



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 PRACOVISTĚ PRO AUTOMATICKOU MONTÁŽ EXTRUDERŮ PRO 3D TISKÁRNY

DESIGN OF ROBOTIC WORKSTATION FOR AUTOMATIC ASSEMBLY OF EXTRUDERS FOR 3D PRINTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Pulicar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočíš

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Roman Pulicar
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Petr Kočiš
Akademický rok:	2018/19

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 pro automatickou montáž extruderů pro 3D tiskárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne robotické pracoviště se schopností automatické montáže extruderů vybrané konstrukce FFF tiskárny.

Cíle diplomové práce:

Přehled způsobů navrhování robotických pracovišť. Nejméně 3 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty pomocí multikriteriální analýzy. Rozpracování vybrané konstrukční varianty – rozmístění prvků na pracovišti, konstrukce přípravků, simulace toku materiálu a času montáže. Výkresová dokumentace včetně výkresů přípravků. Ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

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

Rebel 3D Portal [online]. Hradec Králové: Daniel Lenc, 2017 [cit. 2017-09-21]. Dostupné z: <http://www.rebelove.org/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá tvorbou robotického pracoviště a jeho periferií. V práci je popsána kinematika a funkce robotů. V praktické části je navrženo několik variant nového robotického pracoviště a následně zpracováno jedno řešení. U vybraného řešení je vytvořena technická dokumentace a vypočítána produkce. V závěru je pracoviště technicko ekonomicky zhodnoceno včetně cenové návratnosti.

ABSTRACT

Thesis is dealing with the creation of robotic workplace and its periphery. The paper is describing the robotic function and kinematics. The practical part of the paper shows several types of suggested robotic workplaces followed by solution processing of one selected type, where technical documentation and the calculation of production is made. The end of the paper shows economical and technological evaluation of the selected type of workplace including the price returns.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, robotické pracoviště, extruder, 3D tiskárna, přípravek, dopravník, zásobník, senzor, greifer, šroubovák.

KEYWORDS

Robot, robotic workplace, extruder, 3D printer, jig, conveyor, stack, sensor, gripper, screwdriver.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PULICAR, Roman. *Návrh robotického pracoviště pro automatickou montáž extruderů pro 3D tiskárny* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117653>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočiš.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, Ing. Petru Kočišovi za cenné připomínky a rady. Dále své rodině a přítelkyni za podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

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

V Brně dne 24.5.2019

.....

Bc. Roman Pulicar

OBSAH

ABSTRAKT	5
ABSTRACT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	5
KEYWORDS	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	7
PODĚKOVÁNÍ	9
ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ	11
ÚVOD	15
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU	16
2 ROBOTICKÉ A MONTÁŽNÍ PRACOVISŤE	19
2.1 Průmyslové roboty	19
2.2 Kinematická struktura robotů.....	19
2.3 Koncové efekторы	23
2.4 Manipulační výstupní hlavice	23
2.4.1 Rozdělení úchopných prvků	23
2.4.2 Pasivní úchopné prvky	24
2.4.3 Aktivní úchopné prvky	26
2.5 Senzory.....	28
3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE	31
3.1 Problémová situace	31
3.2 Formulace problému	31
3.3 Cíle a řešení.....	31
3.4 Rozpad komponentů extruderu	31
3.5 Systém podstatných veličin.....	35
3.6 Kapacitní propočty současného pracoviště	36
4 NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ	39
4.1 Varianta A	40
4.2 Varianta B	43
4.3 Varianta C	45
4.4 Varianta D	46
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	47
5.1 Zhodnocení varianty A.....	47
5.2 Zhodnocení varianty B.....	48
5.3 Zhodnocení varianty C.....	49
5.4 Zhodnocení varianty D.....	49
6 VÝBĚR VARIANTY	50
6.1 Multikriteriální analýza	50
6.2 Layout výsledného řešení.....	51
6.3 Zhodnocení nově vybrané varianty	51
6.4 Ganttův diagram.....	52
6.5 Cenová návratnost.....	53
6.6 Princip automatického podávání šroubů	53

7	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	56
8	ZÁVĚR.....	57
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65
	PŘÍLOHY	67

ÚVOD

S postupným zvyšováním poptávky po 3D tiskárnách se zvyšují i nároky na rychlost jejich výroby. Většina výrobců montuje své produkty pouze ručně, což je příliš zdoluhavé a pro zákazníka to znamená dlouhou čekací lhůtu, která může být v řádu týdnů až měsíců.

Tato diplomová práce se zabývá nahrazením ruční montáže extruderů pro 3D tiskárny robotizovaným. Extruder je zařízení, které slouží k dopravě materiálu do tiskové hlavy. Materiál tzv. filament se dodává ve strunách o průměru 2,85 nebo 1,75 mm.

V úvodní části práce je vybrán konkrétní model 3D tiskárny. Celý proces montáže byl dodán a konzultován přímo s výrobcem.

V následující části je popsáno robotické pracoviště včetně kinematiky robota a ostatních periférií, jako jsou například koncové efekторы, senzory nebo vibrační podavač šroubů.

V další části je navrženo několik variant robotických pracovišť včetně layoutů. Jednotlivé varianty se liší počty robotů v pracovním prostoru a způsob, kterým se dopravují díly k montáži. Při výběru způsobu dopravovaných součástí, je nutné vhodně zvolit, zda bude díl dopravován po dopravníku nebo z důvodu nepravidelného tvaru na paletě. Na základě multikriteriální analýzy se vybere nejvhodnější varianta, která se dále zpracuje.

Následně je vybraná varianta zhodnocena na základě ceny pracoviště a celkové doby výroby jednoho výrobku. Zpracovaný Ganttův diagram ukazuje pořadí jednotlivých operací včetně náročnosti jejich časových operací. U vybrané varianty je dále vypočítána cenová návratnost v časovém úseku let.

V závěru je celá práce zhodnocena.

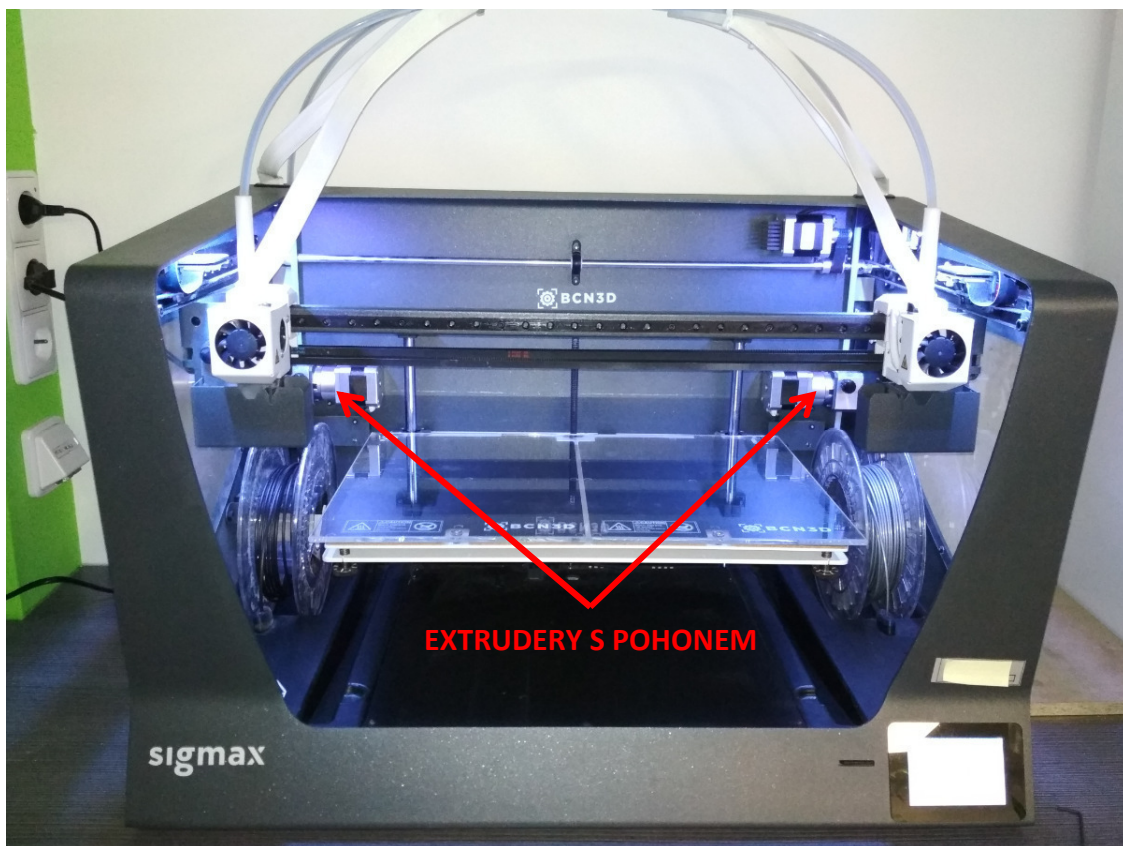
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

