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $T / o / pm / s = 2$ <i>Opatření:</i> Pravidelná kontrola bezpečnostních obvodů, dodržování pracovních postupů pro režim seřizování, návodu k používání, dokonalá znalost funkcí stroje. Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / pm / s = 2$	Vizuální kontrola Funkční zkouška Výkresy Výpočty ČSN EN 349+A1, ČSN EN ISO 13857, 14119, 14120, 13849-1

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
		<p><i>Zbytková rizika:</i> Nedodržení pracovních postupů, bezpečnostních opatření, nesprávná manipulace, nepozornost při práci a přístup nepovolaných osob.</p> <p><i>Řešení:</i> Po ukončení nastavení příslušného pracovního režimu zařízení je uživatelem pověřená osoba povinna zajistit toto nastavení odejmutím klíčů z uzamykatelných ovládačů a přepínačů a uložit tyto klíče na provozovatelem určeném místě tak, aby nepovolaná osoba toto nastavení nemohla změnit nebo zneužít. Vstup nepovolaných pracovníků na pracoviště je nutno zamezit místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem. Přístup do pracovního prostoru stroje v režimu seřizování mohou provádět pouze osoby pověřené, řádně poučené a určené uživatelem, které jsou obeznámeny s pracovními postupy, uvedenými v tomto návodu. Během seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů a při manipulaci se zpracovanými výrobky s ostrými hranami musí pracovník vždy používat ochranné pomůcky. Je nutné pravidelně provádět zkoušky ochranných zařízení.</p>	

Tab. 28) Mechanická rizika při pohybu krytu CNC stroje v ručním režimu

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Stlačení Tření nebo odření Naražení Stříhu	Zrychlení, zpomalení Hranaté části Pohybující se prvky Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: T / o / pm / v = 3 <i>Opatření:</i> Volbou ručního režimu a otevřením branky v oplocení dojde k elektrickému zablokování pohonu ochranného krytu soustruhu. Po odjištění mechanické spojky, lze s krytem manipulovat ručně.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: T / o / pm / s = 2 <i>Opatření:</i> Pravidelná kontrola bezpečnostních obvodů, dodržování pracovních postupů pro ruční režim, návodu k používání, dokonalá znalost funkcí stroje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkových opatření: T / o / pm / m = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Nedodržení pracovních postupů a bezpečnostních opatření. Nesprávná manipulace, nebo nepozornost při práci.</p> <p><i>Řešení:</i> Po ukončení nastavení příslušného pracovního režimu zařízení je uživatelem pověřená osoba povinna zajistit toto nastavení odejmutím klíčů z uzamykatelných ovládačů a přepínačů a uložit tyto klíče na provozovatelem určeném místě tak, aby nepovolaná osoba toto nastavení nemohla změnit nebo zneužít. Je nutno zamezit vstupu nepovolaným pracovníkům na pracoviště místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem. Při seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů a při manipulaci se zpracovanými výrobky s ostrými hranami musí pracovník vždy používat ochranné pomůcky. Je nutné pravidelně provádět zkoušky ochranných zařízení.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Výkresy Výpočty ČSN EN ISO 13857, 14119, 14120, 13849-1

Tab. 29) Mechanická rizika seřizování pneumatických mechanismů

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Přeběh Vymrštní Stlačení Pořezání nebo oddělení Vtažení nebo zachycení Tření nebo odření Naražení Stříhu Uklouznutí, zakopnutí a pád Propíchnutí	Zrychlení, zpomalení Hranaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Pohyblivost strojního zařízení Pohybující se prvky Rotující prvky Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / o / pm / v = 7$</p> <p><i>Opatření:</i> Vstup do vnitřního prostoru pracoviště je v režimu seřizování možný. Ovládání pohybů je možné z ovládacího panelu umístěného mimo oplocený prostor. Při výpadku elektrické energie dojde k zastavení nebezpečného pohybu.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $T / o / pm / s = 2$</p> <p><i>Opatření:</i> Pravidelná kontrola bezpečnostních obvodů, dodržování pracovních postupů pro režim seřizování, návodu k používání, dokonalá znalost funkcí stroje</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / pm / s = 2$</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Nedodržení pracovních postupů bezpečnostních opatření a nesprávná manipulace. Dále nepozornost při práci či přístup nepovolaných osob.</p> <p><i>Řešení:</i> Po ukončení nastavení příslušného pracovního režimu zařízení je uživatelem pověřená osoba povinna zajistit toto nastavení odejmutím klíčů z uzamykatelných ovládačů a přepínačů a uložit tyto klíče na provozovatelem určeném místě tak, aby nepovolaná osoba toto nastavení nemohla změnit nebo zneužít. Vstupu nepovolaných pracovníků na pracoviště je nutno zamezit místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem. Přístup do pracovního prostoru stroje v režimu seřizování mohou provádět pouze osoby pověřené, řádně poučené a určené uživatelem, které jsou obeznámeny s pracovními postupy, uvedenými v tomto návodu. Při seřizování je nutno dbát bezpečnostních předpisů a při manipulaci se zpracovanými výrobky s ostrými hranami musí pracovník vždy používat ochranné pomůcky. Je nutno pravidelně provádět zkoušky ochranných zařízení.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Výkresy Výpočty ČSN EN 349+A1, ČSN EN ISO 13857, 14119, 14120,13849-1

