

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

Řešení manipulace s výrobky mezi střížnými G-ASL stroji

Bakalářská práce

Filip Šachta

Školitel: Doc. RNDr. Vítězslav Straňák, Ph.D.
Školitel – specialista, konzultant: Ing. Miloš Kozák

České Budějovice 2019

Bibliografické údaje

ŠACHTA, Filip. *Řešení manipulace s výrobky mezi střížnými G-ASL stroji.* [Manipulation and transfer of workpieces between G-ASL machines: proposed concept Bc. Thesis, in Czech] - 42 p., České Budějovice, 2019. Bakalářská práce. Faculty of Science, University of South Bohemia. Vedoucí práce Vítězslav Straňák.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem vhodného řešení pro automatizaci výrobní linky. Práce má dvě hlavní části. Cílem teoretické části je seznámení s automatizací a s nejrůznějšími způsoby využití. V praktické části se nachází samotné návrhy řešení pro automatizování manipulace mezi G-ASL stroji a následně výběr toho nejvhodnějšího včetně ekonomických výpočtů.

Annotation

The bachelor thesis focuses on concept for automation production line automation. The thesis consists of two main parts. The theoretical part summarises basics of automation for various applications. In the practical part, there is a proposal of concept for automatized manipulation and transfer of workpieces between two G-ASL machines. As a result the best solution is discussed.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne Podpis autora

Poděkování

Děkuji doc. RNDr. Vítězslavu Straňákovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, při jejím zpracování a za přínosné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Miloši Kozákovi a jeho týmu specialistů za poskytování nejrůznějších informací a odborné posouzení mých návrhů automatizace linky.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Automatizace a postup při zavádění	2
3. Manipulační stroje a zařízení	4
3.1. Rozdělení.....	4
4. Průmyslové Roboty.....	7
4.1. Kinematika	7
4.2. Senzorika	9
4.2.1. Tenzometr.....	10
4.2.2. Světelná závora.....	10
4.2.3. Snímač tlaku	11
4.3. Bezpečnost.....	12
4.3.1. SafeMove2.....	14
5. Společnost Mektec.....	16
5.1. Výrobní linka.....	17
6. Řešení.....	19
6.1. Navrhovaná řešení	20
6.2. Vybrané řešení.....	21
6.2.1. Založení polotovaru	25
6.2.2. Založení hotového výrobku	28
6.3. Ekonomický návrh.....	31
7. Závěr	34
Literatura	35
Přílohy	38

1. Úvod

V dnešní době se velmi často setkáváme s pojmy, jako je robot, manipulátor a další. Všechny tyto pojmy můžeme shrnout pod jeden název - automatizace. Nejčastěji se jedná o přemísťování nebo jinou manipulaci s výrobky, které jsou pro člověka těžké, zdraví nebezpečné anebo samotná manipulace může být pro pracovníka monotónní a tudíž postupem času i chybná.

V mé bakalářské práci se snažím eliminovat člověka z výrobního procesu na lince G-ASL, který zde má za úkol pouze přemísťování materiálu mezi stroji a jeho založení. Předpokládám, že nahrazením pracovníka lze zvýšit rychlost a plynulost výroby a tím i zisk. Dalším důvodem pro zavedení některého z možných manipulačních strojů a zařízení, je schopnost firmy reagovat v krátkém intervalu na změnu poptávky pouhou změnou programu, nikoli přeškolením několika zaměstnanců, čímž se stává ještě více konkurence schopnější. V případě využití strojů minimalizujeme také riziko poškození výrobku během manipulace nebo špatným založením a můžeme dosáhnout kvalitnější paletizace již hotových výrobků.

S ohledem na trh práce a nedostatek kvalifikovaných pracovníků nabírá zavádění automatizace na významu a mnoho firem se snaží adaptovat na tento trend, protože dříve několika početný tým skládající se z (ne)kvalifikovaných lidí, dokážeme nahradit strojem, který potřebuje "pouze" naprogramovat.

Cílem mé bakalářské práce je vypracovat návrhy automatizované manipulace výrobků mezi stroji G-ASL ve strojírenské firmě. U těchto návrhů hodnotím klady a zápory a nakonec vyberu nejvhodnější řešení tak, aby bylo co nejpříjemnější, tzn. mělo by být ekonomicky zvládnutelné s určitou návratností a zároveň by nemělo přinášet velké změny, co se týče využití daných strojů apod.

2. Automatizace a postup při zavádění

Automatizací rozumíme proces, ve kterém technická zařízení úplně nebo jen částečně nahrazují fyzickou a duševní práci člověka [1]. Postup řešení problematiky zavedení automatizace se může lišit podle náročnosti výroby. Platí ovšem takové základní kroky, které se dále mohou rozvíjet dle problému. Jako první krok je analýza problému. V případě, že zjistíme, že daný úkon lze automatizovat, následují základní otázky: co nám automatizace přinese, kolik to může stát času a peněz a nakonec kdo daný problém bude řešit, zda externí firma nebo jsme schopni si nějaký jednoduchý stroj sestrojít sami. Poté řešíme podrobněji systém (linku). Je nutné celý systém rozdělit na jednotlivé kroky, rozhodnout co přesně lze automatizovat a jakou veličinou budeme stroj řídit. Na základě těchto parametrů vybereme vhodný stroj pro automatizaci s ohledem na software, hardware a periférie. Software je programové prostředí, ve kterém se tvoří program pro řízení stroje. Hardware je samotný stroj s ohledem na velikost, maximální možné zatížení, rychlosti pohybu a další. Mezi periférie patří vše, co nějakým způsobem spolupracuje s průmyslovými roboty či manipulátory a ovlivňuje jeho funkčnost. Jsou to nejrůznější senzory pro usnadnění řízení, jako je snímač polohy, světelná brána a další. Můžeme sem zařadit i takové věci, jako je rozvod pneumatiky a její další využití, například v endefektoru (koncový bod – uchopovač) nebo panel pro ruční ovládání [1,2].

Cíle automatizace mohou být subjektivní dle požadavků firmy. Jedna firma může chtít eliminovat člověka, například z důvodu nebezpečnosti prostředí, druhá zase chce zvýšit produktivitu výroby. Objektivní cíle můžeme shrnout celkově do třech kategorií. Ekonomická kategorie, která zvyšuje produktivitu, snižuje náklady na zaměstnance a snižuje také zmetkovitost. Dalším hlediskem je samotný výrobek. Automatizace zvyšuje přesnost a tím i funkčnost daného výrobku. Samozřejmě se zvyšuje i schopnost firmy reagovat rychleji na poptávku s kvalitní nabídkou. Poslední kategorie cílů je z pohledu samotného pracovníka. Zavedení relativně čistých a tichých strojů zajišťuje příjemné prostředí pro práci. Také sem patří eliminace člověka z nebezpečných prostor nebo oprostění pracovníka od monotónní práce.

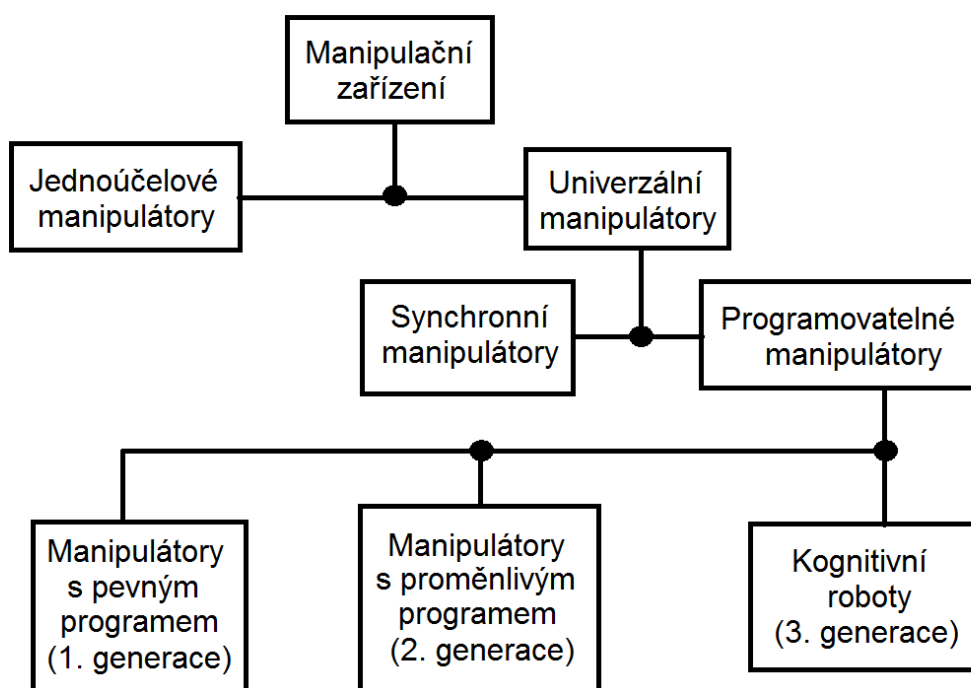
Z cílů automatizace jsou zřejmé i výhody takového zavedení, jako je zvýšení produktivity, snížení výrobních nákladů nebo eliminace chyb způsobených zaměstnancem.

Naopak nevýhodou zavedení automatizace jsou vysoké vstupní náklady, vyšší bezpečnostní riziko pro člověka v blízkosti strojů a také důkladné naplánování samotného procesu tak, aby nenastaly příliš velké nehody při uvedení do provozu. Pracovník a jeho kvalifikace je výhodou a zároveň i nevýhodou. Pro samotnou výrobu už nejsou potřeba kvalifikovaní pracovníci, protože se nahradí například robotem, ale zároveň požadavky na pracovníka, který bude daného robota programovat, provádět údržbu a další nezbytné úkony, jsou vyšší [3].

3. Manipulační stroje a zařízení

Tyto stroje mohou přesouvat polotovary ze skladů přes založení dílců do stroje až po paletizaci hotových výrobků. Lze tedy ve zkratce říct, že mají za úkol přesouvat jistý materiál na určité místo. Patří sem stroje s nejprimitivnější konstrukcí až po ty, které jsou kognitivní. Průmyslové roboty a manipulátory se v literatuře označují jako PRaM.

3.1. Rozdělení



Obrázek 1: rozdělení manipulačních zařízení [4].

Manipulační zařízení lze rozdělit na dvě základní skupiny – jednoúčelové a univerzální manipulátory. Jednoúčelové manipulátory se většinou používají u jednoúčelových strojů pro velkosériovou výrobu a bývají už zabudované v daném stroji, kterým jsou i řízené [4]. Tvar a funkce jsou přizpůsobeny pouze konkrétnímu výrobku nebo předmětům, které jsou geometricky velmi podobné. Často se tyto stroje nazývají podavači nebo autooperátory. Univerzální manipulátory, které jsou provedením, pohonem, funkcí a řízením na obsluhovaném stroji nezávislé, můžeme dále dělit na synchronní a programovatelné.

Synchronní neboli teleoperátory, řídí pracovník. Jedná se vlastně o zesilovací zařízení, které slouží k zesílení silových a pohybových veličin vyvolaných řídicím člověkem. To, že člověk ovládá přímo manipulátor, se označuje jako “man on-line“. Ovládací prvky mohou být upevněné přímo na člověku pro kopírování jeho přesných pohybů nebo externě v podobě různých pák a pedálů (ovládání na dálku). Tyto stroje představují složitý servomechanismus. Používají se nejčastěji ve vědě, kosmu, a také tam, kde přítomnost člověka může být zdraví nebezpečná (pyrotechnika, v blízkosti atomového reaktoru,...). Ve výrobě je známe pod názvem “průmyslové balancéry“, které slouží především k ulehčení manipulace s těžkými výrobky [4,5].

Programovatelné manipulátory jsou řízené programovým ústrojím. Manipulátory s pevným programem představují takové stroje, u kterých se program během činnosti nemění a celé programové ústrojí je realizováno pomocí elektricko-mechanických součástí, které je často doprovázeno programovatelným automatem (PLC). Program lze poměrně jednoduše změnit, pod čímž si představíme přestavení mechanických narážek (mechanický koncový snímač,...) a přepsání logických funkcí v PLC. Tyto stroje jsou rozšířené pro svou jednoduchost a spolehlivost pod názvem “jednoduché průmyslové roboty“. Proměnlivý program znamená, že stroj má možnost přepínání nebo volby programu podle potřeby. Jsou řízené elektronickými adaptivními systémy. Jedná se o klasický “průmyslový robot“ jak ho známe dnes [4,5].

Kognitivní robot je mechanický systém s vyšším stupněm integrované elektroniky. Mají možnost vnímání a jakéhosi rozhodování. Jsou schopny sami vytvořit program díky schopnosti učení se. Při nečekané poruše, překážce apod. jsou schopni rozhodnout, jak se s daným problémem vypořádat [4,5].