Pro montáž extruderů je vybrána FFF (Fused Filament Fabrication) tiskárna SigmaX (viz obr.1.1) od společnosti BCN3D Technologies, se sídlem ve Španělsku. Jedná se o profesionální 3D tiskárnu se dvěma nezávislými extrudéry a velkou pracovní plochou pro tisk velkých modelů. Výhodou dvou extruderů je zvýšení výrobnosti na dvojnásobek. V současnosti se extrudery a celé tiskárny montují na ručním pracovišti, ale poptávka po tomto typu se stále zvyšuje, díky čemuž by bylo vhodné dílčí části tiskárny montovat pomocí robotizovaného pracoviště. V tomto případě se práce zabývá pouze montáží samotného extruderu. [9]

Na základě komunikace s obchodním zástupcem společnosti Elvira, která má zastoupení BCN3D Technologies v České republice, byly zjištěny následující informace.

Tento model se začal prodávat v roce 2017. Nyní společnost vyrobí přibližně 90 3D tiskáren za týden, což je 18 tiskáren za jeden pracovní den. Kvůli dvěma zabudovaným tiskovým hlavám je potřeba denní produkce 36 extruderů. Montáž jednoho extruderu trvá ruční montáží přibližně 11 minut. Dodání této 3D tiskárny se pohybuje v rozmezí dvou až tří měsíců, tudíž je vhodné použít tento typ pro zpracování nového řešení a tím zvýšení produkce.

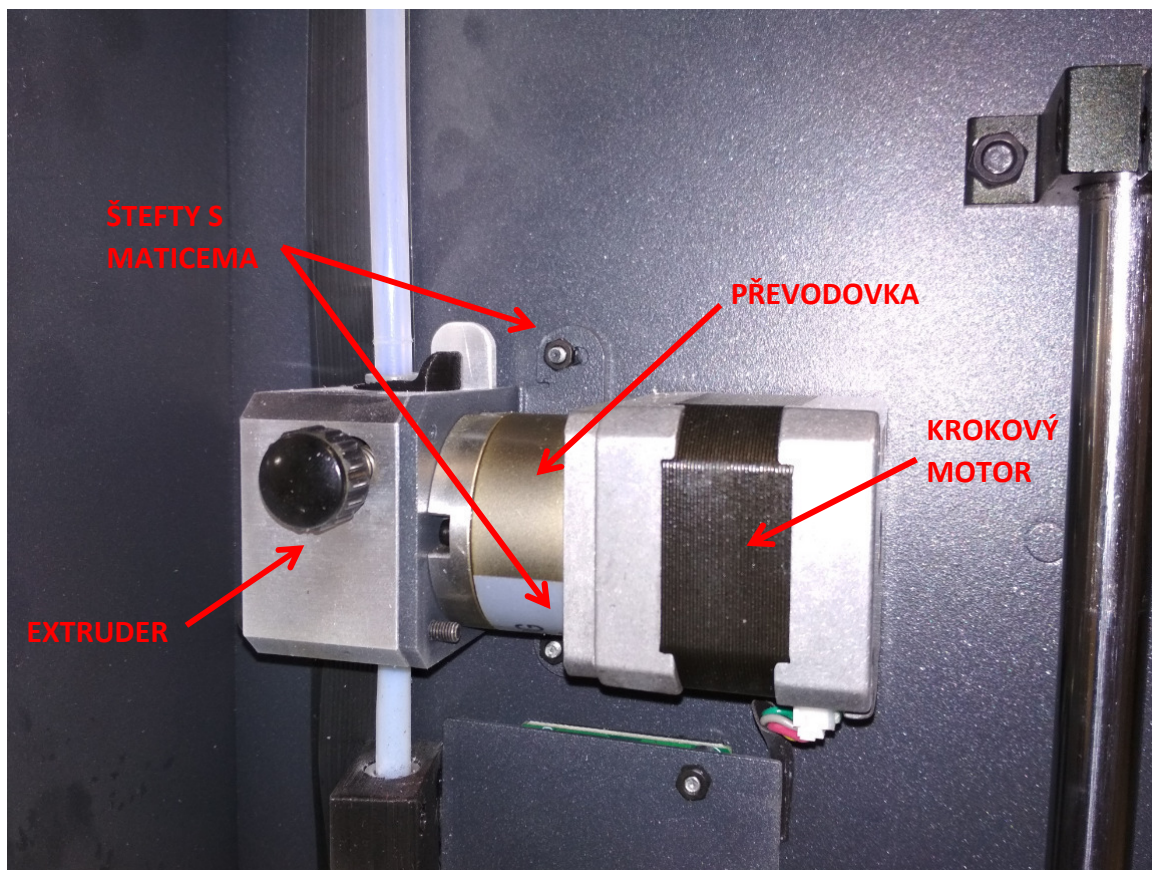
Rozpad komponentů extruderu a postup montáže je popsán v rozboru práce v kapitole 3.



Obr. 1.1 – 3D tiskárna Sigma X

Do rámu tiskárny se vyvrtají dva otvory o průměru 4,5 mm, do kterých se nalisují „štefty“ se závitem M3.

Na levou a pravou stranu rámu tiskárny se na závitové „štefty“ umístí extruder, který má v plechu pro uchycení otvory a ručně se utáhne pomocí matic. Součástí extruderu je krokový motor s převodovkou. (Obr. 1.2)



Obr. 1.2 – Uložení extruderu s pohonem

2 ROBOTICKÉ A MONTÁŽNÍ PRACOVISTĚ

Robotické pracoviště je prostor, ve kterém se užitím automatických robotů manipuluje s výrobkem. Používají se z důvodu rychlejší manipulace hotového výrobku mezi strojem a pásovým dopravníkem nebo v prostorech, které jsou člověku nebezpečné, např. vyjmutí plastového dílce ze vstřikovacího lisu, svařování, práce se škodlivými látkami.

Další variantou, jak využít robotické pracoviště, je samotná montáž vyrobených dílců bez přítomnosti člověka, nebo kde je vyžadována vysoká přesnost a reprodukovatelnost. Automatické pracoviště lze rovněž využít pro následnou kontrolu zmontovaných dílců, např. pomocí kapacitních snímačů měřit vzdálenost zašroubovaných šroubů nebo polohu namontovaného dílu vůči základnímu tělesu.