8.2.2 Elektrická nebezpečí

Tab. 30) Nebezpečí úrazu el. proudem

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Úraz elektrickým proudem Smrt elektrickým proudem	Živé části Části, které se staly živými při závadě Zkrat	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $s / \check{C} / sm / v = 10$</p> <p><i>Opatření:</i> Ochrana živých částí izolací, krytem zajišťující minimální krytí IP 20, ochrana neživých částí samočinným odpojením od zdroje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: $s / \check{C} / pm / v = 9$</p> <p><i>Opatření:</i> Práce je vykonávána znalými pracovníky, při dodržování předepsaných bezpečnostních předpisů. Vypracování výchozí revizní zprávy. Kompletní dokumentace se zaznamenávají změnami.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $s / o / pm / s = 6$</p> <p><i>Opatření:</i> Výstražné značení obvodů pod napětím.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $s / o / pm / m = 5$</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Poškození částí elektrického zařízení, nebo přístup k elektrickému zařízení pod napětím.</p> <p><i>Řešení:</i> Při jakémkoli poškození elektrického zařízení, nebo nestandardním chování je nutno zajistit neprodlenou opravu, poškozené zařízení se nesmí používat. Při otevření krytu elektrického zařízení rozvaděčů jsou obvody zapojené před hlavním vypínačem / jističem a blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů trvale pod napětím. Obvody před hlavním vypínačem / jističem jsou označeny výstražnou bezpečnostní značkou, a jejich provedení odpovídá krytí IP20. Blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů jsou odlišeny oranžovou barvou izolace vodičů a označeny výstražnou bezpečnostní značkou. Po odejmutí krytu elektrického zařízení z důvodu údržby je nutno po provedené opravě kryt s výstražnou bezpečnostní značkou namontovat na původní místo.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření ČSN EN 60204-1 ed.2., 50110-1 ed.3

Tab. 31) Nebezpečí vyvolaná elektrostatickými jevy

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
<p>Úraz elektrickým proudem Smrt elektrickým proudem</p>	<p>Kontakt s nabitými částmi</p>	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: s / Č / pm / v = 9 <i>Opatření:</i> Ochranné kryty lze otevřít až po vybití nebezpečného náboje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí konstrukčního opatření: s / o / pm / s = 6 <i>Opatření:</i> Ochrana živých částí izolací, krytem zajišťující minimální krytí IP 20, je provedeno ochranné pospojování všech částí kovových, neživých a cizích, které mohou mít proti sobě různý potenciál.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: T / o / sm / s = 3 <i>Opatření:</i> používání správných postupů a metod práce, vypnutí, zajištění, odzkoušení, zemnění a vybití nebezpečného náboje, zkratování.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: T / o / pm / m = 1 <i>Opatření:</i> Výstražné značení obvodů s náboji.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: T / o / pm / m = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Poškození částí elektrického zařízení, přístup k elektrickému zařízení pod napětím. <i>Řešení:</i> Při jakémkoli poškození elektrického zařízení, nebo nestandardním chování je nutno zajistit neprodlenou opravu a poškozené zařízení se nesmí používat. Při otevření krytu elektrického zařízení rozvaděčů jsou obvody zapojené před hlavním vypínačem / jističem a blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů trvale pod napětím. Obvody před hlavním vypínačem / jističem jsou označeny výstražnou bezpečnostní značkou, a jejich provedení odpovídá krytí IP20. Blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů jsou odlišeny oranžovou barvou izolace vodičů a označeny výstražnou bezpečnostní značkou. Po odejmutí krytu elektrického zařízení z důvodu údržby je nutno po provedené opravě kryt s výstražnou bezpečnostní značkou namontovat na původní místo.</p>	<p>Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření ČSN EN 60204-1 ed.2., 50110-1 ed.3</p>

8.2.3 Tepelná nebezpečí

Tab. 32) Tepelná nebezpečí skluzu pro zmetkové kusy

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Popálení Opaření	Předměty nebo materiály s vysokou teplotou Vyzařování tepla	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: L / - / sm / v = 2 <i>Opatření:</i> Díly jsou ukládány bedny. s díly je možné manipulovat až po jejich vychladnutí. Do doby vychladnutí manipulovat s díly pomocí přípravků.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí konstrukčního opatření: L / - / pm / v = 1 <i>Opatření:</i> Dodržování místních provozních předpisů, osobní ochranné prostředky.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: L / - / pm / v = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Nedodržování bezpečnostních předpisů, nepoužívání ochranných pomůcek. <i>Řešení:</i> Průběžné kontroly nadřízeným pracovníkem, zaměstnání zodpovědných pracovníků a zamezení přístupu nepovolaných osob.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška ČSN EN ISO 13857, 14120

Tab. 33) Tepelná nebezpečí v seřizovacím režimu

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Popálení Opaření	Předměty nebo materiály s vysokou teplotou Vyzařování tepla	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: L / - / sm / v = 2 <i>Opatření:</i> Předpis používání osobních ochranných pracovních prostředků.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: L / - / pm / v = 1 <i>Zbytková rizika:</i> Špatný odhad možného nebezpečí. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný personál a správný pracovní postup.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška ČSN EN ISO 13857, 14120

8.2.4 Nebezpečí hluku

Tab. 34) Nebezpečí hluku

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Nepohodlí Ztráta sluchu Ztráta vědomí Ztráta rovnováhy Stres Únava Hučení v uších	Výrobní proces Padající součásti Vzájemné nárazy dílů Pohony Pohybující se části Poškrábané povrchy Nevyvážené rotující části Pískající pneumatické zařízení	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: T / Č / sm / v = 6</p> <p><i>Opatření:</i> Používání osobních ochranných pracovních prostředků proti hluku, správné manipulační postupy.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: T / Č / pm / s = 4</p> <p><i>Opatření:</i> Pracovní postupy zmenšují riziko hluku.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: L / - / pm / s = 0</p> <p><i>Zbytková rizika:</i> Nepoužívání ochranných pomůcek, dlouhodobý pobyt.</p> <p><i>Řešení:</i> Průběžné kontroly nadřízeným pracovníkem, omezení přítomnosti osob a bezpečnostní přestávky.</p>	Vizuální kontrola Měření ČSN EN ISO 14120, 11202, 3746