Konstrukce těchto PRaM může být stavebnicová (modulární) nebo nikoli. U stavebnicových konstrukcí můžeme navolit jak mechanické, tak řídicí funkční celky podle potřeby, tudíž složité mechanismy lze poskládat z jednotlivých jednodušších mechanismů. Konstrukce a požadavky na nejrůznější parametry se liší dle použitého stroje a vlastností přesouvaného materiálu [5].

Stroj je vystaven působení síly vyvolané vlastní tíhou, dynamickými silami, které vznikají při rozběhu a brždění, a vnějšími silami vznikajícími při realizaci technologických

operací. Odolnost konstrukce proti deformaci (posunutí a natočení) vzhledem k těmto silám vyjadřuje tuhost. Příslušné vztahy:

$$c_p = \frac{F}{y} \text{ [N} \cdot \text{m}^{-1}\text{]}, \quad c_n = \frac{M}{\varphi} \text{ [N} \cdot \text{rad}^{-1}\text{]},$$

kde c_p a c_n je tuhost, F je síla, y vyjadřuje posunutí (deformace) vyvolané silou F , M je moment a konečně φ znázorňuje úhel natočení daný deformacemi. Tuhost má zásadní vliv na přesnost polohování PRaM, součinnost jednotlivých mechanismů, zhoršuje tření a tím i opotřebení v pohyblivých částech. Je potom také potřeba větší příkon pro pohyb stroje. Tuhost lze zvýšit několika způsoby, mezi které patří například vhodná volba materiálu, tvar ramen, typ zatížení, ale také například vhodné ukotvení k základně (podlaha, stěna...) [5,6].

Na přesnost, rychlost a další parametry mají vliv samozřejmě i typy použitých motorů, avšak to jsem řešit v mé bakalářské práci nemusel, protože jsem pracoval převážně se sériově vyráběnými manipulačními stroji a jejich tabulkovými hodnotami. Podrobnější informace o pohonech lze čerpat například v literatuře [7] nebo [8].

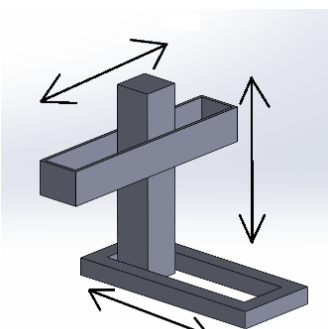
4. Průmyslové Roboty

„Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích“, takto zní definice průmyslového robotu podle normy ISO 8373 [9].

4.1. Kinematika

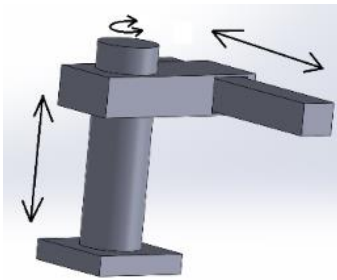
Kinematika koncového bodu se odvíjí od mechanické konstrukce robotu, která se skládá z kloubu (joint) a ramen (link). Pohybový systém je rozdělen ve většině případů na dvě části. První je polohovací systém, který má za úkol přemístit koncový bod na jiné místo. Druhou část nazýváme orientačním systémem, který pomocí natočení určí orientaci v prostoru. Schopnost manipulace vyjadřuje počet stupňů volnosti, čímž rozumíme počet nezávislých parametrů, které jednoznačně určují polohu objektu. Vazby jsou u PRaM pouze rotační (R) a posuvné neboli translační (T). Kinematický řetězec, otevřený nebo uzavřený, může obsahovat nejrůznější kombinace vazeb podle požadavku na funkční a konstrukční zhotovení, avšak nejběžnější základní kinematické struktury jsou TTT, RTT, RRT a RRR, viz níže. Tyto struktury se liší na první pohled nejen konstrukčním uspořádáním, ale také pracovním prostorem, což je prostor, který opíše koncový bod při využití všech pohybových možností. Mezi hlavní kritéria, podle kterých lze volit nejvhodnější strukturu, řadíme například tvar a velikost pracovního prostoru, přesnost, požadovanou dráhu endefektoru nebo také požadovanou orientaci koncového bodu v prostoru [5,9].

TTT struktura využívá tři posuvné dvojice v kartézském souřadnicovém systému, které jsou na sebe kolmé. Pracovním prostorem je kvádr, jehož délky hran odpovídají rozsahu daného stroje. Při samotném polohování nedochází ke změně orientace koncového bodu v prostoru. Manipulační stroje využívající tuto strukturu bývají často jednoúčelové pro pohyb na delší vzdálenost. Řízení tohoto velmi stabilního systému je vzhledem k použitým souřadnicím velmi jednoduché. Vyskytuje se hlavně u portálových konstrukcí [10,11].

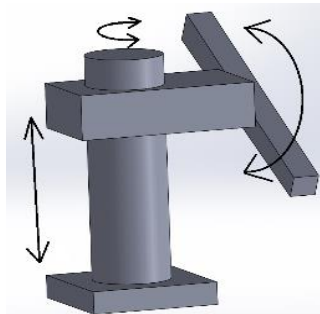


Obrázek 2: struktura TTT.

RTT neboli cylindrická pohybová struktura, je tvořena dvěma posuvnými a jednou rotační vazbou. Takto sestrojený robot má jako pracovní prostor válcový prstenec a již dochází ke změně orientace koncového bodu v prostoru. Většinou vyžadují velký operační prostor. Tyto stroje najdou největší uplatnění u jednodušší obsluhy strojů [10,11].



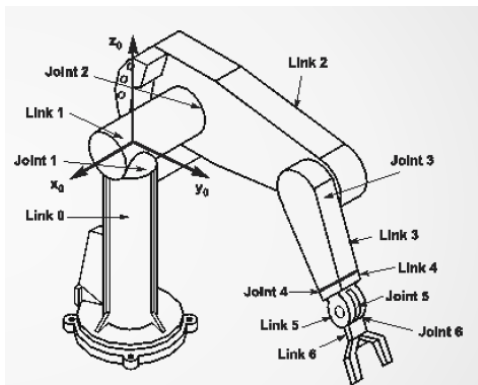
Obrázek 3: struktura RTT.



Obrázek 4: struktura RRT.

RRT můžeme nazývat sférickou strukturou, která je tvořena dvěma rotačními a jednou translační kinematickou dvojicí. Dochází zde také ke změně orientace endefektoru. Kulový vrchlík je zde pracovním prostorem, ve kterém je programování a vlastně řízení o něco složitější než u předešlých případů. Největší využití takto upořádaných kinematických dvojic nalezneme u svařovacích robotů [10,11].

RRR je složena ze tří rotací. Můžeme ji také nazývat jako angulární pohybová



Obrázek 5: struktura RRR [6].

struktura. Pracovní prostor má tvar torusu, avšak v některé literatuře se uvádí pro zjednodušení kulový vrchlík. Roboty využívající tuto strukturu se také mohou nazývat kloubovými, protože mají trojdílné rameno s otočnými klouby. Zařízení využívající RRR jsou nejrozšířenější nejen pro svoji univerzálnost, ale také proto, že zabírají nejméně místa s ohledem na velikost pracovního prostoru a také mají vysokou

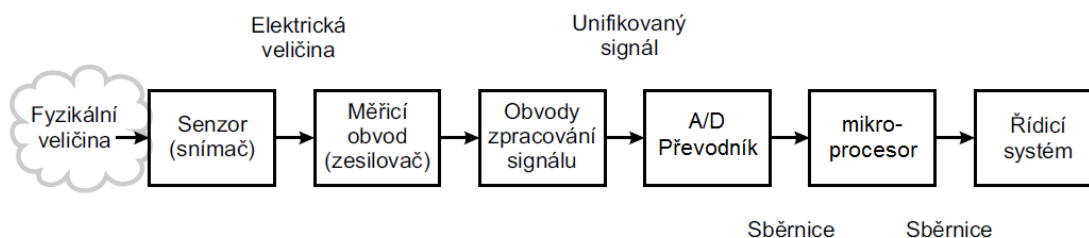
rychlost přesunu. Zrychlující síly při stejných setrvačných silách jsou v porovnání s předešlými typy podstatně menší, čímž se tato konstrukce stane tužší, což může mít vliv také na přesnost, jak už bylo zmíněno [4,10,11].

Pro popis pohybu trajektorie koncového bodu robotu využíváme kinematické úlohy. Přímou úlohu využíváme v případě, že chceme zjistit finální polohu endefektoru a známe úhel natočení klouby a délku ramene. Nepřímá úloha je opakem předešlé, tudíž známe koncovou polohu a potřebujeme zjistit úhel natočení a délku ramene. Pro obě úlohy musíme znát kinematický model robotu.

Abychom mohli pohyb řídit, musíme znát, v jakém souřadnicovém systému budeme daný problém řešit. V robotice jsou definovány 4 základní systémy. Jedná se o pravoúhlé systémy s různým umístěním počátku. World, což je jasně definovaný světový pravoúhlý systém. V případě, že jeho počátek posuneme do spodní části robotu, získáme systém Robot a v případě posunutí do pracovního prostoru získáme souřadnice Base. Existuje ještě souřadnicový systém Tool, který je na endefektoru a bývá často natočen [6].

4.2. Senzorika

Senzor je součástí regulačního obvodu, ve kterém má za úkol získávat informace o velikosti měřených veličin. Většinou je na vstupu snímače nějaká fyzikální veličina a na výstupu měronosná veličina, nejčastěji elektrický signál, který je dále zpracován pro řízení. Snímače můžeme dělit hned z několika hledisek, například podle měřené veličiny, kam patří senzory tlaku, teploty, ale také polohy nebo rychlosti, dále podle fyzikálního principu na odporové, indukční a další nebo dle kontaktu s okolním prostředím na bezdotykové a dotykové. Podle výstupu respektive transformace signálu rozlišujeme aktivní a pasivní senzory. Ty, které po působení měřené veličiny reagují jako zdroj nejčastěji elektrické energie (piezoelektrické, indukční,...), nazýváme aktivními senzory. Snímače, u kterých působení snímané veličiny vyvolá změnu některého z parametru senzoru, jsou pasivní. Zde musíme tuto změnu dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál [12,13]. Senzory robotů můžeme také dělit podle vztahu k okolí. Interní, které slouží k měření parametrů robotu, ať už se jedná o diagnostické údaje, jako je například monitorování komunikace nebo kontrola zatížení, nebo o údaje potřebné k navigaci, kam patří například polohy a rychlosti akčních členů. Externí senzory slouží k získávání údajů především o poloze robotu v globálním souřadnicovém systému a o poloze překážek nebo jiných objektů umístěných v jeho blízkosti. Díky tomu jsme schopni minimalizovat riziko kolize [7]. Snímačů existuje celá řada, nicméně níže uvedu pouze ty, které nějakým způsobem zasahují do řešení praktické části mé práce. Více o čidlech popisuje například literatura [15].



Obrázek 6: blokové Schéma senzoru [14].

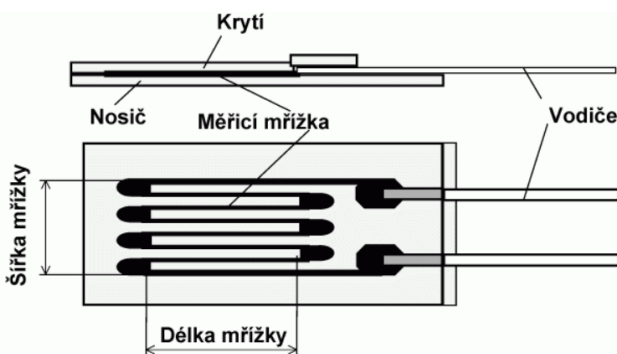
4.2.1. Tenzometr

Senzory síly sledují zatížení strojů. Základem těchto čidel jsou siloměry, které převádějí sílu na měřitelný signál, který je často elektrický. Existuje několik typů, jako jsou hydraulické, piezoelektrické nebo kapacitní, ale nejběžnější jsou tenzometrické siloměry [16]. Tenzometrické kovové snímače síly vyhodnocují změnu odporu, kterou vyvolá geometrická změna vodiče nebo jeho mikrostrukturální změny, vlivem deformace pružícího prvku, na kterém je upevněn. Funkce vychází z Hookova zákona a derivace vztahu pro ohmický odpor. Platí zde vztahy:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},$$

kde R je nominální odpor tenzometru, K je součinitel deformační citlivosti neboli tenzometrická konstanta a ε zastupuje relativní deformaci ve směru délky tenzometru. Tyto snímače jsou teplotně závislé, proto se mohou vyskytovat v zapojení s kompenzačním tenzometrem nebo častěji v zapojení do můstku. Polovodičové tenzometry nesledují změnu délky vodiče a tím jeho odpor, ale změnu vodivosti. Tyto křemíkové siloměry jsou citlivější, dokáží měřit menší síly, ale nemají lineární charakteristiku [12,17].

Tenzometrů je více druhů, avšak asi nejpoužívanější je kovový fóliový. Tyto snímače se mohou vyrábět ve tvarech, které odpovídají způsobu namáhání, což umožňuje přesné kopírování měřené deformace. Jejich citlivost K je rovna 2, chyba těchto snímačů je kolem



Obrázek 7: základní provedení tenzometru [18].