Montážní pracoviště mohou být buď jednoduchá, nebo vysoce automatizovaná. První druh zejména usnadňuje montáž vhodným založením výrobku s případným polohováním. Složitější zařízení mohou kontrolovat třeba pořadí zakládání součástek nebo utahování šroubů s řízením momentu, provádějí lisování a další výrobní operace, kontrolu různého druhu až po vyřazení zmetků a značení výrobků etiketami, potiskem, laserem atd.

Montážní pracoviště zvýší rychlost a kvalitu výroby, sníží zmetkovitost, rizika pracovních úrazů a zlepší ergonomiku práce.

Před započítáním prací na zakázce firma LENAM věnuje velkou pozornost nejen technické specifikaci zákazníka, ale také zjišťování jeho zvyklostí a dalších požadavků.

Při návrhu montážního pracoviště je potřeba si uvědomit, že se jedná o kontinuální proces, ve kterém nejpomalejší článek daného výrobního celku udává celkovou rychlost jednoho taktu daného robotického pracoviště. [1]

2.1 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty vykonávají řadu úkolů. Jsou robustní, technologicky vyspělé a relativně cenově dostupné. Ale co můžete dělat jen s robotem? Co skutečně potřebujete, je komplexní řešení optimalizované pro vaše konkrétní potřeby v oblasti sváření, třídění a dalších oblastech.

2.2 Kinematická struktura robotů

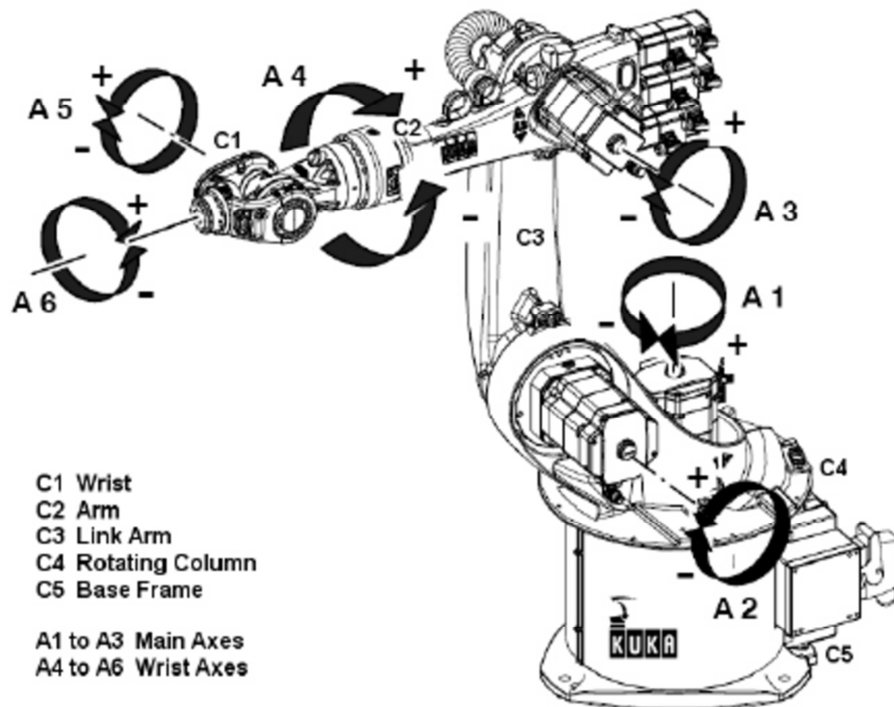
Sériová kinematika

„Akční systém stacionárních průmyslových robotů a manipulátorů se sériovou kinematikou je ve své podstatě pohybovým mechanismem, který sestává z více binárních členů, které jsou vázány a sestaveny za sebou prostřednictvím kinematických dvojic (KD). Každé z těchto kinematických dvojic přísluší většinou jeden stupeň volnosti. Kinematické dvojice o více stupních volnosti (např. KD, válcová či rovinná) nejsou pro stavbu průmyslových robotů a manipulátorů typické (PRaM). Ani spojením dvou otočných kinematických dvojic do jednoho kloubu, čili jako sférická dvojice, se běžně nevyskytuje, neboť taková soustava se jen velmi těžko osazuje pohony a odměřovacími systémy. Tento problém se řeší sériovým napojováním rotačních kinematických dvojic ve vzájemném pootočení (zpravidla 90°). Tak se odstraňuje problém s připojením pohonu; každý pohon si pak ovládá své otáčení. Narůstá však prostorová zástavba, především délková, a hmotnost celku.“ [2] s. 52



Obr. 2.1– Příklad robota se sériovou kinematikou [3]

Sériová kinematika robotů je nejčastěji používané kinematické uspořádání. Nevýhodou těchto robotů je nízká tuhost a vysoká nepřesnost polohování. Čím vyšší počet stupňů volnosti robot má, tím větší chyba se projeví na koncovém efektoru. Zpravidla se používají roboty s 6ti stupni volnosti (viz obr. 2.2).



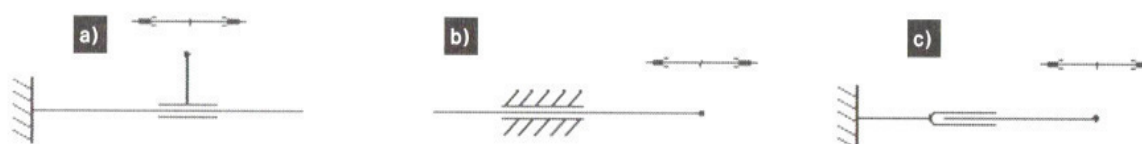
Obr. 2.2 – Znázornění os robota [4]

Translační kinematické dvojice

Tyto kinematické dvojice se podobají lineárnímu posuvu dvou těles po sobě. Je nutné si uvědomit, že pohyb posouvajících se těles je relativní.

Na obrázku 2.3 jsou znázorněny 3 typy translačních KD:

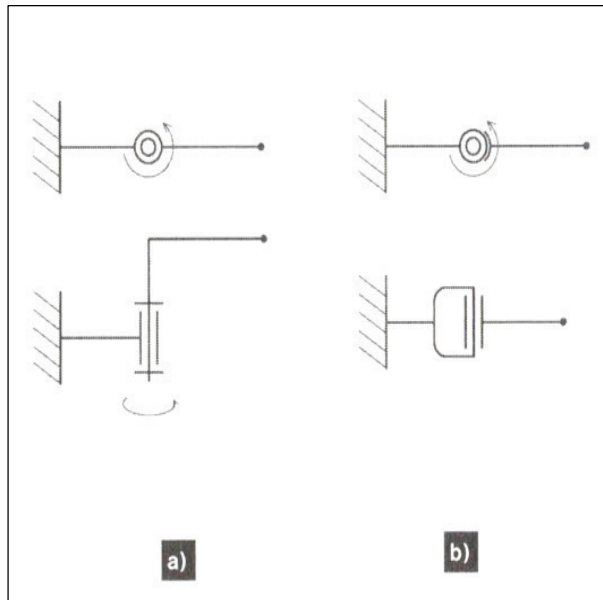
- suportové provedení – kratší těleso se posouvá po delším vedení (obr.2.3a)
- smykadlové provedení – delší těleso se posouvá po kratším vedení (obr. 2.3b)
- výsuvné nebo-li teleskopické provedení (obr. 2.3c) [2]