8.3 Likvidace zařízení

8.3.1 Mechanická nebezpečí

Tab. 35) Mechanická nebezpečí při demontáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Stlačení Stříhu Pořezání nebo useknutí	Zrychlení, zpomalení Hranaté části Řezné části Pružné prvky Padající předměty Tíže Výška od podlahy	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: T / Č / sm / s = 5</p> <p><i>Opatření:</i> Kontrola nosnosti vázacích prostředků, zjištění těžiště manipulovaných břemen, předem určit postup demontáže podle výkresové dokumentace, při převážení montovaného zařízení dodržovat bezpečnou vzdálenost a bezpečnost práce, předpis používání osobních ochranných pracovních prostředků. Odborná způsobilost pro obsluhu používaných zařízení.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: T / Č / pm / s = 4</p> <p><i>Opatření:</i> Nápis, varování, průvodní dokumentace, osobní ochranné prostředky.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška Výkresy Výpočty

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
	Nerovné, kluzké povrchy Ostré hrany Stabilita	Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / \check{C} / pm / m = 3$ <i>Zbytková rizika:</i> Pád přenášených těles, přístup nepovolaných pracovníků na montážní pracoviště. <i>Řešení:</i> Manipulaci mohou vykonávat vždy nejméně dva pracovníci, kteří se vzájemně kontrolují. Vstupu nepovolaných pracovníků na pracoviště je nutno zamezit ohrazením pracoviště a místními provozními bezpečnostními předpisy zpracovanými uživatelem.	
Tření nebo odření	Hrnaté části Pružné prvky Padající předměty Nerovné, kluzké povrchy Stabilita	Posouzení rizika před přijetím opatření: $L / - / sm / v = 2$ <i>Opatření:</i> Předpis používání osobních ochranných pracovních prostředků. Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $L / - / pm / v = 1$ <i>Zbytková rizika:</i> Špatný odhad možného nebezpečí. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál a správný pracovní postup.	Vizuální kontrola
Nebezpečí vymrštění částí nebo výronu vysokotlaké tekutiny	Pružné prvky Vysoký tlak	Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / \check{C} / sm / s = 5$ <i>Opatření:</i> Kontrola správnosti demontáže, těsnosti tlakových rozvodů vzduchu, zákaz přítomnosti osob při zapínání tlakových rozvodů vzduchu. Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / pm / s = 2$ <i>Opatření:</i> Nápis, varování, průvodní dokumentace, osobní ochranné prostředky. Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / pm / m = 1$ <i>Zbytková rizika:</i> Poškození tlakových rozvodů. <i>Řešení:</i> Kvalifikovaný montážní personál.	Vizuální kontrola Měření

8.3.2 Elektrická nebezpečí

Tab. 36) Elektrická nebezpečí při demontáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
<p>Úraz elektrickým proudem Smrt elektrickým proudem</p>	<p>Živé části Části, které se staly živými při závadě Zkrat</p>	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: s / Č / sm / v = 10 <i>Opatření:</i> Ochrana živých částí izolací, krytem zajišťující minimální krytí IP 20, ochrana neživých částí samočinným odpojením od zdroje.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí bezpečnostního opatření: s / Č / pm / v = 9 <i>Opatření:</i> Práce je vykonávána znalými pracovníky, při dodržování předepsaných bezpečnostních předpisů. Vypracování výchozí revizní zprávy. Kompletní dokumentace se zaznamenávají změnami.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: s / o / pm / s = 6 <i>Opatření:</i> Výstražné značení obvodů pod napětím.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: s / o / pm / m = 5 <i>Zbytková rizika:</i> Poškození částí elektrického zařízení, přístup k elektrickému zařízení pod napětím. <i>Řešení:</i> Při jakémkoli poškození elektrického zařízení, nebo nestandardním chování je nutno zajistit neprodlenou opravu a poškozené zařízení se nesmí používat. Při otevření krytu elektrického zařízení rozvaděčů jsou obvody zapojené před hlavním vypínačem / jističem a blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů trvale pod napětím. Obvody před hlavním vypínačem / jističem jsou označeny výstražnou bezpečnostní značkou, a jejich provedení odpovídá krytí IP20. Blokovací řídicí obvody napájené z vnějších zdrojů jsou odlišeny oranžovou barvou izolace vodičů a označeny výstražnou bezpečnostní značkou. Po odejmutí krytu elektrického zařízení z důvodu údržby je nutno po provedené opravě kryt s výstražnou bezpečnostní značkou namontovat na původní místo.</p>	<p>Vizuální kontrola Funkční zkouška Měření ČSN EN 60204-1 ed.2, 50110-1 ed.3</p>

8.3.3 Nebezpečí hluku

Tab. 37) Nebezpečí hluku při demontáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Ztrátě sluchu Ztráta vědomí Ztráta rovnováhy Stres Únava Hučení v uších	Demontážní proces	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / \check{C} / sm / v = 6$ <i>Opatření:</i> Používání osobních ochranných pracovních prostředků proti hluku, jiný způsob dorozumívání</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / \check{C} / pm / s = 4$ <i>Opatření:</i> pracovní postupy zmenšují riziko hluku</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / pm / s = 2$ <i>Zbytková rizika:</i> Výskyt velmi hlučných montážních prací, dlouhodobý pobyt. <i>Řešení:</i> Omezení přítomnosti osob a bezpečnostní přestávky.</p>	Vizuální kontrola Funkční zkouška