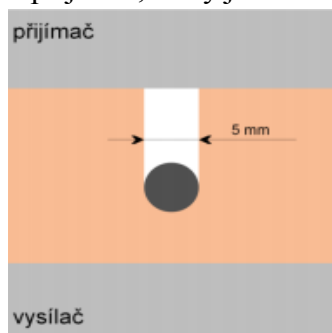
10^{-2} % a životnost až 10 miliónu cyklů. V případě, že je nutné měřit síly ve více směrech najednou, využívají se například tenzometrické kříže nebo růžice, které obsahují více meandru natočených do určitých směrů. Pro upevnění se používají speciální lepidla, které neovlivňují chybu měření svou teplotní roztažností [12,18].

4.2.2. Světelná závora

Optickými snímači lze určit polohou pomocí pravítka či děrovaného kotouče, avšak největší uplatnění nachází v oblasti bezpečnosti nebo detekce a měření předmětů. Tyto

senzory pracují se světelným paprskem a jsou schopny zachytit v podstatě jakýkoliv materiál v určité vzdálenosti (detekční zóna). Skládají se ze zdroje a detektoru světelného záření. V případě, že detektor je samostatně umístěn naproti zdroji, čidlo reaguje po přerušení paprsku. Jestliže detektor je konstrukčně součástí zdroje, potom toto uspořádání bude reagovat po odrazu paprsku od předmětu. Toto záření se může vyskytovat nejen ve viditelném, ale i neviditelném spektru pro lidské oko [15].

Jednocestná světelná závora má pouze jeden světelný paprsek, který je vysílán přímo na přijímač, který je v ose vysílače. Objekt, který chceme detekovat, musí být větší než aktivní



Obrázek 8: princip měření pomocí laseru [19].

zóna pro jasné přerušení paprsku. Tato závora se používá například pro třídění dílu na výrobním pásu. Pokud použijeme u složitějších závor laser, můžeme jím i měřit. Princip tohoto měření vyplývá z obrázku 8. Reflexní závory jsou podobné, ale zdroj i detektor jsou ve stejném pouzdře a světlo se odráží od odrazného prvku, který je ve stejné ose. Nastává zde problém s detekcí předmětu, který mají lesklý povrch [19].

Multipaprskové závory neboli světelné závěsy se také skládají ze zdroje a přijímače, avšak mají hned několik světelných paprsků, které mohou mít například mezi sebou různé rozestupy nebo jiný směr, což umožňuje v relativně velkém prostoru detekovat i malý předmět. Pro aktivaci výstupu stačí přerušení pouze jednoho paprsku. Díky tomu jsou schopny například počítat malé předměty na dopravním pásu nebo mohou představovat levnější variantu kontroly rozměrů výrobků. Velkou roli v oblasti využití hraje také bezpečnost práce. Právě kvůli několika paprskům jsme schopni pokrýt velký prostor například v oblasti stroje a předejít tak zbytečnému zranění. Bezpečnostní závory používají vlnovou délku infračerveného světla a v případě přerušení tohoto záření bude na výstupu signál, který určitým způsobem ovlivní chod stroje. Tyto závory mohou být vybavené několika funkcemi jako je například funkce muting, která dokáže „vyblokovat“ některé ochranné prvky za určitých podmínek, nebo funkce blanking, díky které jsme schopni pomocí programu předmět definovaných rozměrů ignorovat při průchodu paprsky [15,17,20].

4.2.3. Snímač tlaku

Senzory slouží k měření tlaku, které je většinou kontrolní a dává nám informaci o splnění určitých podmínek pro další chod stroje. Můžeme měřit tlaky od vakua až po velké

přetlaky. Dle měřeného tlaku rozlišujeme manometry, vakuometry a další. Tyto snímače mohou fungovat na různých principech, například u kapalinového tlakoměru se tlak určí pomocí rozdílu hladin v trubici, tzn. tyto tlakoměry porovnávají měřený tlak s hydrostatickým tlakem dané kapaliny. Druh použité kapaliny má vliv na rozsah a citlivost. Platí zde vztah:

$$\Delta p = \Delta h \cdot \rho \cdot g \text{ [Pa]},$$

kde Δp je rozdíl tlaků, Δh rozdíl výšek hladiny, ρ hustota kapaliny při dané teplotě a g je gravitační zrychlení. U měřidel které pracují na principu deformace, měřený tlak působí přímo na určitou část tlakoměru, například membránu, a vyvolá změnu jejího tvaru. Velikost této deformace odpovídá velikosti přivedeného tlaku [21].

Pro získání informace o tlaku využíváme snímače tlaku s elektrickým výstupem. V případě, že tlak působí přímo na měřidlo, jedná se o snímač s elektricky aktivním tělesem. U senzorů s deformačním členem působí tlak právě na tento člen. Přivedený tlak způsobí změnu některé elektrické veličiny, která se dále zpracovává. Nejrozšířenější jsou manometry tenzometrické, kde je výstupem nejčastěji napěťový signál, avšak existují i další typy jako jsou kapacitní nebo indukční tlakoměry [21].

4.3. Bezpečnost

Kvůli ochraně zdraví osob a majetku byly vytvořeny nejrůznější předpisy, kterými se musí řídit výrobce i provozovatel robotu. Tyto předpisy jsou dány legislativou, normami a vnitřními předpisy firmy. Ohledně bezpečnosti provozu a používání strojů platí v České republice nařízení vlády č.378/2001 a normy ČSN EN ISO 10218 a další. Při řešení otázky bezpečnosti na robotizovaném pracovišti musíme nejdříve veškerá rizika vyhledat a posoudit, poté je minimalizovat nebo úplně odstranit [22].

Hledání a posuzování možných zdrojů nebezpečí je vhodné provádět už při výběru stroje, tedy před jeho koupí. V momentě, kdy známe polohu robotu na pracovišti a víme jakými technickými parametry a bezpečnostními prvky disponuje, můžeme se zaměřit na bezpečnostní otázky. Například odkud mohou lidé přijít, jak se zachová robot v případě potencionální poruchy nebo co vyvolá nerozvážnost či chybné užití obsluhujícího personálu. Rizika se ovšem nenachází jen ve “špatném” chování robotu nebo jeho obsluhy. Hluk, čistota prostředí, vibrace nebo intenzita osvětlení jsou faktory, na které je nutností se také zaměřit.

Riziko se také vyhodnocuje podle závažnosti potenciálního zranění, které může způsobit nebo podle četnosti výskytu osob v blízkosti daného rizika.

Snížení nebo eliminace rizik se provádí několika způsoby. Jedním z nich může být



Obrázek 9: posuvné dveře s blokovacím systémem [23].

konstrukční úprava, díky které se eliminují ostré hrany nebo přesahující díly stroje, uzemnění stroje, popř. izolace některých míst, kde se dotýká člověk a další. Především rizikům můžeme také pomoci instalací mechanických nebo nemechanických ochranných opatření. Pevné ochranné prvky musí být instalovány vždy tam, kde není požadována přítomnost člověka během automatické funkce stroje a musí být upevněny ke konstrukci zařízení nebo podlaze tak, aby

pro jejich demontáž bylo zapotřebí využití nářadí [22].

Mechanické zábrany slouží přímo k zabránění vniknutí osob do blízkosti robotu. Jedná se o jakési stěny kolem zařízení. Tento ochranný prvek se v žádném případě nedemontuje. Aby obsluha nemusela kvůli kontrole vcházet do prostoru, dělají se tyto ochranné stěny často jako pletivo, přes které je vidět. Pokud operátor musí vstoupit do prostoru robotu, například za účelem doplnění materiálu nebo údržby, nachází se zde dveře s blokovacím systémem. Jedná se vlastně o zámek dveří, který se neodemkne, dokud není robot zcela v klidu a předem definované poloze. Dokud jsou dveře otevřené a zámek je tím pádem nefunkční, robot nejde spustit [23].

Použitím dvouručního ovládání nám odpadá nutnost instalace mechanických zábran. Toto ovládání se nachází v dostatečné vzdálenosti od místa, kde by mohla obsluha přijít k úrazu. Stroj stojí, dokud ho pracovník oběma rukama nezapne. Tento ochranný prvek má největší využití u takových případů, kde zaměstnanec pracuje přímo u pohyblivých částí stroje, jako jsou lisy nebo různé dopravníky pro zásobování stroje materiálem. Dvouruční ovládání může také sloužit pro blokování pohybu robotu, pokud je obsluha v jeho pracovním prostoru, avšak se zmíněným blokovacím systémem od tohoto způsobu využití upadá. Největším trendem v oblasti bezpečnosti je ne-mechanická ochrana, popřípadě její kombinace s mechanickými prostředky. Mezi tyto prvky patří světelné závěsy, plošné laserové skenery

nebo kamery. Princip funkce světelných závěsů je popsán výše. I tento způsob ochrany patří mezi pevné prvky, avšak při montáži se musí dbát na setrvačnost pohybu ramene robotu, proto se tyto prvky instalují dostatečně daleko, aby robot dokázal plně zastavit. Pro určení vzdálenosti platí vzorec:

$$S = K \cdot T + C \quad [\text{m}],$$

kde S je minimální bezpečná vzdálenost, K přístupová rychlost (hodnota kolem $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), T čas potřebný pro zastavení stroje a konečně C je dodatečná vzdálenost, která je daná rozlišením



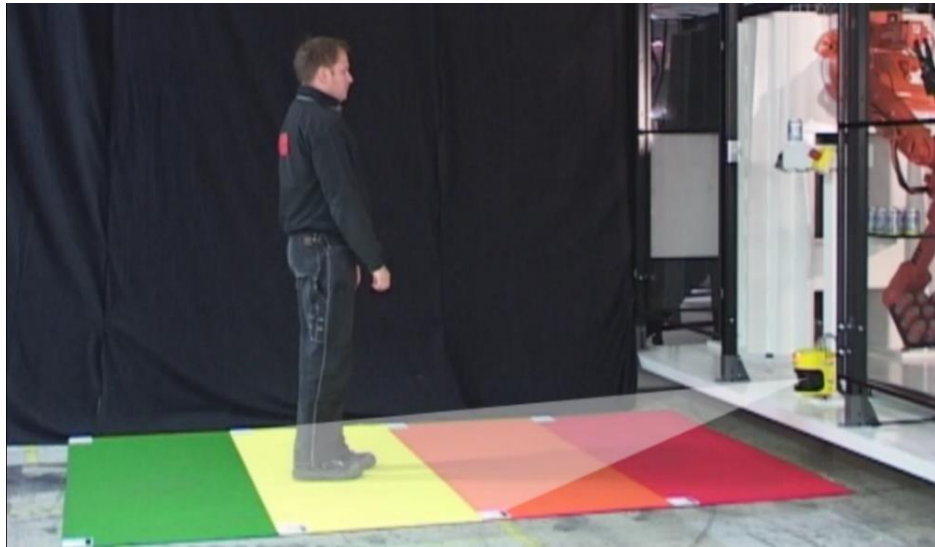
Obrázek 10: světelná závora [18].

použité světelné závory a její hodnota se také mění dle druhu provozu, směru přístupu člověka a podobně. Ochranu lze také částečně provést softwarem samotného stroje, což umožňuje instalaci pevných ochranných krytů pouze kolem skutečného pracovního prostoru robotu. Tento způsob spočívá v tom, že určitý prostor, kam by za normálních okolností robot dosáhl, je mu zakázán. Pokud by se stroj v takové oblasti nacházel, jsou omezené jeho funkce, nebo je úplně zastaven [20,22,23].

4.3.1. SafeMove2

Tato technologie společnosti ABB Ltd monitoruje určitý prostor pomocí laserového skeneru a také bezpečnost pohybu samotného robotu. Zabezpečovací funkce jsou integrovány přímo do řídicího systému robotu, díky čemuž není nutností využívat externí bezpečnostní programovatelný automat. SafeMove obsahuje miniaturizovaný hardware pro zajištění nezávislého fungování v řídicím počítači. Díky této technologii je bezpečnostní spouštění mnohem rychlejší než u běžných světelných závor. Umožňuje těsnější spolupráci robotů s lidmi díky bezpečnostním funkcím, jako jsou Safe Zones, která umožňuje nastavení velikosti “ochranného pásma“, což zefektivní samotnou výrobu a chrání dostatečně nejen majetek, ale i zdraví člověka, Safe Axis Ranges určuje maximální dosah a tím nahrazují koncové spínače nebo Safe Robot Speed, která dokáže kontrolovat rychlost pohybů tak, aby v blízkosti mohl být pracovník [24].