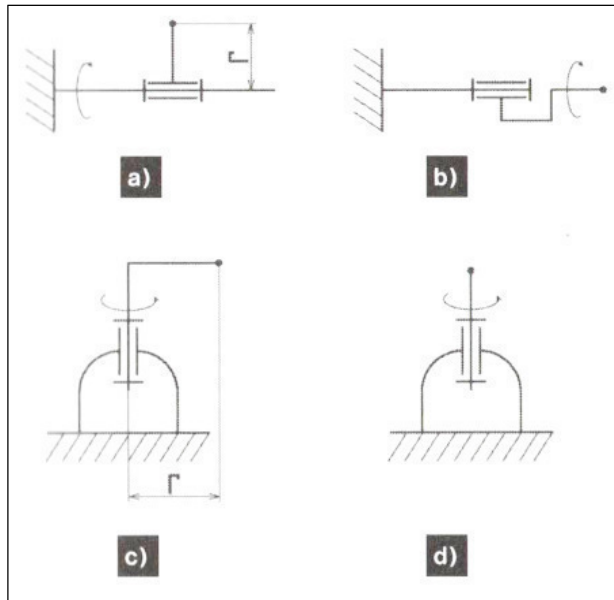
Obr. 2.3 – Schématické znázornění translačních kinematických dvojic: a) suportové, b) smykadlové, c) výsuvné [2]

Rotační kinematické dvojice

Rotačních KD mají dvě různá specifika, které představují rotaci kolem své osy, nebo rotaci ramene kolem kloubu. Jednoduché schématické znázornění je spojeno s konstrukční představou o možném rotačním pohybu, kde je znázorněný rotační pohyb realizován s určitým omezením úhlu (viz obr. 2.4a, 2.5) nebo otáčení kolem osy bez omezení (viz obr.2.4b). [2]



Obr. 2.4 – Klouby (rotační KD s ramenem „r“) v nárysu a půdorysu: a) bez omezeného úhlu otáčení, b) s omezeným úhlem otáčení [2]

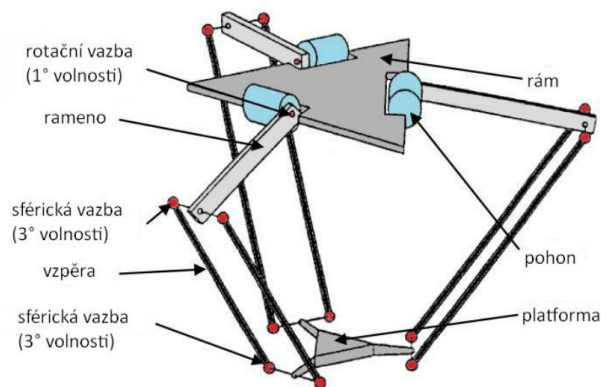


Obr. 2.5 – Otočné kinematické dvojice bez omezení úhlu otáčení: a), c) – s ramenem „r“; b), d) – kolem vlastní osy [2]

Paralelní kinematika

Hlavní myšlenka k vytvoření struktury s paralelní kinematikou spočívala v uložení nástroje na plošinu, která je zavěšena na délkově proměnlivých a kloubově uchycených závěsech, pomocí nichž ji možno plošinu natáčet a různě orientovat vzhledem k obrobku.

Minimální počet závěsů pro určení polohy je tři, ale osvědčilo se použití šesti závěsů, odtud pochází název HEXAPOD. V roce 1965 popsal D. Steward vlastnosti jednoduchého HEXAPODU, který se dnes používá pod názvem „Stewartova plošina“. [2]



Obr. 2.6 – Příklad paralelní kinematické kloubové struktury [5]

„Oproti strojům, které dosud využívali sériovou kinematiku, čili kombinaci rotačních a translačních pohybů, je výsledný pohyb u HEXAPODů dán simultánním řízením a kontrolou pohybu šesti (obecně minimálně tři) kloubově zavěšených podpěr s proměnnou délkou, které Stewartovu plošinu v prostoru přestavují.“ [2] s.126



Obr. 2.7 – Příklad robota s paralelní kinematikou od firmy Fanuc [6]

Porovnání sériových a paralelních struktur

Používání robotů s paralelní kinematikou je poněkud komplikované a s velmi složitým řízením pohybu oproti robotům s kinematikou sériovou. Teleskopická ramena se vysouvají a zasouvají pomocí pohybových šroubů. Programováním jednotlivých šroubů, lze docílit polohy v kterémkoli bodě multiúhlového pracovního prostoru.

Všechny paralelní kinematiky mají společně přenosové nelineární vztahy akčních členů v porovnání s kartézským pohybem řízení os manipulovaných předmětů. Sériová kinematika nepracuje v kartézském souřadném systému. Tento souřadný systém je člověku bližší a proto i působení akčních členů není jednoduše představitelné. [2]

2.3 Koncové efekty

Výstupní hlavici, neboli koncovým efektem, je zakončen otevřený kinematický řetězec průmyslových robotů a manipulátorů. Toto zakončení vždy odpovídá tomu, k jakému využití bude robot sloužit. V průmyslu se většinou jedná například o odebrání objektů z výrobního stroje, ukládání objektů na pásový dopravník, technologické a kontrolní operace, či mezioperační operace.

Během pracovního procesu lze většinu koncových efektorů vyměnit v automatickém zásobníku. Výhodou automatické výměny v praxi je možnost využití pouze jednoho robota, který si koncové efekty vymění podle potřeby využití. Mezi jejich důležité prvky patří adaptivita, která zvyšuje umělou inteligenci robotických systémů.

2.4 Manipulační výstupní hlavice

Manipulační výstupní hlavice slouží k uchopování předmětů a k jejich následné manipulaci. Manipulační úchopné hlavice se též nazývají chapadla. Jsou obvykle konstruovány pro uchopování konkrétního objektu a jejich danou aplikaci. Částem, které se přímo dotýkají přenášeného objektu se říká „úchopné prvky“.

2.4.1 Rozdělení úchopných prvků

Úchopné prvky lze rozdělit na:

- pasivní,
- aktivní.

Aktivní úchopné prvky mohou samy ovládat úchopnou sílu, oproti prvkům pasivním. Úchopná hlavice, která obsahuje pouze pasivní prvky, nemůže objekt sama uvolnit a zpravidla je k tomu potřeba vnějšího zásahu, např. mechanické stlačení pružiny, která v činné fázi drží objekt.

Podle charakteru styku a přenosu úchopné síly s přenášenými předměty lze rozdělit na:

- mechanické,
- magnetické,
- podtlakové,
- speciální.

Výše uvedené úchopné prvky lze dále rozdělit do tzv. klasifikačních schémat:

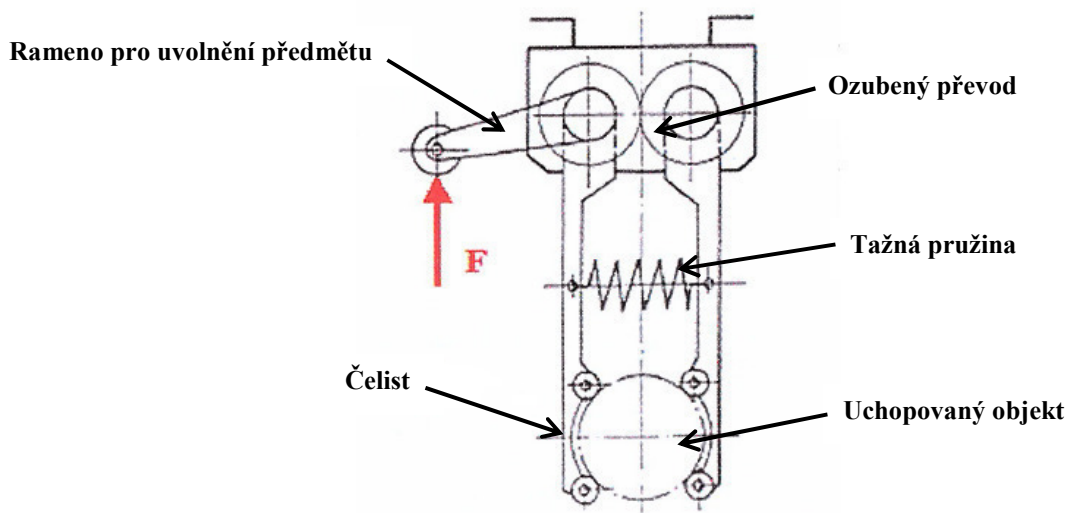
- mechanické:
 - pasivní:
 - pevné a stavitelné opěry,
 - pružné a odpružené čelisti,
 - aktivní:
 - s hydromotorem,
 - s pneumotorem,
 - s elektromotorem,
 - s elektromagnetem,