8.3.4 Nebezpečí vibrací

Tab. 28) Nebezpečí vibrací při demontáži

Nebezpečí	Zdroj	Analýza nebezpečí, přijatá opatření a zbytková rizika	Ověření opatření
Nepohodlí Poškození páteře Neurologická poškození Poškození kloubů Cévní poškození	Vibrační zařízení Ruční nářadí	<p>Posouzení rizika před přijetím opatření: $T / o / sm / v = 4$ <i>Opatření:</i> Používání správného nářadí a správných montážních postupů.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí doplňkového opatření: $T / o / sm / s = 3$ <i>Opatření:</i> Odpovídající proškolení pracovníků.</p> <p>Posouzení rizika po přijetí informačního opatření: $T / o / sm / m = 2$ <i>Zbytková rizika:</i> Dlouhotrvající práce. <i>Řešení:</i> Omezení těchto prací organizačními opatřeními.</p>	Vizuální kontrola

9 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Zhodnotíme-li zpětně cíle této diplomové práce, zjistíme že se všechny podařilo do určité míry splnit. Přihlédneme-li následně k požadavkům, které byly vyžadovány zákazníkem, je zřejmé, že splněna byla většina z nich. Do konstrukce pracoviště byla úspěšně implementována zařízení, jejichž využití zákazník požadoval. Též byly splněny požadavky prostorové, kdy se navržené pracoviště ještě s rezervou do vyhrazeného prostoru vměstná. Pro posouzení splnění všech požadavků by bylo nutné rozpracovat návrh hlouběji, i z jiné stránky než konstrukční. Pro zjištění finálního taktu pracoviště by bylo nutné provést simulaci v odpovídajícím programu. Je možné, že během simulace by se vyskytly nějaké konstrukční nedostatky, které by bylo třeba zpětně upravit. Mohlo by se například jednat o to, že by robot nebyl schopný obsloužit nějakou pozici. Nicméně konstrukční návrh byl prováděn v nejlepší úmyslu, aby k žádnému takovému problému nedošlo. Dále by bylo na místě zhodnotit celkovou finanční nákladnost projektu a návrh rozpočtu předložit zákazníkovi k posouzení.

Z konstrukčního hlediska se návrh pracoviště podařil realizovat a měl by plnit požadovaný úkol. Návrh ovšem nebyl jednoduchý, největším oříškem bylo eliminovat nedostatky, které má deskový zásobník, jehož využití přímo požadoval zákazník.

Doporučení pro praxi vyplývající ze zpracované diplomové práce spočívá v tom, že automatizace procesu, tedy nahrazení lidské obsluhy robotem se vyplatí. Ať už z hlediska ekonomického, kdy dojde k úspoře za plat pracovníka, tak hlavně z hlediska produkčního. Robot totiž zvládá monotónní činnost mnohem rychleji, a navíc bez chyb. Značnou výhodou je též fakt, že robot nepotřebuje přestávky a nevádí mu pracovat 24 hodin denně. Nicméně stále je třeba brát v úvahu, že je nutná přítomnost pracovníka, který doplní polotovary a vyjme naplněné paletky s obrobky. To je však potřeba jednou za delší časový úsek a mezitím se může věnovat jiné činnosti. Pro kompletní zlepšení procesu výroby by pak bylo vhodné použít podobné paletky, v kterých hotové obrobky opouštějí pracoviště i pro příchozí polotovary. Ideálně robotizovat i kovací pracoviště, a hotové výkovky ukládat do zmíněných palet. Ty by pak mohly být dopravovány na obrábějí pracoviště nějakým dopravníkem, či obsluhou. Tímto by byla eliminována potřeba deskového zásobníku a manipulátoru. Zároveň by mohlo dojít i ke zlepšení celkové výrobní produkce.

Nicméně navržené pracoviště přesně odpovídá požadavkům zákazníka, takže lze návrh považovat za zdařilý. Případně pokud by se zákazník rozhodl uskutečnit navrhované řešení s příchodem polotovarů v paletkách, nebylo by příliš složité návrh upravit. Nejjednodušším způsobem by bylo nahradit deskový zásobník a manipulátor podobným zařízením, které slouží ve stávajícím návrhu k paletizaci.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo navrhnout robotické pracoviště na obrábění tvarově složité součásti válcového tvaru. Konkrétně se jedná o tři různé varianty kulových čepů, které jsou používány v automobilovém průmyslu. Jednotlivé varianty čepů nejen že se vzájemně liší tvary a rozměry, ale liší se také koncepcí výroby.

Na úvod práce jsou uvedeny základní informace o průmyslových robotech a jejich nejčastěji využívaných typech. Dále se teoretická rešerše věnuje problematice koncových efektorů, je definována jejich funkce a uvedeno základní rozdělení. Zvláštní důraz je kladen na koncové efektor manipulační, protože s nimi téma práce úzce souvisí. Na závěr se rešeršní část věnuje CNC obráběcím strojům, je uvedena definice pojmu CNC a uvedeny charakteristické vlastnosti. Zároveň je provedeno základní rozdělení do několika skupin. Zpracování teoretické části mi umožnilo ujasnit si všechny potřebné informace a hlouběji proniknout do problematiky této práce.