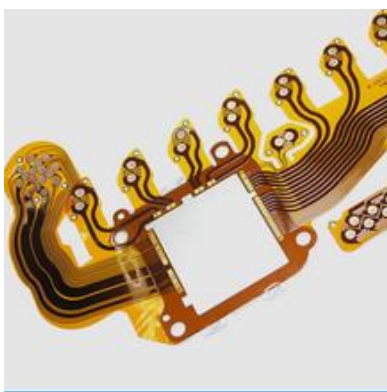
V místě, odkud může přijít pracovník, se nachází kamera, která snímá předem definované čtyři oblasti. Pokud pracovník vstoupí do první zóny, robot pracuje stále na 100%, avšak bezpečnostní systém SafeMove již upozorňuje řídicí systém na možnou aktivaci snížení rychlosti robotu. Po vstoupení do oblasti 2 se již rychlost omezí. V momentě, kdy se osoba nachází ve třetí zóně, robot stále pracuje se sníženou rychlostí, ale SafeMove posílá informaci o možné nutnosti zastavení. Následný výskyt člověka v poslední oblasti vyvolá úplné zastavení stroje. Po vykonání potřebných úkonů začne pracovník prostor opouštět. Poté SafeMove podobným způsobem, kterým stroj zastavil, opět uvede robot do provozu [24].



Obrázek 11: SafeMove2 [24].

5. Společnost Mektec

Flexibilní plošné spoje – od nápadu, přes vývoj až k výrobě, to je motto společnosti nesoucí název Mektec Manufacturing Corporation Europe CZ s.r.o. (dříve Mektec CZ s.r.o.). Firma se zabývá výrobou a osazováním flexibilních plošných spojů, nejen pro automobilový průmysl, ale také pro zdravotnický či všeobecný průmysl. FPC, z anglického flexible printed circuits, je vlastně náhrada za tradiční drátové spojení dvou a více bodů. Základními výhodami je velmi malý rozměr, ohebnost a spolehlivost. Dnes se nachází téměř v každé elektronice od domácnosti až po stroje [25].



Obrázek 12: flexibilní plošný spoj [25].

Závod v Českých Budějovicích existuje od roku 1997 a zaměstnává kolem 440 zaměstnanců, kteří mají nadprůměrné platy a nejrůznější benefity, ať už v podobě finančního ohodnocení nebo v podobě jiných výhod. Tento závod je zaměřen na tzv. “Back End“ procesy, které se skládají z lisování, laminace a lepení výztuží na flexibilní plošné spoje, elektrického testování a 100% optické kontroly.



Obrázek 13: logo společnosti [25].

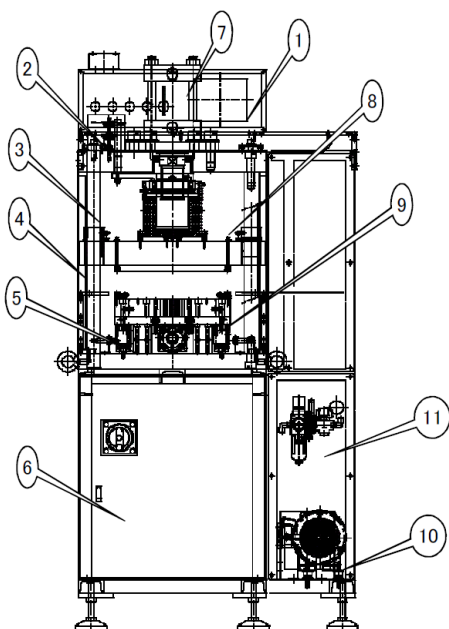
Společnost Mektec Europe GmbH, která je vlastníkem výše uvedené společnosti a patří mezi přední dodavatele pro automotive, byla založena roku 1981 jako dceřiná společnost firmy NIPPON MEKTRON, LTD., která čítá celosvětově na 30 000 zaměstnanců s obratem 2,5 miliardy amerických dolarů. Společnost má několik certifikací, jako je například ISO 9001:2008, DIN EN ISO 14001:2009 a další [25].

5.1. Výrobní linka

Celá výroba je zaměřená na flexibilní plošné spoje. Celý proces výroby se skládá z několika kroků:

- kontrola vodivých cest,
- přidání výstuže,
- zpevnění výstuže,
- stříh,
- kontrola.

Linka se skládá většinou minimálně ze tří pracovníků. Jeden zaměstnanec připravuje FPC pro stříh (laminace,...), druhý obsluhuje střížné lisy a poslední provádí kontrolu. Ve firmě se vyrábí mnoho druhů těchto spojů, které se často liší jak postupem výroby, tak i počtem pracovníků a samozřejmě normohodinami. **Mým úkolem je se zaměřit na bod 4, tedy stříh a eliminovat obsluhu těchto strojů.** Tuto operaci provádí střížný lis G-ASL, jehož součástí je jednoúčelový manipulátor. Stroje jsou z Japonska a řídí se tamními normami. Například u elektroniky je to tzv. “C” norma [26].



Obrázek 14: G-ASL střížný lis [26].

1	Dotykový panel
2	Horní/dolní koncový spínač
3	Vodící sloupky
4	Posuvná deska
5	Nosný blok
6	Kontrolní panel
7	Hydraulický válec
8	Uchycení nástroje
9	Nádoba pro odpad
10	Vakuová pumpa
11	Regulátor vzduchu

Tabulka 1: části G-ASL [26].

Proces výroby v bodě 4 spočívá v tom, že obsluha založí díl na spodní pohyblivou část nástroje, ta se přesune na místo, kde se provede stříh. Poté spodní část vyjede a manipulátor buďto změní pozici spoje nebo jej úplně odebere a přesune na odkládací stůl. Tam jej obsluha převezme a založí do druhého stroje, kde se provádí v podstatě stejná operace. Počet střížných lisů, doba trvání jejich stříhu, počet operací apod. se odvíjí od typu vyráběného spoje, avšak tyto stroje jsou shodné, akorát je zde jiný nástroj.

Tento nástroj se skládá ze spodní matrice, na které jsou zakládací kolíky pro přesné umístění FPC a horní části, kde jsou umístěny razníky. Dále je součástí vodící deska, která slouží k přesnému zavedení razníku do otvoru a také přitlačuje stříhaný kus ke spodní části nástroje tak, aby se vlivem stříhu neposunul či jinak nedeformoval. Provádí se běžná údržba, která je založena hlavně na čištění, ale také na přebrušování rovinných funkčních ploch.



Obrázek 15: příklad nástroje pro stříh.

6. Řešení

Cílem je nalézt nejvhodnější způsob, jak propojit dva stroje a zajistit tím automatickou manipulaci mezi nimi. Při řešení jsem bral v potaz pouze automatizované spojení dvou strojů. Založení dílu do prvního stroje, paletizace hotových dílů a další věci jsem řešil až v momentě, kdy případný návrh byl akceptovatelný, avšak i takový návrh byl mnohdy zamítnut, protože postupným zpracováním se ukázaly okolnosti, které byly nevyhovující nebo dokonce z nějakého důvodu nepřijatelné. Vzhledem k ukládání dílu na vymezovací kolíky na nástroji, hraje velkou roli přesnost zvoleného zařízení pro automatizaci. Dalšími kritérii pro výběr vhodného návrhu jsou rychlost pohybu, požadavky na bezpečnost, rozměry, čistota prostředí a samozřejmě ekonomická přijatelnost či jednoduchost zavedení.

Pro samotné řešení bylo zapotřebí zjistit rozměry strojů, jak je vidět na obrázku 16



Obrázek 16: rozměry G-ASL.

kde A je 700, B 250, C 600, D 220, E 1000 a F je 1700 milimetrů.

6.1. Navrhovaná řešení

Způsobů, jak danou výrobu automatizovat je více, ovšem některé byly zavrženy hned z počátku. Jako prvním velice rozšířeným způsobem, jak propojit dva body, je pásový dopravník. Výhoda toho řešení spočívá v jednoduchosti zařízení a jeho dostupnosti. Při pohledu na prostor mezi stroji nabývá toto řešení výhodu, že bychom nemuseli zasahovat do strojů, ani do prostoru kolem nich, z hlediska bezpečnosti. Otázkou však zůstává, jak dostat díl z prvního stroje na dopravník a následně na druhý stroj. Toto řešení by nakonec vyžadovalo kombinaci s dalším podavačem. Přesnost uložených dílů na dopravníku by nebylo jednoduché zajistit, a proto jsem toto řešení zavrhnul.

Dalším řešením by mohla být úprava strojů, přesněji vedení jejich přísavných podavačů. Jednalo by se především o prodloužení vedení tohoto jednoúčelového manipulátoru tak, aby mohl jeden uchopovač obsluhovat oba stroje. Bezpečnostní prvky by také zůstaly v podstatě stejné, což by minimalizovalo zabraný prostor ve výrobní hale. Tato úprava neznamená velké investice, avšak velkou roli zde hraje drastický zásah do stroje, který by znamenal v případě poruchy velké finanční ztráty. Pokud sériový stroj nefunguje, “snadno“ se vymění a výroba pokračuje dál, zatímco se nefunkční stroj paralelně opravuje. Po výše uvedeném zásahu do stroje by se výroba zastavila při jakékoliv poruše, a proto jsem tento návrh zamítnul.

Použití TTT robotu se jevílo dobře. Tyto manipulátory pracují standardně v kartézském souřadnicovém systému, takže jejich programování je jednoduché. Zhruba třetinová pořizovací cena oproti klasickému RRR robotu je také velkou výhodou. Tato zařízení mají jednoduchou údržbu, jsou dostupné a odbornou montáž se všemi zárukami zajišťuje výrobce, popřípadě integrátor. Díky velmi malému zatížení konstrukce se stává možností i TTT manipulátor s teleskopickým ramenem, což by minimalizovalo vyhrazený prostor ve výrobě, včetně použitých bezpečnostních prvků. Pokud bychom však chtěli dosáhnout velmi vysoké přesnosti a zároveň rychlosti, popřípadě mírného naklonění endefektoru, museli bychom investovat do hardwaru, popřípadě i softwaru, a tím by se pořizovací cena blížila ceně běžného robotu, který tyto hodnoty nabízí již v sériovém podání. Další nevýhodou je nemožnost dosáhnouti složitější polohy (pouze X,Y,Z). V případě, že by daný stroj měl obsluhovat více strojů, museli bychom investovat do zařízení, které je rozměrnější. S ohledem

na finanční a funkční porovnání s ‘‘klasickým‘‘ robotem jsem tento návrh zamítnul. Portálový typ stroje by přinesl stejné problémy s úpravou stroje, což tedy také není řešením.

Třiosý robot s RRT kinematickou strukturou, Scara a další jim podobné, také z počátku



Obrázek 17: scara robot [27].

odpovídaly všem nárokům. Tyto roboty se nejčastěji používají pro tzv. pick and place, tj. pro velmi rychlé a přesné přemísťování výrobků na krátké vzdálenosti. Nevýhodou je opět nemožnost natočení koncového bodu při standartním hardwaru a hlavně jejich velikost. Tyto roboty často nemají velký dosah, nebo mají velmi rozměrnou poslední část (viz obr. 17.), což s ohledem na rozměry G-ASL stroje není přípustné – robot by se

nevešel do pracovního prostoru daného střížného lisu, tudíž jsem od tohoto návrhu upustil.

Kolaborativní robot, který může pracovat v blízkosti člověka, se zdál také jako vhodné řešení. Odpadá nutnost montáže bezpečnostních prvků, pracovní dosah je dostačující a má už 6 os, které plně splňují očekávání, včetně natočení koncového bodu. Ovšem tyto stroje nemohou z bezpečnostních důvodů dosahovat takových hodnot rychlosti, jako běžný průmyslový robot, a proto i toto řešení není vhodné.

S absolutně jiným pohledem na věc mne napadly dva odlišné návrhy. Prvním z nich je pokus o změnu designu nástroje. Tato změna by umožnila vyrobit kus pouze na jeden stříh. Bohužel, s ohledem na množství vyráběných kusů a počet operací, je toto řešení téměř nemožné i proto, že stříh musí být ‘‘čistý‘‘ – jakýkoliv otřep, ohyb, přerušování vodivé cesty a další poruchy vyvolané velkým tlakem na FPC, vedou k výrobě zmetku. Druhou z radikálních možností je výměna stroje, respektive spojení dvou a více strojů za sebe. Pokud by se povedlo vytvořit stroj podobný lisu na karosářské díly, celá záležitost ohledně manipulace by byla mnohem jednodušší. Obě možnosti jsou však spíše nereálné.