- magnetické:
 - pasivní:
 - permanentní magnety,
 - aktivní:
 - elektromagnety,
- podtlakové:
 - pasivní:
 - deformační přísavky,
 - aktivní:
 - s vývěvou,
 - s ejektorem. [2]

2.4.2 Pasivní úchopné prvky

Mechanické

Pasivní mechanické úchopné prvky obvykle obsahují pružné nebo odpružené čelisti. Na obr. 2.8 má chapadlo stykové čelisti spojeny ozubeným převodem a vzájemně stlačeny tažnou pružinou. Tento prvek uchopuje předměty tím způsobem, že robot najede k jeho povrchu a pomocí šikmé nebo kulové nájezdové hrany, najede na předmět. Pokud je potřeba, aby se povrch při najíždění nepoškodil, je nutné na nájezdovou hranu umístit kladku. Uvolnění předmětu se provede zpětným stlačením ramene, které je pevně spojeno s čelistí, případně s čelistmi. V případě, že se jedná o pružnou kleštinu, je uvolnění předmětu provedeno pomocí vyhazovače.



Obr. 2.8 – Popis mechanického pasivního úchopného prvku [2]

Magnetické

Jedná se o úchopné prvky, jejichž zvedacími elementy jsou permanentní magnety. Konstrukce je tvořena tyčovými magnety, které jsou rozmístěny podle tvaru a velikosti zvedaného předmětu, a podle hmotnosti předmětu. Tyto úchopné prvky se využívají

k manipulaci magnetických materiálů obvykle menších rozměrů. Nevýhodou těchto úchopných prvků je použití dalších mechanismů pro uvolnění objektu. Obvykle se pro vyhození používá páka, která posune magnety ve směru kolmém od výsuvné desky nebo je pohyb desky vyvozen od předepjatých pružin. Na obr. 2.9 je uveden příklad úchopného permanentního magnetu od firmy Walmag. [2]

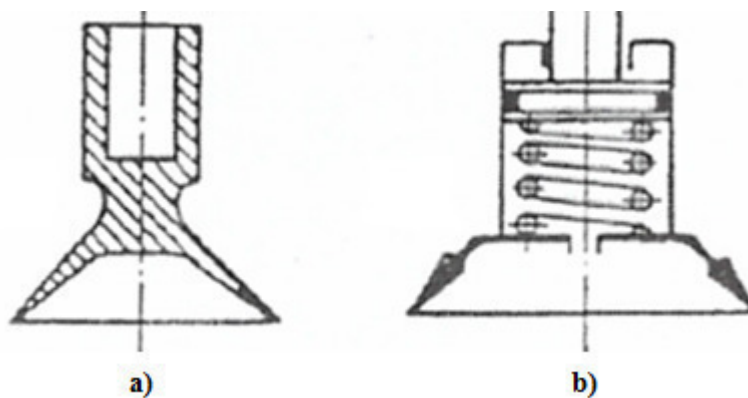


Obr. 2.9 – Úchopný permanentní magnet Walmag[7]

Podtlakové

Hlavním prvkem jsou pružné deformační přísavky obvykle na bázi silikonu nebo pryže. Přísavky se přitlačí na předmět, čímž se v prostoru přísavky sníží objem vzduchu. Po zvednutí předmětu se mezi přísavkou a stykovou plochou objem zvětší a zároveň vytvoří podtlak. Tento podtlak „drží“ uchopený předmět ve styku s přísavkou. Podmínkou pro správné fungování přísavky, je nízká drsnost povrchu. Tento typ přísavek (viz obr. 2.10a) se většinou používá pro manipulaci rovinných součástí, jako například plechů, desek, aj.

Pokud je zapotřebí manipulovat s objekty, které nemají ideálně hladký a rovný povrch, je nutné použít přísavku s odpruženým pístem (viz obr. 2.10b). Úchopná síla má vliv na tuhost pružiny, kterou lze měnit bez změny průměru manžety. Výhodou tohoto provedení je dosažení požadovaného podtlaku i u objektů, které by předchozím případem netěsnily. [2]



Obr. 2.10 - Základní schématické provedení podtlakových přísavek: a) pryžová přísavka s uchycením na čep, b) přísavka s odpruženým pístem [2]

2.4.3 Aktivní úchopné prvky

Mechanické

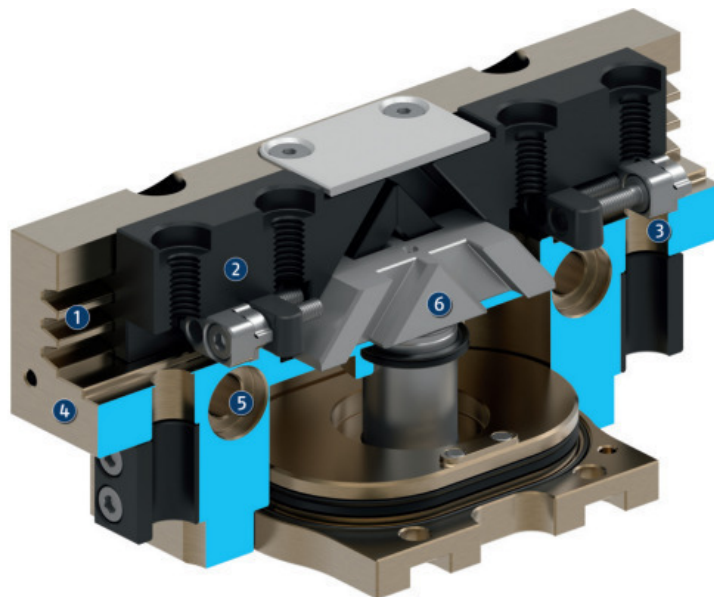
Aktivní mechanické prvky jsou úchopné hlavice, které jsou vybaveny pohyblivými čelistmi. Ideálním úchopným prvkem by byla lidská ruka, v praxi je ovšem postačující řešení dvouprstých, případně tříprstých čelistí, které se pohybují směrem k sobě lineárně nebo rotačně. Pohonem pro tyto aktivní prvky jsou lineární nebo rotační motory jako například: pneumatické válce, hydraulické válce, elektromotory nebo elektromagnety. [2]

Mechanická chapadla tohoto typu jsou nejčastěji používané úchopné prvky. Lídr v oblasti upínací techniky a uchopovacích systémů je německá firma Shunk, která byla založena v roce 1945 jako mechanická dílna. Dnes nabízí standardně 11 000 komponentů z oblasti upínací techniky, zejména přesné a bezpečné uchopovací prvky. V roce 2000 společnost Shunk dospěla k názoru, že se doposud používané vedení čelistí v T-drážce během procesu předčasně opotřebuje a tím dochází ke ztrátě přesnosti. Na základě této negativní vlastnosti vyvinuli nové vícezubé vedení a s ním univerzální chapadlo PGN-plus-P (viz obr. 2.11), které se stalo nejlepším univerzálním chapadlem na světě. [8]



Obr. 2.11 – Univerzální chapadlo PGN-plus-P od společnosti Shunk [8]