V další části je proveden rozbor úlohy, je konkrétně definován úkol a uvedeny požadavky zákazníka. Jsou detailně popsány součásti, které má pracoviště produkovat a je uveden postup jejich výroby. Též je popsán příchod polotovarů do prostoru pracoviště a objasněny všechny funkce použitých zařízení. Velký důraz je potom kladen na uchopení čepů ať už manipulátorem, či koncovým efektozem robotu. Další důležitou součástí je kontrola jakosti vyráběných čepů, je zdůvodněna volba použitého zařízení, uvedena jeho funkce a vlastnosti. Nakonec této části je rozebrán odchod hotových dílů z prostoru pracoviště.

Následující a hlavní částí práce je pak konstrukční návrh jednotlivých zařízení. Kdy je detailně popsán postup jejich návrhu a definována funkce jednotlivých součástí. Takto je nejprve popsána konstrukce koncového efektoru, kdy jsou zhotoveny dva návrhy, z nichž je poté zvolen ten lépe vyhovující. s koncovým efektozem úzce souvisí i volba robota, která je taktéž detailně popsána. Další konstruovaným zařízením je pak manipulátor, jehož pohyb zajišťují pneumatické válce. Následuje konstrukce stanoviště pro výstupní kontrolu, a nakonec paletizační dopravník, jehož návrh nebyl vůbec jednoduchý.

Práce poté pokračuje částí, která se věnuje technickým výpočtům. Ověřili jsme, zdali je správně proveden návrh koncového efektoru, z pohledu potřebné uchopovací síly. Výpočet dokazuje, že koncový efektor je navržen správně, a ještě disponuje určitou rezervou. Následuje komentář ke zhotovené výkresové dokumentaci, kde jsou stručně popsány zhotovené výkresy.

V závěru práce je k navrženému pracovišti zhotovena analýza rizik, která posuzuje nebezpečí, jež mohou v jednotlivých fázích provozu pracoviště nastat. Jsou uvedena doporučení a opatření určená k jejich minimalizaci. Na úplný závěr je pak celkové zhodnocení provedeného návrhu. Je uvedeno, které požadavky byly splněny a jak by bylo možné docílit těch, které se nepodařilo zrealizovat. Dále je uvedeno doporučení pro praxi a návrhy pro celkovou optimalizaci výroby.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran : ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] Automotive Robotics Market 2019 Industry Top Manufactures, Size, Share, Latest Trends, Sales, Supply, Demand, Growth Analysis & Forecast 2025 [online]. SG Research Sphere, 2019 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.sgresearchsphere.com/business/automotive-robotics-market-2019-industry-top-manufactures-size-share-latest-trends-sales-supply-demand-growth-analysis-forecast-2025/>
- [3] Types of Robots Based on Configuration [online]. Camberley: Ochre Media Pvt, c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.plantautomation-technology.com/articles/types-of-robots-based-on-configuration>
- [4] ABB [online]. Mannheim: ABB, c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-910sc>
- [5] PARALLEL ROBOTS [online]. Newark: ROBOTPARK, 2015 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <http://www.robotpark.com/academy/all-types-of-robots/stationary-robots/parallel-robots/>
- [6] KUKA [online]. Augsburg: KUKA, c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [7] Kolaborativní roboty [online]. Brno: BIBUS, c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/manipulacni-technika/kolaborativni-roboty/>
- [8] Control of a robotic arm: Application to on-surface 3D-printing [online]. The Allen Institute for Artificial Intelligence, 2015 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Control-of-a-robotic-arm%3A-Application-to-on-surface-Gier/13814931335d7048ed1ef2a6c35c7a7c70f865d6#extracted>
- [9] UNIVERSAL ROBOTS [online]. Odense: Universal Robots, c2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/>
- [10] Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy? [online]. Praha: FANUC Czech, c2014-2020 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [11] Rozdíly mezi kartežskými, šestiosými a SCARA roboty [online]. Praha: E-konstruktor, 2014 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/novinka/rozdily-mezi-kartežskymi-sestiosymi-a-scara-roboty>
- [12] Magnetic Robot End Effector: Top 5 Pros and Cons [online]. Québec: Bernier, 2016 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/65794/Magnetic-Robot-End-Effector-Top-5-Pros-and-Cons>
- [13] Vacuum End Effectors [online]. Púne: IndiaMART InterMESH, c1996-2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/vacuum-end-effectors-19238360148.html>
- [14] ABB IRB 6700 robot dressed for spot welding [online]. Elgin (Illinois): FMA Communications, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/product/automationrobotics/abb-irb-6700-robot-dressed-for-spot-welding>