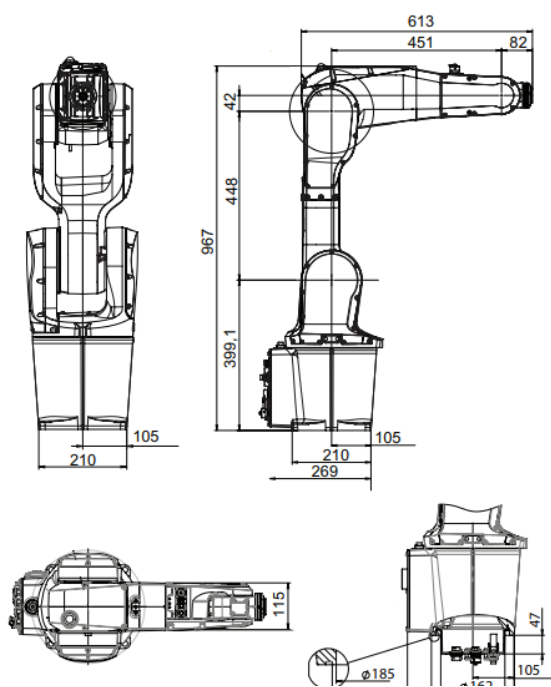
6.2. Vybrané řešení

Po zvážení všech výhod a nevýhod předešlých návrhů, jsem vybral pro automatizování manipulace výrobků mezi G-ASL stroji šestiosý robot. Ačkoliv bývá jeho pořizovací cena vyšší, díky ovládání šesti os můžeme dosáhnout i složitých trajektorií včetně změny orientace výrobku v prostoru. Tyto roboty jsou asi nejvíce rozšířené a s ohledem na počet výrobců jsou

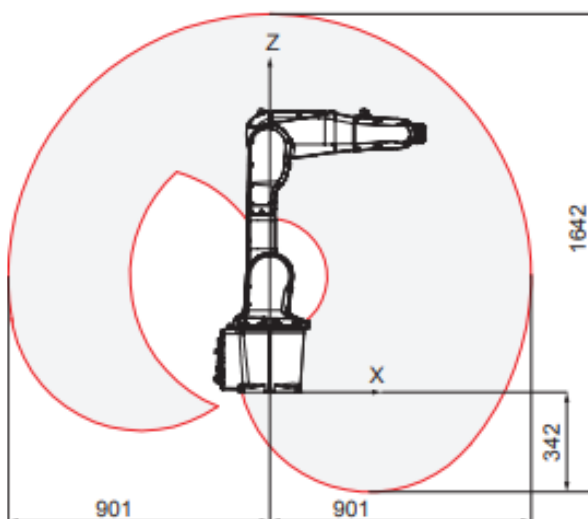
velmi dostupné. Už sériově vyráběné roboty (katalogové) nabízejí velké množství funkcí a jejich parametry jsou velmi příznivé. K těmto strojům se dá přikoupit extra hardware či software, čímž se stanou ještě lepšími pomocníky. Tyto stroje jsou natolik univerzální, že v případě přerušení výroby, naleznou uplatnění na jiném pracovišti. Nevýhodou však zůstává, že nesmí pracovat v blízkosti člověka a nároky na bezpečnost jsou velmi vysoké. Díky nutnosti montáže ochranných prvků se takové pracoviště stává rozměrným. Problém také nastává s řešením zásobování robotu materiálem a dále s paletizací hotových výrobků.

Poté, co byl vybrán šestiosý robot, jsem musel oslovit výrobce. Dodavatelů je celá řada. Pro moji volbu byly rozhodujícími faktory pořizovací cena, kvalita a v neposlední řadě, zda je výrobce zároveň i integrátorem. Vzhledem k tomu, že jde pouze o založení dílu, kde i čas člověka je velmi krátký, určitou roli hrála rychlost pohybu a také samozřejmě přesnost kvůli zakládání FPC na zakládací kolíky. Rozhodoval jsem se mezi dvěma výrobci. S ohledem na japonský původ firmy Mektec Manufacturing Corporation Europe CZ s.r.o., to byl dodavatel značky Kawasaki, který je zároveň integrátorem. Nakonec jsem vybral společnost ABB, která je na území České republiky velice rozšířená. Obě možnosti nabízejí velké množství strojů. Robot RS005LFE71, společnosti Kawasaki, jehož kompletní datasheet je v příloze 4, je parametricky a funkčně podobný robotu, který je popsán dále. Nakonec jsem vybral dva roboty z nabídky ABB, které si jsou velmi podobné. Jedná se o robot IRB 1600/1.2,

jehož datasheet je v příloze 3, a IRB 1200-5, který je nejvhodnější a dále ho popisují. Více robotů je vybráno pro případ, že by se změnil



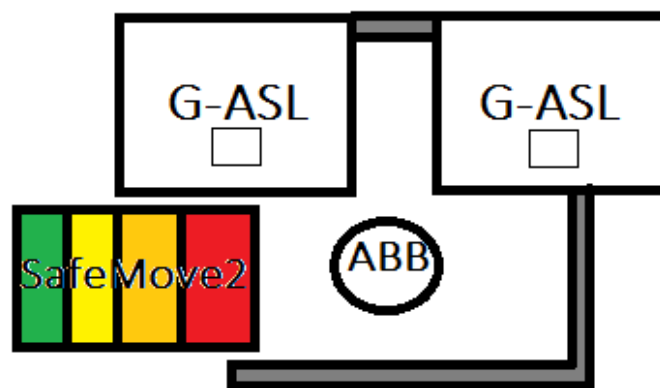
Obrázek 18: rozměry robotu [28].



Obrázek 19: pracovní rozsah [28].

určitý parametr linky a níže popsany robot by již nevyhovoval. Rozmístění v prostoru pracovní linky, ovládání, bezpečnostní pokyny a další náležitosti zůstávají stejné. Mění se v podstatě jenom pracovní dosah, pracovní zatížení a pořizovací cena. Tyto stroje jsou vhodné pro manipulaci s výrobky a slibují kratší dobu cyklu, než mají ostatní. IRB 1200-5/0.9 je velice kompaktní robot, díky čemuž nezabere mnoho místa ve výrobní hale. S ohledem na čistotu prostředí, tento robot vyhovuje. Přesnost je 0,025 mm a manipulační cyklus 25x300x25 mm trvá pouze 0,42 s [28].

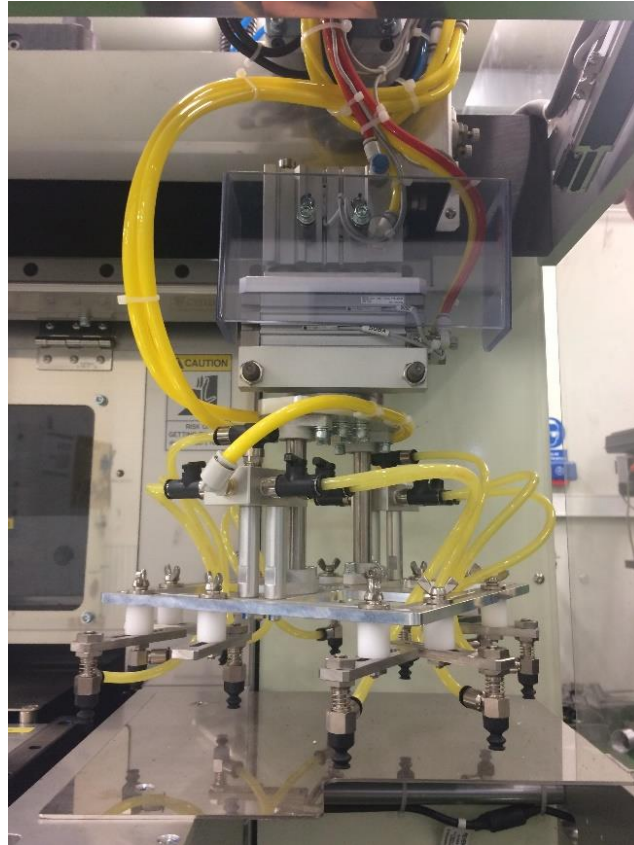
Bezpečnost lze řešit několika způsoby. Jako nejlepší z nich se jeví softwarová ochrana a její kombinace s mechanickou a ne-mechanickou zábranou. Systémově lze zakázat prostor, kde se robot nemá nacházet při výrobě, čímž se nám zmenší oblast nutná k zabezpečení ostatními prvky. Tam, kde se neočekává přístup člověka nebo manipulace s výrobkem, můžeme nainstalovat pevné stěny. V místě nutném pro zásobování materiálu využijeme SafeMove2, který při zásobování robot zastaví. Uspořádání takového zabezpečení je zřejmé z obrázku 20.



Obrázek 20: zabezpečení linky.

Jako endefektor se zvolí dnes používaný uchopovač na manipulátorech, které jsou součástí G-ASL strojů. Zvažoval jsem i jiné možnosti, avšak žádná z nich by nepokryla tak velkou škálu výrobků. U jiných zase dochází k problému v tom, že se FPC například může prohnout apod. Výhodou této volby je převážně znalost pracovníků ohledně funkčnosti a údržby koncového bodu. Nevýhodou je však hmotnost. Při navrhovaném postavení robotu u linky (obr. 20) a zjištěných rozměrech vychází, že nosnost robotu bude na horní mezi limitu. Ačkoliv se hodnota stále nachází v toleranci udávané výrobcem, velké zatížení může

ovlivňovat životnost stroje. Pokud se tedy chceme pokusit o prodloužení životnosti, může se to řešit jiným umístěním robotu tak, aby se co nejvíce zkrátila vzdálenost, nebo odlehčením samotného endefektoru, například změnou nebo ubráním materiálu. Hmotnost flexibilního plošného spoje je zanedbatelná.



Obrázek 21: endefektor.

Robot je kompletně v uzavřeném designu, tzn., že veškeré kabely jsou uvnitř stroje, čímž se zvedá bezpečnost práce, ale také se snižují nároky na údržbu. Je zde pneumatický rozvod až do koncového bodu. Po celém těle robotu je několik otvorů pro upevnění dalšího případného hardwaru, jako jsou kabely či dráty k nejrůznějším snímačům.

Nedílnou součástí stroje je také řídicí systém, který je dostupný ve třech variantách. Základní verze je IRC5, která obsahuje veškeré základní funkce, avšak je rozměrná. Vybral jsem variantu IRC5 Compact. Tento systém zvládá téměř všechny funkce, i přestože je rozměrově menší. Díky jeho funkcím TrueMove nebo QuickMove můžeme dosáhnout právě výše zmíněné rychlosti a přesnosti. Podporuje také SafeMove2 a další synchronizaci s okolními senzory apod. Je možné propojit IRC5, robot a externí zařízení, například pro komunikaci, pomocí ethernetu. Další jeho vybavení je FlexPendant. To je malý ruční ovladač

s dotykovou obrazovkou sloužící k online programování nebo k ručnímu ovládní stroje. V případě propojení s PC, lze stroj programovat i offline pomocí programu RobotStudio. Více o programování lze naléznout na webové stránce výrobce [28]. Datasheet robotu a řídicího systému je pod přílohou 1 a 2. Parametry se mohou lišit dle specifických přání zákazníka.

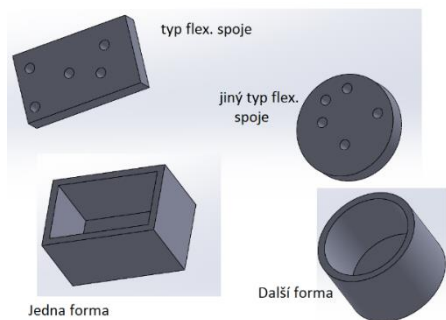


Obrázek 22: IRC5 Compact [28].

Tímto je v podstatě vyřešen pohyb mezi G-ASL stroji. Nyní je otázkou zásobování dílů, jejich uchopení a založení do prvního stroje a poté jak a kam paletizovat hotové výrobky. Nutností je také kontrola, zda se podařilo výrobek uchytit či nikoli.

6.2.1 Založení polotovaru

Člověk mohl brát díl určený ke stříhu téměř odkudkoliv. Pracovníka by šlo využít i v tomto případě za pomoci SafeMove2, ale to by nepřineslo téměř žádné zrychlení a automatizace za účelem eliminovat člověka, by nebyla naplněna. V případě strojního zakládání je nutností přesné definování polohy dílu v prostoru. Polohu dílu tedy určíme pomocí jakéhosi přípravku, který bude na předem definovaném místě.

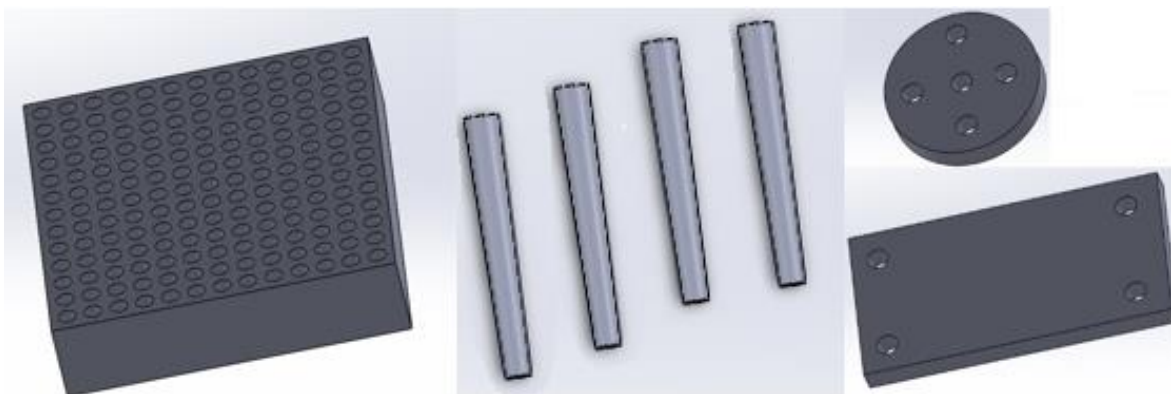


Obrázek 23: zjednodušený model nádoby.