Uvnitř upínacího pouzdra je oválný píst, který se pohybuje nahoru a dolů působením stlačeného vzduchu. Úhlové aktivní plochy klínového háku vytvářejí synchronizovaný, paralelní pohyb čelistí, což je zobrazeno v řezu na obrázku 2.12. Vícezubé vedení je vysoce zatížitelné vedení základních čelistí, které je téměř bez vůle. V základní čelisti jsou čtyři závity pro napojení prstů chapadla pro konkrétní velikost obrobku. Uvnitř pouzdra jsou umístěny čidla a snímače pro přesné nastavení úchopu. [8]



Obr. 2.12 – Sekční schéma chapadla PGN-plus-P pro zobrazení funkce [8]

1. Vícezubé vedení
2. Základní čelist
3. Systém čidel
4. Pouzdro
5. Středící a montážní otvor
6. Konstrukce klínového háku

Magnetické

Aktivní magnetické prvky pracují na podobném principu jako permanentní magnety u prvků pasivních. Permanentní magnet je nahrazen elektromagnetem napájeným stejnosměrným proudem. Ve stykové desce je uloženo budící vinutí, kde při průchodu elektrického proudu vznikne magnetické pole a objekt se uchopí. Při uvolnění objektu se přerušuje průchod proudu. Při uchopování magneticky tvrdých materiálů se vlivem působení magnetického pole objekty trvale „zmagnetují“ a je zapotřebí jejich odmagnetování. To se provede krátkodobým obrácením polarity na budícím vinutí. [2]

Podtlakové

Podtlakové úchopné hlavice využívají k činnosti ejektory a vývěvy. Obecně se nazývají podtlakové komory. Ejektor je zařízení, kterým proudí médium (kapalina, plyn nebo pára), kde dochází ke změně tlaku. Nejpoužívanější oběžné médium je vzduch. V místě změny tlaku je přiveden vstup, kde ve snaze vyrovnání tlaku dochází k sání (podtlaku). Při použití vývěvy se připojuje na společné odsávání i více podtlakových komor. Pořizovací cena podtlakových hlavice s ejektorem je nízká, ale při používání je velká spotřeba tlakového vzduchu. Při manipulaci plechů a jejich následném položení může nastat problém s uvolněním a to ten, že v prostoru přísavky bude dostatečný podtlak k tomu, aby se daný předmět neuvolnil. Abychom předešli tomuto problému, zavádí se do ejektorové hlavice další vstup na tlakový vzduch, díky kterému se při uvolnění vyrovná tlak v prostoru přísavky. [2]

2.5 Senzory

Senzory, neboli snímači, je robot vybaven, potřebujeme-li, aby robot samostatně reagoval změnou ve svém chování, na změny ve sledovaných parametrech. Funkcí senzorů je poskytování informací o sledovaných parametrech řídicímu systému, díky čemuž se robot stává adaptivním. Pohyby robotu jsou poté řízeny daným programem řídicího systému, na základě využití informací z jednotlivých senzorů. Především kvalitou senzorů, jejich vybavením a schopností motoricky reagovat na změny okolního prostředí, je u průmyslových robotů charakterizována adaptivita. [2]

Aby byl průmyslový robot adaptivním, musí být sestaven ze tří hlavních částí, mezi které patří řídicí systém s programovým vybavením, informace o okolním prostředí a senzorický a mechanický systém. Robot je poté schopen snímat své vlastní pohyby a prostředí, ve kterém pracuje. Tuto schopnost naplňují právě průmyslové senzory, které jsou vybaveny funkcí umožňující poskytování přesně změřených údajů a snímání informací ve všech spektrech optických a akustických pásmech. Snímače jsou vždy sestaveny pro přesné výpočty, ale pouze pro konkrétní měřené veličiny. [2]

Hlavní částí senzoru je čidlo, které snímá měřený objekt. Obvykle je snímaná veličina neelektrická a pomocí převodníků, komparátorů a mikroprocesorů se převádí na veličinu elektrickou. Tyto signály vstupují do řídicí jednotky, která posílá informaci o poloze objektu elektrickým servopohonům. [2]1

Senzorika robota se dělí na vnitřní a vnější. Vnitřní sensorika poskytuje informace mezi které patří poloha a rychlost ramene, či výkon robota. Jedná se tedy o veličiny související se samotným robotem. Tyto senzory jsou na rozdíl od vnějších, které bývají umístěny mimo robot, polohovány přímo na robotu. Umístění vnějších senzorů napomáhá ke snímání veličin souvisejících převážně s prostředím, ve kterém se robot nachází. Snímače, které vyžadují přímý kontakt s měřeným objektem, patří do sensoriky dotykové, jinak zvané *taktilní*. Jejich přímým protikladem jsou senzory optické, či indukční, které ke snímání dotyk s objektem nepotřebují, obecně jsou označovány jako *proximitní*. [2]

2.5.1. Typy snímačů

Elektromechanické

Mezi nejzákladnější snímače, patří koncové spínače, jejichž základním prvkem je tlačítko, které bývá situováno v pouzdře. Důvodem tohoto umístění je zabránění vstupu vnějších nečistot do mechanismu. Cílem tohoto druhu snímačů je zachycení přejezdu konkrétního bodu nebo častěji jako koncový spínač, který přeruší určitou část elektrického obvodu.

Indukční a kapacitní

Indukční snímače (obr. 2.13a) jsou určeny pro zachycování veličin zejména kovových předmětů. Tomuto typu rovněž přisuzujeme schopnost práce na základě vysokofrekvenčního elektromagnetického střídavého pole. Pokud senzor snímá kovový předmět, začnou se v něm indukovat vířivé proudy, které odebírají energii z elektrického pole. Snížením energie dojde také ke snížení oscilační amplitudy, na základě které snímač vyhodnotí další akci. Snímací vzdálenost pro ocelové předměty je 0,3 – 0,5 mm. [2]

Kapacitní snímače (obr. 2.13b) oproti předchozím mohou snímat i nekovové předměty. Princip tohoto snímače se dá přirovnat ke kondenzátoru. Aktivní čidla jsou složeny

ze dvou kovových elektrod, které jsou umístěny v uzavřeném vysokofrekvenčním oscilátoru. Přiblížením jakéhokoli předmětu k čidlům se zvýší kapacitní reaktance a na výstupním signálu je provedeno vyhodnocení. Nevýhodou u tohoto typu spínače je ta, že se snímací vzdálenost mění na základě dielektrické konstanty snímaného materiálu. [2]

Výhodou těchto senzorů je dlouhá životnost, protože nedochází ke kontaktu se snímaným objektem. Jsou odolné proti rušení a mají dobrou odolnost proti změnám teploty. Nevýhodou je velmi malá spínací vzdálenost. [2]



Obr. 2.13 – Příklady elektromagnetických snímačů, a) indukční, b) kapacitní [10], [11]

Senzory vnímání

Senzor s integrovaným vnímáním umožňuje snímat nestrukturované předměty v prostředí velmi přesně, uchopovat je a umisťovat v prostoru s přesně definovanou polohou. Společnost Kuka vyvinula první 3D senzor na světě, který dává robotům takové schopnosti. (viz obr. 2.14) Pomocí integrované technologie zpracovává hloubkové obrazy přímo v senzoru, kde zaznamenává svou aktuální polohu. Obrazová data je schopen zpracovat při jakýchkoli světelných podmínkách a i při vyšších rychlostech pracuje s přesností do 1 mm. Rozpoznávací vzdálenost pro snímání objektů se vyrábí ve dvou základních variantách: 65 mm nebo 160 mm. [3]