- [15] KUKA ready2_spray [online]. Saint-Ouen: AGARIK SAS, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/kuka-ag/product-17587-1873640.html>
- [16] AUTOMA [online]. 2011, 2011(7) [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/44069.pdf
- [17] Industrial Robots – Metrology Solution Of The Future? [online]. Castle Eaton: E-Zine Media, 2018 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://metrology.news/industrial-robots-the-metrology-solution-of-the-future/>
- [18] Schunk vítá návštěvníky pětiprstou robotickou rukou [online]. Brno: Veletrhy Brno, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://www.ibvv.cz/cs/MSV2019_schunk-letos-uvita-navstevniky-petiprstou-robotickou-rukou
- [19] SCHUNK [online]. Lauffen am Neckar: SCHUNK GmbH & Co, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/domovska-stranka/
- [20] GECKO GRIPPER – SPECIÁLNÍ PŘILNAVÁ TECHNOLOGIE, ÚCHOP BEZ OTISKŮ [online]. Odense: OnRobot A/S, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://onrobot.com/cs/vyroby/gecko-gripper>
- [21] AUTOMA [online]. 2019, 2019(8-9) [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/12430.pdf
- [22] Rozdělení CNC obráběcích strojů [online]. Zlín: macmatic, c2015 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://www.macmatic.cz/component/content/article/40-technicke-clanky/67-rozdeleni-cnc-obrabecich-stroju?fbclid=IwAR30ZIAQUZ3F__K1qPW0wUJ8nOGkFB8GejxrD5qsWltuL2nEH1sT0tppcHM
- [23] Svislé soustruhy řady 12 - 25 [online]. Blansko: OMOS, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.omos.cz/produkty/nove-stroje/svisle-soustruhy-rady-12-25/>
- [24] INTEGREG i-400 [online]. Oguchi: Yamazaki Mazak UK, c2015 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/integrex-i-400/>
- [25] Co jsou to CNC obráběcí stroje? [online]. Benátky nad Jizerou: PROFIKA, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/co-jsou-to-cnc-obrabeci-stroje>
- [26] Tyčka stabilizátoru [online]. Praha: Almix.cz, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.almix.cz/febi-tycka-stabilizatoru-predni-leva-prava-s11936.html>
- [27] Materiálové normy [online]. Praha: Feron, c2017 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- [28] ČSN EN ISO 10664 - Vnitřní hexalobulár pro šrouby. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [29] Deskové dopravníky [online]. Břežnice: VibroDesk, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.deskovedopravniky.cz/deskove-dopravniky.html>
- [30] Reference [online]. Želešice: TEISS, c2019 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.teiss.cz/reference/>
- [31] SKF [online]. Göteborg: SKF Group Headquarters, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group>
- [32] ST-10 [online]. Oxnard: Haas Automation, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/machines/lathes/st/models/standard/st-10.html>
- [33] Vysokorychlostní optický 2D mikrometr [online]. Bedrijvenlaan: KEYENCE CORPORATION, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/measure/micrometer/tm-3000/>

- [34] SMC [online]. Tokio: SMC Corporation, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz>
- [35] FESTO [online]. Praha: Festo, c2000-2010 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [36] Item [online]. Nossen: item Industrietechnik, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://cz.item24.com/cs/>
- [37] ENERGETICKÉ ŘETĚZY, FLEXIBILNÍ KABELY [online]. Litoměřice: HENNLICH, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/energeticke-retezy-flexibilni-kabely-80.html>
- [38] BALLUFF [online]. Kuřim: Balluff CZ, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/home/>
- [39] Murylon® 6 litý [online]. Dortmund: Murtefeldt Kunststoffe GmbH & Co, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.murtefeldt.cz/produkty/materialy/technicke-materialy-2/murylon-6-lity/>
- [40] DESTACO [online]. Oberursel: DESTACO, c2016-2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/>
- [41] Panely a sloupky [online]. Kladno: TROAX, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://old.troax.com/cz/ochrana-stroju/panely-sloupky>
- [42] Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007 [cit. 2020-04-15]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [43] ČSN EN ISO 12100-1 Bezpečnost strojních zařízení - Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci - Část 1: Základní terminologie, metodologie. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [44] Technické normy [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, c2005-2018 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/833001-csn-en-iso-12100_4_88295.html

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam tabulek

TAB. 1)	PARAMETRY CHAPADLA PGN-PLUS 64-1 [19].....	47
TAB. 2)	PARAMETRY CHAPADLA PWG-PLUS 50 [19].....	51
TAB. 3)	POHONY OSY X [35]	57
TAB. 4)	POHONY OSY Y [35]	57
TAB. 5)	PARAMETRY CHAPADLA PGN-PLUS 50-1 [19].....	62
TAB. 6)	INDUKČNÍ SNÍMAČ [38].....	64
TAB. 7)	VIDLICOVÁ OPTICKÁ ZÁVORA [38].....	65
TAB. 8)	PARAMETRY HLAVY SENZORU TM-065 [33].....	68
TAB. 9)	VÁLEC DFM-16-20-B-P-A-KF [35].....	70
TAB. 10)	VÁLEC DFSP-Q-20-15-DS-PA [35]	75
TAB. 11)	VÁLEC DSM-12-270-P-A-B [35].....	80
TAB. 12)	VÁLEC ADN-40-A-P-A-80Z1-160Z2 [35].....	82
TAB. 13)	REFLEXNÍ OPTICKÉ ZÁVORY [38].....	83
TAB. 14)	RYCHLOST PŘI JMENOVITÉ MEZNÍ ZÁTĚŽI.....	89
TAB. 15)	ČASY PRO DOSAŽENÍ MAXIMÁLNÍCH RYCHLOSTÍ JEDNOTLIVÝCH OS	90
TAB. 16)	ZÁZNAM MĚŘENÍ.....	94
TAB. 17)	ANALÝZA RIZIK	100
TAB. 18)	MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ PŘI MONTÁŽI.....	101
TAB. 19)	ELEKTRICKÁ NEBEZPEČÍ PŘI MONTÁŽI.....	102
TAB. 20)	NEBEZPEČÍ VYVOLANÉ ELEKTROSTATICKÝMI JEVI PŘI MONTÁŽI.....	103
TAB. 21)	NEBEZPEČÍ NADMĚRNÉHO HLUKU PŘI MONTÁŽI.....	104
TAB. 22)	NEBEZPEČÍ VIBRACÍ PŘI MONTÁŽI	105
TAB. 23)	NEBEZPEČNÉ MATERIÁLY A LÁTKY	106
TAB. 24)	MECHANICKÁ RIZIKA NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ.....	107
TAB. 25)	MECHANICKÁ RIZIKA AUTOMATICKÉHO REŽIMU	108
TAB. 26)	MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ OBSLUHY PRACOVÍŠTĚ.....	108
TAB. 27)	MECHANICKÁ RIZIKA PŘI SEŘIZOVÁNÍ PRACOVÍŠTĚ.....	109
TAB. 28)	MECHANICKÁ RIZIKA PŘI POHYBU KRYTU CNC STROJE V RUČNÍM REŽIMU	111
TAB. 29)	MECHANICKÁ RIZIKA SEŘIZOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ	112
TAB. 30)	NEBEZPEČÍ ÚRAZU EL. PROUDEM.....	113
TAB. 31)	NEBEZPEČÍ VYVOLANÁ ELEKTROSTATICKÝMI JEVI	114
TAB. 32)	TEPELNÁ NEBEZPEČÍ SKLUZU PRO ZMETKOVÉ KUSY.....	115
TAB. 33)	TEPELNÁ NEBEZPEČÍ V SEŘIZOVACÍM REŽIMU	115
TAB. 34)	NEBEZPEČÍ HLUKU	116
TAB. 35)	MECHANICKÁ NEBEZPEČÍ PŘI DEMONTÁŽI	116
TAB. 36)	ELEKTRICKÁ NEBEZPEČÍ PŘI DEMONTÁŽI	118
TAB. 37)	NEBEZPEČÍ HLUKU PŘI DEMONTÁŽI	119
TAB. 38)	NEBEZPEČÍ VIBRACÍ PŘI DEMONTÁŽI.....	119