V mém řešení práce předkládám návrh na nádobu, která kopíruje tvar FPC. Do této “formy“ by byly vloženy a odtud odebírány robotem. Nicméně toto řešení je možné pouze v případě výroby jednoho typu. Pokud by byl robot určen pro jiný druh výroby z jakéhokoliv důvodu, což dovoluje nejen nastavitelný uchopovač, ale také možnost rychlé změny programu robotu, nastal by problém s nemožností zakládání jiných dílů. Řešením by byla výroba všech

možných tvarů této nádoby, ale to je finančně velmi nákladné. Nároky na prostorové možnosti by se také zvýšily, protože právě nepoužívané přípravky musí být někde uskladněny a případně ochráněny od vnějších vlivů (oxidace,...).

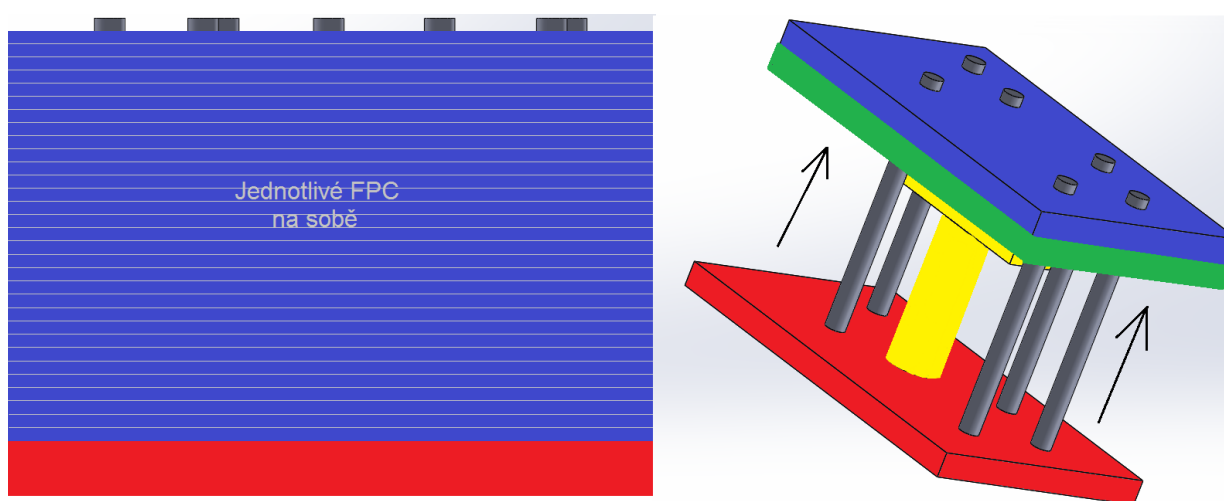
Vzhledem k tomu, že většina FPC obsahuje otvory pro přesné založení na kolíky umístěných na nástroji, můžeme využít podobného principu pro výchozí místo, odkud bude robot dané díly brát. Řešením je deska, která bude mít přibližně rozměry matrice nástroje a bude obsahovat několik děr se závity. Pro přesné definování polohy stačí tři body. Do těchto bodů by byly našroubovány kolíky a na ně následně ukládány polotovary, které by tam hned vkládal pracovník z předešlé operace. Možnost měnit umístění těchto hrotů otevírá bránu k ukládání jakéhokoliv typu FPC, takže by nebyly zapotřebí žádné skladovací prostory. Jak je vidět na obrázku 12 nebo 15, otvory pro vymezovací kolíky jsou velmi malé, proto by tato možnost vyžadovala dostatečnou údržbu včetně závitů. Zjednodušený model celého uspořádání v rozložení je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: zjednodušený model palety.

Abychom mohli založit několik FPC na sebe, musí být kolíky dostatečně dlouhé. Délka kolíků může znamenat problém v momentě, kdy se odebere větší množství stříhaných dílů. Takto vyčnívající materiál představuje překážku pro snížení uchopovače do místa, aby dosáhl na níže uložené polotovary. Pokud by tato délka byla menší, minimalizovalo by to riziko kolize, ale snížil by se také počet uložených FPC. To by znamenalo častější zásahy člověka do prostoru robotu, kterého by bezpečnostní prvky musely zastavit, tím pádem by se snížila produktivita. Upravit uchopovač, například vytvořením otvorů, aby mohl vyčnívající kolík ním procházet, by byla také jedna z cest, jak řešit tento problém, avšak s ohledem na množství

vyráběných typů je toto téměř nereálné. Finálním řešením je tedy podobná paleta, ale s pohyblivou spodní částí. V případě že robot odebere jeden kus, paleta se všemi založenými kusy vyjede o tloušťku tohoto FPC výše a tím bude zachovaná délka vyčnívajících kolíků. Tímto způsobem lze dosáhnout o velmi malou část rychlejších cyklů a programu, který bude jednoduchý bez nutnosti jakéhokoliv inkrementálního posuvu při odebírání kusu. Avšak nutností je zajištění posuvu celé palety. Kroku o tloušťku polotovaru dosáhneme například servopneumatickým polohováním, které dodává například společnost Festo, nebo za pomoci elektrickým servopohonem, které jsou velice rozšířené. Na obrázku 25 je červenou barvou označena základna, zelenou pohyblivá paleta, modrá barva signalizuje založené polotovary, šedá kolíky a žlutou je zvýrazněn polohovací mechanismus.



Obrázek 25: zjednodušený model pohyblivé palety.

Prostorem pro umístění je ideální červená zóna SafeMove2. Pro tento objekt se v programu udělá výjimka tak, aby stroj fungoval bez omezení, i přestože se “něco“ nachází v této oblasti. V momentě, kdy bude nutné vyměnit prázdnou paletu a člověk vstoupí do oblasti SafeMove2, stroj se omezí či zastaví. Takto bude zaměstnanec v bezpečí a zároveň stroj se spustí, jakmile pracovník tuto oblast opustí.

Nadefinováním přesného počtu kroků dostane obsluha s posledním zdvihem informaci o prázdné paletě. Tuto signalizaci samozřejmě může obdržet například při posledních pěti kusech, aby měla čas na případnou přípravu nové palety. Probíhala by výměna celé palety, při které by měl zaměstnanec povinnost pouze připojit pneumatický či elektrický rozvod – možné řešení také například upínkou i s konektorem pro danou paletu.

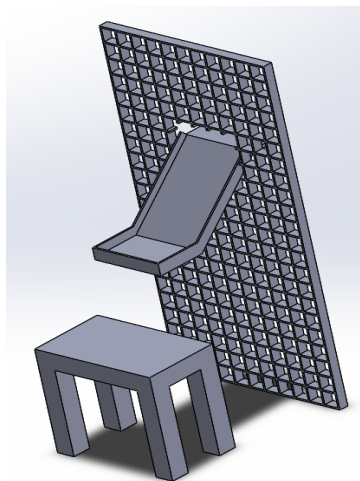
Pro kontrolu, zda uchopovač pevně přisál díl, použijeme tlakoměr určený pro měření podtlaku s elektrickým výstupním signálem. V případě, že jedna z přísavek nebude dostatečně upevněna, tlakoměr to rozpozná a vyšle signál do řízení. Stroj se poté (podle programu) o přisátí pokusí znovu. Pokud pokus selže i tentokrát, stroj se zastaví, aby předcházel možným kolizím, a přivolá obsluhu zvukovým či vizuálním signálem. Tato kontrola by probíhala během celého procesu pokaždé, kdy se bude stroj snažit o upevnění FPC.

Vzhledem k tomu, že hmotnost polotovarů je zanedbatelná, pracuje stroj vždy se stejným zatížením. Toto zatížení můžeme kontrolovat pomocí tenzometru. Jestli se stroj pokusí zvedat FPC, se kterým z nějakého důvodu nelze hýbat (zaseknutí polotovarů do sebe, ...), tenzometr zaznamená větší sílu, kterou robot působí a přikáže tento úkon ukončit, aby nedošlo k absolutnímu zničení dílu, popřípadě jeho založení do stroje, které by mohlo vést k dalším problémům. Díky tomu, že toto čidlo je směrové, lze jej využít i pro jiné směry. To by mělo za následek okamžité vypnutí stroje při kolizi, čímž by se následky nehody snížily.

6.2.2. Založení hotového výrobku

Po dokončení posledního stříhu následuje kontrola. Hotový výrobek je nutno přemístit na místo, na které bude mít pověřený pracovník přístup. Toto místo se v krajním případě může řešit stejným způsobem jako v předchozím bodě, ale vzhledem k tomu, že se kontroluje každý vyrobený kus, vrstvení FPC na sebe by s sebou přineslo problémy. Jedná se především o delší čas celého cyklu. Přesné usazování na kolíky, další zastavení stroje při pohybu osoby v pracovním prostoru a následné vyndávání obsluhou, přináší akorát čas navíc. Také výroba palety by znamenala další zásah do financí. S přihlédnutím na možné problémy navrhuji tři řešení, přičemž každé z nich je reálné.

Prvním a zřejmě nejjednodušším řešením, je vytvoření otvoru v ochranné kleci. Skrze tento otvor by se procházela jakási vodící dráha, která by byla nakloněna pod úhlem. Na tuto plochu by robot položil díl a ten by sklouzl do prostoru se zarážkou, kde by sis jej odebral zaměstnanec kontroly. Otvor v ochranné kleci, vzhledem k tloušťce FPC, nemusí být velký, takže by z toho neplynuly žádné další bezpečnostní rizika, kromě ostrých hran, které nepředstavují velký problém. Výhodou je jednoduchost a téměř minimální investice. Při vhodném uspořádání linky také zamezíme přílišnému pohybu pracovníků. Nevýhodou představuje vlastní výškový rozdíl tohoto způsobu řešení. Pro robot znamená založení dílu do výšky opět nějaký čas, nebo v opačném případě ohýbání se obsluhy představuje nekomfortní



Obrázek 26: zjednodušený model nakloněné roviny.

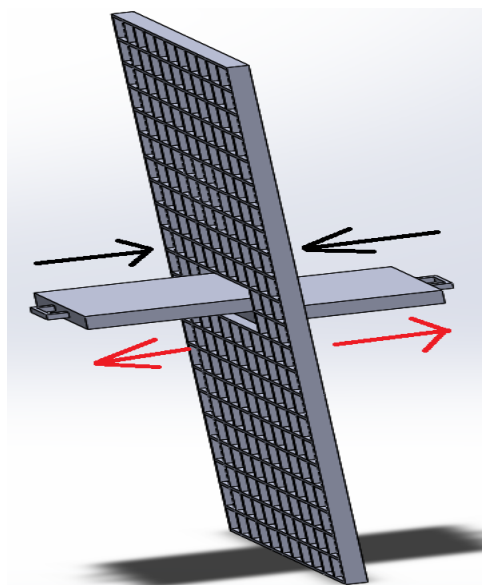
práci. Hrozí také poškození výrobku při nárazu na zábranu nebo vznik statického náboje vlivem tření.

Dalším podobným řešením je využití pásového dopravníku. Tento pás by vedl také skrze mechanickou zábranu, avšak výhoda spočívá ve výšce uložení. Robotu by netrvalo příliš dlouho přesunout výrobek v podstatě v rovině a pracovník by se také nemusel ohýbat. Bezpečnostním rizikem je zde rotační pohyb. Tento dopravník by měl za úkol transportovat výrobek o zanedbatelné hmotnosti. Jakékoliv zatížení, například vlivem dotyku, lze rozpoznat na výkonu motoru. Při sledování této hodnoty lze detekovat nebezpečnou

situaci a dopravník zastavit. Výhodou je však doprava hotových FPC přímo “do rukou“ pracovníka kontroly.

Tyto dva návrhy představují zásobování hotovými kusy bez možnosti zastavení. Střížené FPC vždy dorazí na stůl kontroly bez ohledu na to, co se děje kolem. Takové řešení je samozřejmě dostatečné, za předpokladu přítomnosti a aktivity zaměstnanců. Avšak pokud bychom chtěli, aby si zaměstnanci určovali dávkování sami a zároveň, aby jejich zásah neměl příliš velký vliv na chod výrobní linky, nabízí se níže popsané řešení.