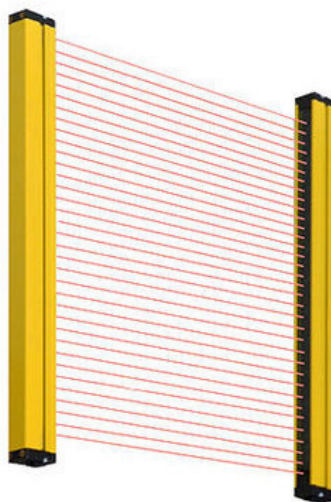
Obr. 2.14 – Kuka 3D Perception

Světelné závory

Světelné závory jsou obvykle označovány jako závory optické a jejich instalace u průmyslových robotů může být uskutečněna dvojím způsobem. Oba typy jsou vždy tvořeny vysílačem a přijímačem. Podstatou závor je práce založená na přerušení světelného paprsku způsobené sledovaným objektem. Prvním typem jsou tzv. jednocestné optické závory. V tomto případě sledovaný objekt pozastaví paprsek, následovaný sepnutím přijímače, a to bez závislosti na vlastnostech povrchu objektu. Vysílač a přijímač jsou situovány v samostatných pouzdrech. Druhým způsobem jsou tzv. reflexní optické závory, které jsou rozdílné především umístěním vysílače i přijímače, a použitím reflexní plochy. Pozice ve společném pouzdře, umožňuje vysílači a přijímači práci se stejnou čočkou. Zároveň s čočkou prochází vysílané světlo i rozdělovacím zrcadlem dále na reflexní odrazovou plochu, která vrátí světlo zpět na čočku. Odrážené světlo bývá přerušeno pozorovaným předmětem, což následně vyústí v rozdílný stav výstupního signálu. [2]

Oddělená oblast sensoriky, s mnohem náročnějšími funkčními a konstrukčními požadavky, se nazývá bezpečnostní. Název odvětví nám napovídá jeho následné využití, a to v oblasti bezpečnosti. Sensory jsou používány v zónách, které doprovází nebezpečný automatický pohyb, který by mohl zapříčinit zranění či smrt osoby určené k obsluze stroje. Po vstupu jakékoliv osoby do hlídaného prostoru v okolí robotu, je stroj pro předejití nehody, následně zastaven. [2]

Nejpoužívanějším typem bezpečnostní sensoriky jsou tzv. bezpečnostní světelné závory (viz obr. 2.15). Jejich systematické umístění vytváří kolem hlídaného prostoru tzv. světelný plot, kterým je monitorován vstup jakékoliv osoby do tohoto prostoru. Poloha senzorů je vypočítávána určenými variabilními hodnotami, které zajišťují instalaci senzorů v bezpečné vzdálenosti od stroje. Schopnost zachycovat širokou škálu velikostně rozdílných objektů, je určována vzdáleností mezi jednotlivými paprsky senzoru. Pro umožnění snímání malých předmětů, je zapotřebí uzpůsobit rozteč mezi paprsky na nejmenší a naopak. [2]



Obr. 2.15 – Bezpečnostní světelná závora Grein[12]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE

3.1 Problémová situace

Při ruční montáži extruderů vznikají náklady na jednoho operátora. Za prvé je lidská montáž, oproti robotizované, zdlouhavá. Za druhé člověk dělá chyby ať už vědomě nebo nevědomě, například z důvodu únavy. Cílem výrobních podniků je nahrazení ručních pracovišť pracovišti automatizovanými. Podstatou této práce je změna charakteru současného pracoviště a to osazením robota nebo robotů.

3.2 Formulace problému

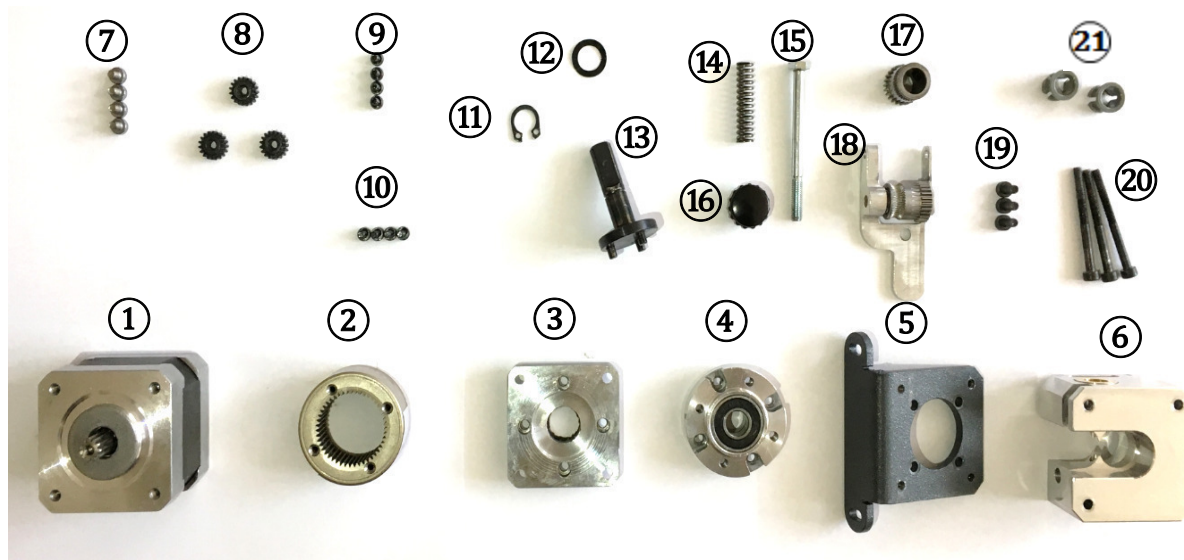
Nahrazení operátora na ručním pracovišti robotickým pracovištěm s použitím jednoho nebo dvou 6-ti osých robotů a dopravníky pro dopravu jednotlivých komponentů extruderu.

3.3 Cíle a řešení

Cíle této diplomové práce jsou popsány v následujících bodech:

- výběr 3D tiskárny na principu FFF
- rozpad komponentů
- návržení variant řešení robotizovaného pracoviště
- výběr jedné varianty a její následné zpracování
- ekonomické zhodnocení
- závěr

3.4 Rozpad komponentů extruderu



Obr. 3.1 - Rozpad dílů extruderu

V níže uvedené tabulce Tab. 3.1 jsou popsány jednotlivé díly, které jsou zobrazeny v rozpadu komponentů na obr. 3.1.

Tab. 3.1

Poz.	Název - označení	Materiál/norma	Počet
1	Krokový motor – 17HS30001-C5X		1
2	Oběžné ozubené kolo – 36PA5.18G	Ocel tř. 14 – tepelně zpracováno	1
3	Dosedací deska planetové převodovky	Slitina hliníku	1
4	Ložiskový domeček s ložiskem 698RS	Slitina hliníku	1
5	Platle pro upevnění extruderu k rámu	Slitina hliníku	1
6	Těleso pro uložení převodů pro tlačení plastové struny do trysky	Slitina hliníku	1
7	Šrouby M3x5 pro spojení dílů 1 a 3	Pevnost 4.8	4
8	Planetová ozubená kola	Ocel tř. 14	3
9	Šrouby M2,5x5 pro spojení dílů 3 a 4	Pevnost 4.8	4
10	Šrouby M2,5x7 pro spojení dílů 2 a 4	Pevnost 4.8	4
11	Segerovka k zajištění ložiska na dílu 13	ČSN 02 2930	1
12	Pružná zvlněná podložka pr.8 k vymezení ložiska	ČSN 02 1733	1
13	Výstupní hřídel z převodovky s unašečem	Ocel tř. 19 – tepelně zpracováno	1
14	Pružina 6,3/1	Tuhost 2,15N/mm	1
15	Šroub M4x50 pro nastavení síly tlaku na plastovou strunu pomocí pružiny	Pevnost 4.8	1
16	Maticice pro nastavení stlačení pružiny	Mosaz	1
17	Výstupní ozubené kolo z převodovky	Ocel tř.16	2
18	Rameno s přitlačným ozubeným kolem	Slitina hliníku	1
19	Šrouby M3x8 pro spojení dílů 4 a 5	Pevnost 4.8	3
20	Šrouby M3x35 pro spojení dílů 5,6 a 18	Pevnost 4.8	3
21	Plastová kleština na bowden pr.6,5	Plast	2