12.2 Seznam obrázků

OBR. 1)	ROBOTIZOVANÁ VÝROBNÍ LINKA [2]	21
OBR. 2)	KARTÉZSKÝ ROBOT [3]	22
OBR. 3)	ROBOT TYPU SCARA [3][4].....	22
OBR. 4)	DELTA ROBOTY [4][5]	23
OBR. 5)	ŠESTIOSÝ ROBOT [3][6].....	23
OBR. 6)	KOLABORATIVNÍ ROBOTY [7][8][9].....	24
OBR. 7)	KONCOVÝ EFEKTOR MANIPULAČNÍ MAGNETICKÝ [12]	25
OBR. 8)	KONCOVÝ EFEKTOR MANIPULAČNÍ MECHANICKÝ	26
OBR. 9)	KONCOVÝ EFEKTOR MANIPULAČNÍ PODTLAKOVÝ [13]	27
OBR. 10)	ROBOT VYBAVENÝ KLEŠTĚMI PRO BODOVÉ SVÁŘENÍ [14].....	27
OBR. 11)	READY2_SPRAY [15].....	28
OBR. 12)	MĚŘENÍ POMOCÍ ROBOTU.....	28
OBR. 13)	KOMBINOVANÝ KONCOVÝ EFEKTOR [1]	29
OBR. 14)	SCHUNK SVH [19].....	29
OBR. 15)	GECKO GRIPPER [20]	30
OBR. 16)	HORIZONTÁLNÍ CNC SOUSTRUH [22].....	31
OBR. 17)	VERTIKÁLNÍ CNC SOUSTRUH [23]	31
OBR. 18)	VERTIKÁLNÍ CNC FRÉZKA [22].....	32
OBR. 19)	PĚTIOSÉ CNC FRÉZOVACÍ CENTRUM [22].....	32
OBR. 20)	MULTIFUNKČNÍ CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM [24].....	33
OBR. 21)	TYČKA STABILIZÁTORU S KULOVÝMI ČEPY [26].....	35
OBR. 22)	ČEP ALFA	36
OBR. 23)	POLOTOVAR ČEPU ALFA	36
OBR. 24)	ČEP BETA	37
OBR. 25)	POLOTOVAR ČEPU BETA	37
OBR. 26)	ČEP GAMA	37
OBR. 27)	POLOTOVAR ČEPU GAMA.....	38
OBR. 28)	DESKOVÝ DOPRAVNÍK [30].....	38
OBR. 29)	DESKOVÝ ZÁSOBNÍK.....	39
OBR. 30)	PODÁVÁNÍ POLOTOVARU ZÁSOBNÍKEM	39
OBR. 31)	ŘEZ PRSTEM MANIPULÁTORU VARIANTA Č. 1	40
OBR. 32)	VARIANTA Č.1, POUŽITÍ LOŽISEK.....	41
OBR. 33)	POLOVIČNÍ ŘEZ VARIANTOU Č.2.....	41
OBR. 34)	VARIANTA Č.3, ROVNÉ PRSTY	42
OBR. 35)	UCHOPENÍ ČEPŮ.....	43
OBR. 36)	HAAS ST-1 [32]	44
OBR. 37)	SCHÉMA VYSÍLAČE TM-3000 [33]	44
OBR. 38)	ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA TM-3001 [33]	45
OBR. 39)	PALETA.....	45
OBR. 40)	PRST VARIANTA Č. 1.1	48
OBR. 41)	PRST VARIANTA Č. 1.2 V ŘEZU	48