Opět se jedná o otvor v ochranné stěně. Tímto otvorem by však procházela konstrukce

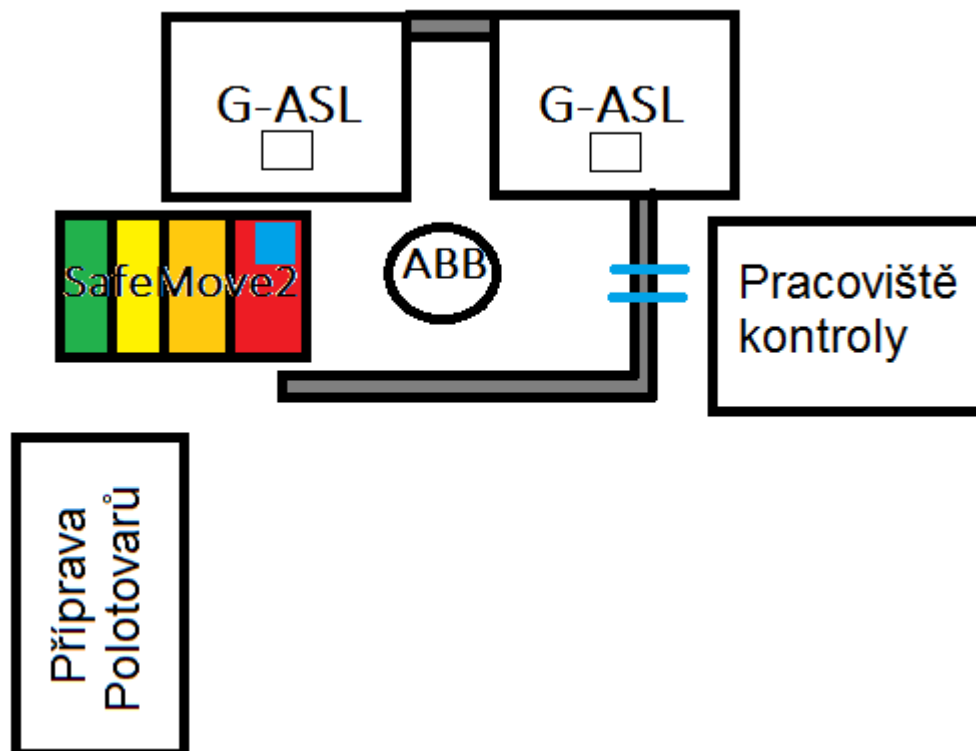


Obrázek 27: zjednodušený model zásuvkového systému.

dvou ploch, které jsou mezi sebou propojené. Na tyto desky by se odkládaly hotové kusy. Jedná se vlastně o jakýsi zásuvkový systém. Pokud bude jedna z těchto schránek vysunutá mimo prostor robotu, druhá se musí nacházet uvnitř. Robot může hotové kusy stále vrstvit na jedné zásuvce a v momentě, kdy zaměstnanec dokončí všechny potřebné úkony, se zásuvky vymění. Vzhledem k předpokládané aktivitě zaměstnanců je zanedbatelná výška vrstvení, a proto není nutností nastavovat inkrementální krok. Výška cílového místa se mění s použitou deskou, která je dostatečující kolem pěti centimetrů, je také téměř

zanedbatelná a robot stačí naprogramovat pouze pro ukládání do horního zásobníku. I tento způsob lze samozřejmě automatizovat. Ovládání vysouvání zásuvek by bylo odvozeno od počtu navrstvených dílů. Robot po načítání deseti kusů (dle programu), dá signál k přestavení. Správně dokončený posuv signalizují koncové spínače tohoto systému. Z bezpečnostního hlediska je tento způsob vybaven světelnou signalizací, která bliká v době přesunu a také světelnou závorou v oblasti pracoviště. Tato závora je pro detekci člověka v prostoru vysunutých zásuvek. Pokud pracovník dokončí svou práci, může dvouručním ovládáním manuálně přesunout zásobníky, čímž se i resetuje čítač robotu.

Všechny z těchto způsobů přepravy hotových dílů na stanoviště kontroly je situováno v boční části pracovního prostoru robotu, jak je vidět na obrázku 28, kde je to vyznačeno dvěma čarami. Zakládací prostor je vyznačen modrým obdélníkem v oblasti SafeMove2. S doposud zjištěnými údaji a návrhy je řešení manipulace mezi G-ASL stroji také na obrázku 28. Uspořádání se může částečně měnit bez změny výše uvedených funkcí a principů.



Obrázek 28: možnost uspořádání linky.

6.3. Ekonomický návrh

Cena robotu se liší dle vybraného hardwaru a softwaru. Prodejní částku řídicího systému IRC5 Compact se mi bohužel nepodařilo od výrobce zjistit. Níže počítám s částkou za robot v základní verzi a předpokládám, že rozdíl nebude nijak markantní. Částky v tabulce 2 jsou bez DPH a po přepočtu z EUR, kde 1 € = 26 Kč. Náklady na zaměstnance jsou z průměrné mzdy k roku 2019. Životnost stroje a další údaje vyplývají až ze simulace pohybů výrobcem. Jak už bylo zmíněno, velké zatížení nebo výkon na 100% snižuje životnost a zvyšuje riziko nutné opravy. Díky tomu, že se ve firmě vyrábí na 350 různých typů FPC, uvádím další výpočty při normě 120 kusů za hodinu. Čas vyhrazený pro pracovníka na založení dílu je dle normy 4 vteřiny. Hodnoty v níže uvedených tabulkách (3,4,5,6) jsou v sekundách.

Pořizovací cena	483 444,- Kč
Náklady na zavedení	130 000,- Kč
Spotřeba elektrické energie	0,45 kW
Seřízení	25 min / den
Údržba	2h/ měsíc
Náklady na zaměstnance/měsíc	36500 Kč

Tabulka 2: parametry pro výpočet.

Celkem	Přísátí + zvednutí manipulátorem	Pohyb ramene manipulátoru	Založení na druhý stroj
7	1.5	1.5	4

Tabulka 3: současný stav - pouze manipulace.

Celkem	Přísátí + zvednutí robotem	Manipulace	Založení na druhý stroj
3.5	1.5	1	1

Tabulka 4: použití robotu - pouze manipulace.

Už toto porovnání ukazuje na velmi výrazné zkrácení potřebného času pro manipulaci s jedním kusem během výroby. Tato změna se projeví především zvýšeným plněním normy,

což vede k vyšším ziskům, popřípadě k úspoře času. Zrychlení pro případ, kdy je v porovnání celý cyklus, je v následujících tabulkách. Dobu stříhu neuvažují, protože je pokaždé stejná.

Celkem	Založení na první stroj	Střih	Přísátí + zvednutí manipul.	Pohyb ramene	Založení na druhý stroj	Střih	Přísátí + zvednutí manipul.	Pohyb ramene
14	4		1.5	1.5	4		1.5	1.5

Tabulka 5: současný stav – první celý cyklus.

Celkem	Založení na první stroj- 3 pohyby	Střih	Přísátí + zvednutí robot	Pohyb	Založení na druhý stroj	Střih	Přísátí + zvednutí robot	Pohyb
10.5	4		1.5	1.5	1		1.5	1

Tabulka 6: použití robotu – první celý cyklus.

Pro výpočet uvádím pracovní den, tedy 22,5 hodiny. Čas potřebný pro údržbu a seřízení neuvažují, ale státní svátky v České republice ano. Bez svátku a víkendu počítám tedy průměrně 252 dní. Za současného stavu se ve firmě, při výše uvedené normě, vyrobí 680 400 kusu. Robot, který potřebuje o 3,5 sekundy méně pro založení, zvládne navýšit normu o 14 kusů za hodinu, tedy 759 780 kusů za rok. To je navýšení produktivity zhruba o 11,5%. Roční náklady na energie při průměrné ceně elektřiny 3,5 Kč za kW/h činí 8930,25 Kč. Pokud k tomu připočteme náklady na údržbu a seřízení, tzn. mzda pro pracovníka, který toto vykoná, celkové náklady na provoz robotu jsou přibližně 38 845 korun. Pro odhad návratnosti využiji ročních nákladů na zaměstnance, od kterých odečtu náklady na stroj a výsledkem podělím náklady na zavedení automatizace, čili návratnost robotu je zhruba 1,5 roku.

Tento ekonomický návrh je v podstatě pouhým odhadem. S nástupem automatizace odpadnou výdaje, které zde nejsou zmíněny, například spotřeba elektrické energie manipulátoru na G-ASL, dovolené, nemoci a benefity pro zaměstnance jako jsou třináctý plat, příspěvky na dopravu apod. Na druhou stranu vzniká povinnost vynaložit peníze na školení zaměstnanců nebo případný servis při poruše.

Níže uvedu plán daňových odpisů hmotného majetku neboli kartu majetku.

Název majetku		IRB 1200			
Vstupní cena		483 444,00 Kč			
Rok pořízení		2019			
Odpisová skupina		3			
Životnost		10			
Způsob odepisování		Zrychlený			
Koeficienty pro odepisování		První rok: 10 / další 11 / zvýš.vst.c.: 10			
Technické zhodnocení		130 000,00 v roce 2019			
Poř.	Rok-plán	Zůst.cena na počátku	Roční odpis	Oprávk celkem	Zůstatková cena
1	2019	613.444,00	61.345,00	61.345,00	552.099,00
2	2020	552.099,00	110.420,00	171.765,00	441.679,00
3	2021	441.679,00	98.151,00	269.916,00	343.528,00
4	2022	343.528,00	85.882,00	355.798,00	257.646,00
5	2023	257.646,00	73.614,00	429.412,00	184.032,00
6	2024	184.032,00	61.344,00	490.756,00	122.688,00
7	2025	122.688,00	49.076,00	539.832,00	73.612,00
8	2026	73.612,00	36.806,00	576.638,00	36.806,00
9	2027	36.806,00	24.538,00	601.176,00	12.268,00
10	2028	12.268,00	12.268,00	613.444,00	0,00

Tabulka 7: karta majetku.

7. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout způsob automatizace linky. V první části jsem se zaměřil na seznámení se základy automatizace a v druhé části, po analyzování současného stavu linky, na vlastní návrhy.

Jako řešení pro automatizaci navrhuji angulární robot od společnosti ABB. Při volbě šestiosého robotu jsem musel zvážit i výchozí body pro odebrání polotovarů a zakládání výrobků. Jako řešení pro polotovary navrhuji pohyblivou paletu, avšak její výroba bude finančně náročnější. Použitím této palety zamezíme možným kolizím s vyčnívajícími kolíky a také nesnížíme rychlost pohybu robotu, protože není nutný inkrementální krok robotu. Nároky na skladovací prostory jsou minimální, což je v dnešní době žádoucí. Pro výrobky navrhuji řešení pomocí zásuvkového systému, který bude ovládat pouze pracovník. Automatizace tohoto řešení by byla zbytečně složitá a finančně náročná. Toto řešení je složitější než dříve zmíněná nakloněná rovina, ale předejdeme možnému poškození výrobku nebo vzniku elektrostatického náboje vlivem tření.

Propojením dvou strojů G-ASL dojde k navýšení produktivity zhruba o 11,5%. Návratnost této investice bez ohledu na jiné ušetřené výdaje je 1,5 roku. Eliminací člověka z výrobního procesu, jehož mzda neustále roste, dosáhneme nejen větší produktivity práce, ale také zaručíme kvalitní výrobu s určitou opakovatelností, kterou neovlivňují lidské faktory. Využitím univerzálnosti šestiosého robotu se také otevírá možnost pracovat v případě nutnosti na jiném pracovišti nebo při vhodném uspořádání strojů na lince, může robot obsluhovat více strojů najednou, čímž by se produktivita ještě více zvýšila. Vzhledem k těmto hodnotám je automatizace pomocí robotu dobrým řešením.

Všechny časové údaje jsou pouze co nejpřesnějším odhadem. Úlohu lze dále optimalizovat pomocí simulací. Dle nich lze určit přesný čas pohybu, nejvhodnější trajektorii endefektoru, životnost stroje dle zatížení a další faktory, které mohou ještě některé parametry změnit.

Literatura

- [1] LACKO, Branislav, Pavel BENEŠ, Ladislav MAIXNER a Ladislav ŠMEJKAL. *Automatizace a automatizační technika I: systémové pojetí automatizace*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-246-7.
- [2] *Technologie: učební text pro obor mechatronik*. III. Díl. Střední odborná škola strojní a elektrotechnická Velešín.
- [3] ŠERÝ, Michal. *Automatizace I: Postup návrhu řídicího systému*. České Budějovice, 2016. Dostupné také z: <https://moodle.pf.jcu.cz/>
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Brno: VUT Brno.
- [5] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace: Roboty a manipulátory*. Brno: VUT Brno, 2003.
- [6] PECH, Jiří. *Robotika 1: Kinematika*. České Budějovice. Dostupné také z: <https://elearning.jcu.cz>
- [7] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [8] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-092-x.
- [9] *Automatizace a robotizace I: Učební text pro žáky 3. ročníku oboru 23-41-M/001 Strojírenství* [online]. Kolín: SPŠ strojírenská a jazyková Kolín [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://www.sps-ko.cz>
- [10] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2018-11-12]. ISBN 978-80-248-1522-0
- [11] KUTTAN, K.K. Appu. *Robotics*. New Delhi: I.K. International Publishing House Pvt., c2007. ISBN 978-81-89866-38-9
- [12] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.