OBR. 42)	TĚLO UCHOPOVAČE VARIANTY Č. 1.....	49
OBR. 43)	PŘÍRUBA.....	50
OBR. 44)	STŘEDÍCÍ KROUŽEK.....	50
OBR. 45)	KONZOLA.....	50
OBR. 46)	PRST VARIANTA Č. 2.....	51
OBR. 47)	TĚLO VARIANTA Č. 2.....	52
OBR. 48)	UCHOPOVAČ ŘEŠENÍ Č. 1.....	52
OBR. 49)	UCHOPOVAČ ŘEŠENÍ Č. 2.....	53
OBR. 50)	KOSTKA OFUKU.....	54
OBR. 51)	PROTIKUS KOSTKY OFUKU.....	54
OBR. 52)	SESTAVA OFUKU.....	54
OBR. 53)	KONCOVÝ EFEKTOR.....	55
OBR. 54)	KUKA KR 10 R1420.....	56
OBR. 55)	PRŮŘEZ PROFILU [36].....	58
OBR. 56)	ÚHLOVÁ SPOJKA A NOŽKA.....	58
OBR. 57)	DESKA STOLU MANIPULÁTORU.....	58
OBR. 58)	SESTAVA STOLU MANIPULÁTORU.....	59
OBR. 59)	DESKY TĚLA.....	59
OBR. 60)	TĚLO MANIPULÁTORU.....	60
OBR. 61)	PRIZMATICKÉ LŮŽKO VARIANTA 1.....	60
OBR. 62)	PRIZMATICKÉ LŮŽKO VARIANTA 2.....	61
OBR. 63)	SPOJOVACÍ SOUČÁSTI.....	61
OBR. 64)	PRST MANIPULÁTORU.....	62
OBR. 65)	ENERGETICKÉ ŘETĚZY.....	63
OBR. 66)	DRŽÁKY ENERGETICKÝCH ŘETĚZŮ.....	63
OBR. 67)	MONTÁŽNÍ PLÍŠEK PRO INDUKČNÍ SNÍMAČE.....	64
OBR. 68)	MANIPULÁTOR.....	66
OBR. 69)	DESKA STOLU KONTROLY.....	67
OBR. 70)	STŮL VÝSTUPNÍ KONTROLY.....	67
OBR. 71)	OCHRANNÝ SKLENĚNÝ KRYT [33].....	68
OBR. 72)	DESKY TĚLA KONTROLY.....	69
OBR. 73)	TĚLO KONTROLY.....	69
OBR. 74)	PRIZMATICKÉ LŮŽKO.....	70
OBR. 75)	SPOJOVACÍ SOUČÁSTI.....	71
OBR. 76)	KRYT STANOVIŠTĚ KONTROLY.....	71
OBR. 77)	SKLUZ PRO NOK DÍLY.....	72
OBR. 78)	SOUČÁSTI PRO MONTÁŽ SKLUZU.....	72
OBR. 79)	SESTAVA SKLUZU PRO ZMETKY.....	72
OBR. 80)	STANOVIŠTĚ VÝSTUPNÍ KONTROLY.....	73
OBR. 81)	RÁM PALETIZACE.....	74
OBR. 82)	KOLEJNÍČKA S VALIVÝMI ELEMENTY.....	75
OBR. 83)	MECHANISMUS DÁVKOVÁNÍ PALET.....	76
OBR. 84)	HORNÍ SKLUZ.....	76

OBR. 85)	ČELO SE ZARÁŽKAMI.....	77
OBR. 86)	SPODNÍ SKLUZ.....	77
OBR. 87)	HŘÍDEL.....	77
OBR. 88)	SVĚRNÁ SOUČÁST.....	78
OBR. 89)	SVĚR HŘÍDELE.....	78
OBR. 90)	LOŽISKOVÉ TĚLESO CRLNZG-63.....	78
OBR. 91)	MONTÁŽNÍ KOSTKA.....	79
OBR. 92)	MECHANISMUS POHYBU STOLU.....	79
OBR. 93)	BOČNÍ NAVÁDĚČE.....	80
OBR. 94)	KYVADLO.....	80
OBR. 95)	UPÍNAČ PALETY.....	81
OBR. 96)	PŘIPOJENÍ MECHANISMU POHONU STOLU.....	81
OBR. 97)	SESTAVA POHYBLIVÉHO PRACOVNÍHO STOLU.....	82
OBR. 98)	SESTAVA POHONU STOLU.....	83
OBR. 99)	SESTAVA SNÍMAČE NA SKLUZU.....	84
OBR. 100)	SNÍMAČ NA BOČNÍCH NAVÁDĚČÍCH.....	84
OBR. 101)	POHYB STOLU.....	85
OBR. 102)	SPOJKY PROFILŮ POD ÚHLEM.....	85
OBR. 103)	SESTAVA STANOVIŠTĚ PALETIZACE.....	86
OBR. 104)	PRVNÍ ČÁST OPLOCENÍ.....	87
OBR. 105)	DRUHÁ ČÁST OPLOCENÍ.....	87
OBR. 106)	3D POHLED NA KOMPLETNÍ PRACOVIŠTĚ.....	88
OBR. 107)	ROZMĚRY ROBOTU KUKA KR 10 R1420 [6].....	90
OBR. 108)	ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY UCHOPENÍ [42].....	92
OBR. 109)	ROZLOŽENÍ SIL NA NAKLONĚNÉ ROVINĚ.....	93

13 SEZNAM PŘÍLOH

- DP-PF-A1-001 Layout pracoviště
- DP-PF-A1-002 Uchopovač
- DP-PF-A3-003 Prst uchopovače
- DP-PF-A1-004 Výstupní kontrola
- DP-PF-A2-005 Kryt kontroly
- DP-PF-A4-006 Odkladové lůžko
- DP-PF-A3-007 Prst manipulátoru
- DP-PF-A1-008 Pneuschéma