- [13] WAGNEROVÁ, Renata a Jiří TŮMA. *Základy automatizace* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2018-12-18]. ISBN 978-80-248-1523-7.
- [14] ŠERÝ, Michal. *Automatizace 1: Senzory*. České Budějovice, 2016. Dostupné také z: <https://moodle.pf.jcu.cz/>
- [15] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [16] WILLIAMS, Del, EITEL, Elisabeth, ed. Force sensors and their uses. *Sensing and Control Technology Guide* [online]. Saskatchewan, Canada: Machine Design, 2013, 8.8.2013, 1-3 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com>
- [17] BENEŠ, Pavel, Jan CHLEBNÝ, Jindřich KRÁL, Josef LANGER a Martina MARTINÁSKOVÁ. *Automatizace a automatizační technika III: Prostředky automatizační techniky*. 2. vyd. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0795-7.
- [18] VOJÁČEK, Antonín. Odporové tenzometry - princip, provedení, použití, historie. In: *Automatizace.HW.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: hw.cz, c1997-2014, 19. Březen 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz>
- [19] KOTEK, Martin a Michal VOCILKA, STEHLÍKOVÁ, Aneta, ed. *Nejpoužívanější typy senzorů v průmyslové automatické výrobě* [online]. Praha: Národní ústav pro vzdělávání, 2015 [cit. 2019-01-10]. ISBN 978-80-7481-113-5. Dostupné z: <http://www.nuv.cz>
- [20] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závorami. *Automatizace.hw.cz* [online]. Praha: hw.cz, c1997-2014, 29. Květen 2014 [cit. 2019-01-10]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz>
- [21] BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9.

- [22] BALÁKOVÁ, Marie. *Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty* [online]. Brno, 2015 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz>
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.
- [23] Normy a aktuality: Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. *ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS* [online]. Petřvald: ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS, c2015 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.ochranne-oploceni.com>
- [24] SafeMove 2: Ochrana obsluhy a zvyšování bezpečnosti robotů. *ABB* [online]. ABB, c2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://new.abb.com>
- [25] *Mektec Manufacturing Corporation Europe CZ s.r.o.* [online]. České Budějovice: LMC, c2019 [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://mektec.jobs.cz/>.
- [26] Operation Manual for G-ASL, Nippon Mektron LTD, Japan
- [27] Scara. In: *AutoCont control systems* [online]. Moravská Ostrava: AUTOCONT CONTROL SYSTEMS spol. s.r.o., c2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.accs.cz>
- [28] ABB Robotics. *ABB* [online]. Curych: ABB, c2019 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://new.abb.com>
- [29] RS005L. *Tiesse Praha: Kawasaki Robot* [online]. Praha [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.tiessepraha.com>

Přílohy

Příloha 1 - datasheet IRB 1200

	IRB 1200-7/0.7	IRB 1200-5/0.9
Dosah [m]	0.7	0.9
Nosnost [kg]	7	5
Počet os	6	
Ochrana	Standardní IP 40, příplatkově IP67, Foundry Plus2, ISO třída 3, oleje pro potravinářský průmysl	
Upevnění	Kterýkoliv úhel	
Kontrolér	IRC5 Compact	
Integrovaný signál	10 signálů na zápěstí	
Integrovaný přívod vzduch	4 v zápěstí (max 5 bar)	
Integrovaný ethernet	100/10 Base-TX ethernet port	
25 x 300 x 25 mm [s] (cyklus 1kg)	0.42 s	
Max TCP akcelerace [$m \cdot s^{-2}$] (cyklus 1kg)	$35 m \cdot s^{-2}$	$36 m \cdot s^{-2}$
Čas pro akcelerace $0-1 m \cdot s^{-1}$ (cyklus 1kg)	0.06 s	
Opakovatelnost pohybu [mm] (cyklus 1kg)	0.02	0.025
Napájecí napětí	200-600 V, 50-60 Hz	
Výkon transformátoru [kVa]	4.5	
Spotřeba energie [kW]	0.39	
Hmotnost [kg]	52	54
Provozní teplota [°C]	5-45	
Relativní vlhkost	max 95%	
Úroveň hluku	<70 dB	
Následuje pohyb os		

Pohyb os	Pracovní dosah	Maximální rychlost
Osa 1 rotace	+170° až -170°	288° m·s ⁻¹
Osa 2 rameno	+135° až -100°	240° m·s ⁻¹
Osa 3 rameno	+70° až -200°	300° m·s ⁻¹
Osa 4 zápěstí	+270° až -270°	400° m·s ⁻¹
Osa 5 ohyb	+130° až -130°	405° m·s ⁻¹
Osa 6 otočení	+400° až -400°	600° m·s ⁻¹

Tabulka 8: datasheet IRB 1200 [28].

Příloha 2 - datasheet IRC 5 Compact [28]

Napájecí napětí	220/230 V, 50-60 Hz
Rozměry [mm]	310 x 449 x 442
Hmotnost [kg]	30
Teplota okolí [°C]	0-45
Relativní nekondenzující vlhkost	max 95%
Bezpečnost	Dvoukanálový bezpečnostní systém podle ISO 10218
Rozšířené bezpečnostní funkce	SafeMove2
Ochrana	IP20

Tabulka 9: datasheet IRC5 Compact [28].

Příloha 3 - datasheet IRB 1600-6/1.2 [28]

Dosah [m]	1.2	Nosnost [kg]	10
Nosnost ramene [kg]	20.5	Počet os	6+3 navíc s MultiMove
Ochrana	Standardní IP54, příplatkově IP67, Foundry Plus2	upevnění	Kdekoliv
Kontroler	IRC5 standart nebo IRC5 Compact	Opakovatelnost [mm]	0.02

Napájecí napětí	200-600 V, 50-60 Hz	Spotřeba energie [kW]	0.58
Rozměry [mm]	484 x 648 x 1069	Hmotnost [kg]	250
Provozní teplota [°C]	5-45	Relativní vlhkost	max 95%
Následuje pohyb os			
Pohyb os	Pracovní dosah	Maximální rychlost	
Osa 1 rotace	+180° až -180°	150° m·s ⁻¹	
Osa 2 rameno	+110° až -63°	160° m·s ⁻¹	
Osa 3 rameno	+55° až -235°	170° m·s ⁻¹	
Osa 4 zápěstí	+200° až -200°	320° m·s ⁻¹	
Osa 5 ohyb	+115° až -115°	400° m·s ⁻¹	
Osa 6 otočení	+400° až -400°	460° m·s ⁻¹	

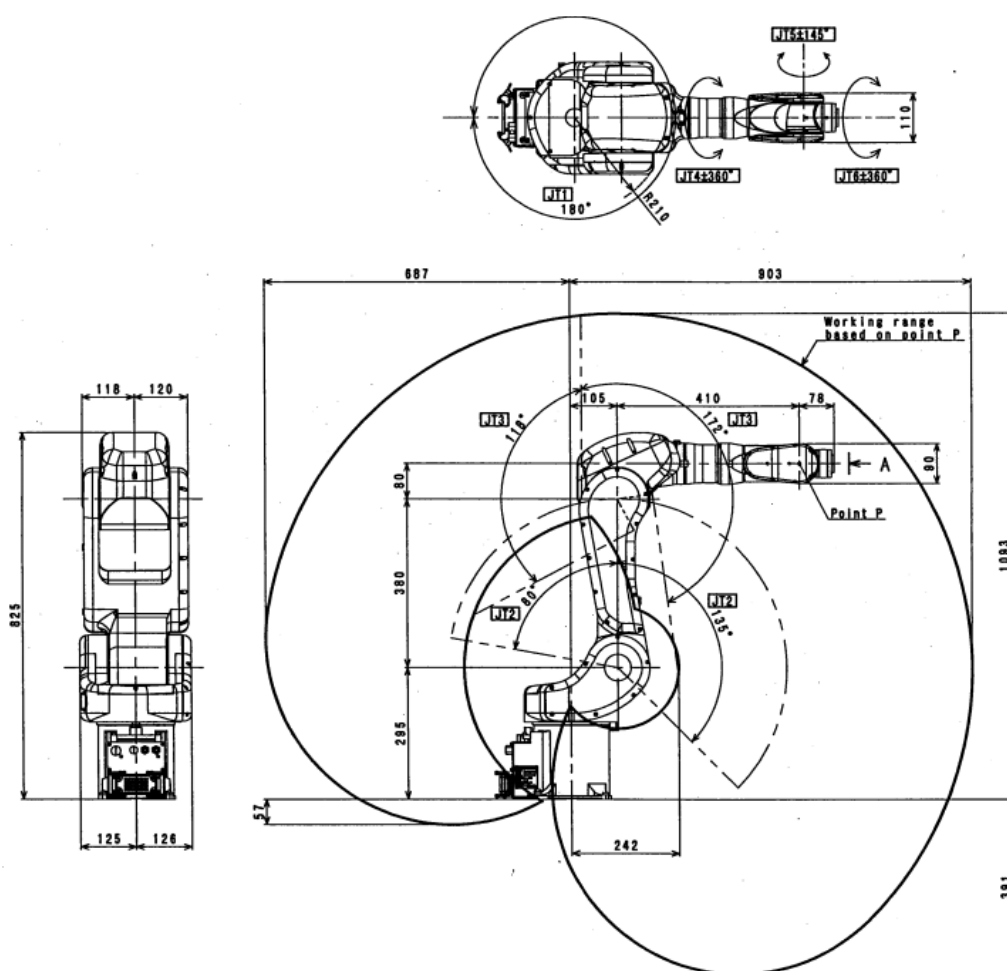
Tabulka 10: datasheet IRB 1600 [28].

Příloha 4 - datasheet kawasaki [29]

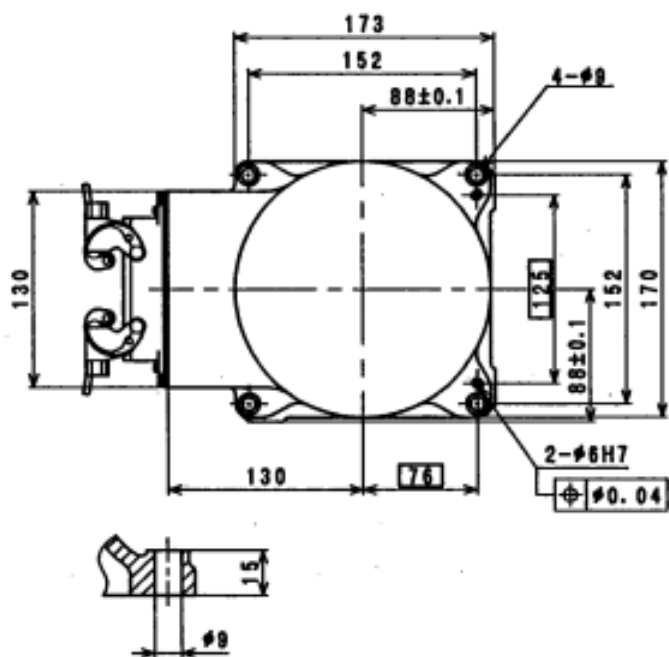
Nosnost [kg]	5
Počet os	6
Ochrana	Zápěstí: IP67 rameno: IP65
Upevnění	Na zem nebo strop
Kontrolér	E70/E71
Integrovaný přívod vzduch	2 v zápěstí
Opakovatelnost pohybu [mm]	0.03
Hmotnost [kg]	35
Provozní teplota [°C]	0-45
Relativní vlhkost	max 85%
Následuje pohyb os	

Pohyb os	Pracovní dosah	Maximální rychlost
Osa 1 rotace	+180° až -180°	300° m·s ⁻¹
Osa 2 rameno	+135° až -80°	300° m·s ⁻¹
Osa 3 rameno	+118° až -172°	300° m·s ⁻¹
Osa 4 zápěstí	+360° až -360°	460° m·s ⁻¹
Osa 5 ohyb	+145° až -145°	460° m·s ⁻¹
Osa 6 otočení	+360° až -360°	740° m·s ⁻¹

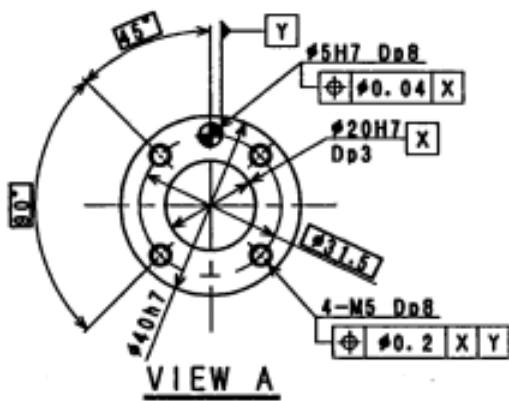
Tabulka 11: datasheet RS005L [29].



Obrázek 29: rozměry RS005L [29].



Installation Dimensions



Obrázek 29.1: rozměry RS005L [29].