Materiálové veličiny

Tab. 3.2

Materiál	Norma	Chemické složení	Pevnost v tahu/tlaku	Tvrдость
Slitina hliníku	ČSN 42 4201	AlCu4Mg	320 - 350MPa	100HB
Ocel tř. 14	ČSN 14 220	16MnCr5	830 - 1080MPa	43HRC
Ocel tř. 16	ČSN 16 420	15NiCr13	850 - 1190MPa	48HRC
Ocel tř. 19	ČSN 19 083	C45W	785 - 1160MPa	46HRC
Šroub 4.8	ISO 898-1	-	400 - 420MPa	120HRB

Materiál	Norma	Chemické složení	Pevnost v tahu/tlaku	Tvrдость
Technický plast	Polypropylen PP	-	30MPa	40HB-
Mosaz	ČSN 42 3213	CuZn37	370 – 440Mpa	110HB

Výběr materiálu je vybrán odhadem dle použití a běžně dostupných materiálů prodejců JKZ Bučovice, A+A Pardubice nebo VM plast Nedakonice. Přesné označení materiálu je uvedeno ve výkresové dokumentaci výrobce. [14,15,16]

Popis řešené soustavy

Celá sestava se montuje ve třech krocích. V závorkách jsou uvedené pozice, které vychází z tabulky 3.1:

Smontováním následujících šesti komponentů je zobrazeno na obr. 3.2. Na ručním pracovišti se pomocí mechanického lisu nalisuje dvouřadé ložisko do domečku (poz. 4). Do přípravku se třemi otvory se položí hřídel s unášeči (poz. 13). Mezi hřídel a ložisko se vloží pružná zvlněná podložka (poz. 12) pro vymezení vůle mezi ložiskem a vnějším pojistným kroužkem. Domeček s ložiskem se nalisuje na stejném lisu. Po nalisování se do drážky v hřídeli umístí pojistný kroužek (poz. 11) pomocí speciálních kleští. Na konec se na hřídel vloží ozubené kolo (poz. 17) a pomocí ručního šroubováku s nastaveným utahovacím momentem se přitáhne stavěcím šroubem M4 k plošce, která je na hřídeli vyfrézována. Vnitřní šestihran má rozměr 2 mm a utahovací moment je nastaven na 2500 N.mm.

Celkový čas na montáž dílů v prvním kroku je 85 sekund a doba přesunu na pracoviště mechanického lisu je 15 sekund.



Obr. 3.2 – Výstupní ozubené kolo pevně spojené s unášeči

V druhém kroku se smontuje planetová převodovka s unášečem a krokovým motorem (poz. 1) pomocí 4 šroubů M3x5 (poz. 7). Na unášeče se uloží planetová ozubená kola (poz. 8) a zároveň se k ložiskovému domečku upevní čtyřmi šrouby M2,5x7 (poz. 10) oběžné ozubené kolo (poz. 2), které je v tomto případě nehybné. Při montáži šroubů je potřeba si dát pozor na to, aby planetová kola nevypadla z unášečů při případném naklonění. Ze spodní strany se k oběžnému kolu připevní dosedací deska planetové převodovky (poz. 3) čtyřmi šrouby

M2,5x5 (poz. 9). Poté se celá převodovka připevní ke krokovému motoru pomocí čtyř šroubů M3x5.

Utahovací moment u šroubů M2,5 je nastaven na 920 N.mm a rozměr vnitřního šestihranu je 2 mm. U šroubů M3 je moment nastaven na 1050 N.mm a rozměr šestihranu je 2,5 mm.

Montáž těchto částí je prováděno pomocí imbusových klíčů. Moment dotažení je pouze přibližný a je kontrolován ručním momentovým klíčem.

Celková doba montáže dílů v druhém kroku je 240 sekund.



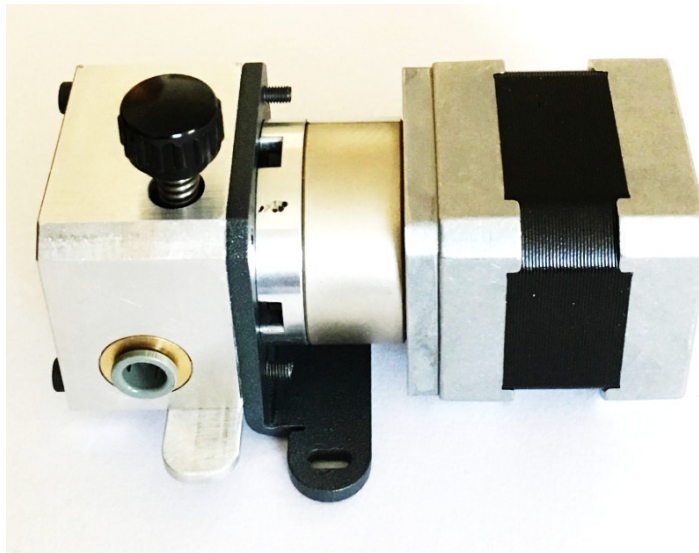
Obr. 3.3 – Planetová převodovka spojená s krokovým motorem

V posledním kroku se k ložiskovému domečku (poz. 4) přišroubuje platle (poz. 5) třemi šrouby M3x8 (poz. 19) pro uchycení k rámu. K platli se upevní těleso pro uložení ozubených kol (poz. 6) spolu s přítlačným ramenem (poz. 18). Všechny tři díly se přitáhnou třemi šrouby M3x35 (poz. 20). Nakonec se do přítlačného ramena aplikuje šroub s šestihrannou hlavou M4x50 (poz. 15) s tlačnou pružinou (poz. 14) a dotáhne se maticí (poz. 16), která je upravená pro nastavování jenom pomocí prstů.

Do průchodů, kterými prochází filament se ručně vloží plastové kleštiny (poz. 21), které zajistí kotvení bowdenu. Přítlačná síla pružiny se nastavuje individuálně podle empirických znalostí výrobce přímo na konkrétní tiskárně.

Šrouby M3 jsou dotaženy utahovacím momentem 1050 N.mm

Celková doba montáže dílů extruderu ve třetím kroku je 310 sekund. Výsledek je zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.4 – Kompletně sestavený extruder

3.5 Systém podstatných veličin

Tento systém obsahuje veličiny, kde se uvádí podstatné skutečnosti z hlediska řešení problému. Při řešení kteréhokoli problému se vytvoří množina všech podstatných bodů, které souvisí s daným řešením problému. [13]

S0 – veličiny popisující okolí entity

Okolí sledované entity je pracovní prostor robotů včetně dopravníků. Tento prostor je ohraničen klecí s bezpečnostními dveřmi.

S1 – geometrie a topologie entity

Řešenou entitou jsou dva roboty, které mají pracovní prostor vymezený dvěma kružnicemi (mezikružím), které se mezi sebou protínají.

S2 – vazby a interakce entity s okolím

Roboty navzájem spolupracují s dopravníky, ze kterých odebírají díly pro montáž, na základě vytvořeného programu.

S3 – aktivace entity s okolím

Pokud je aktuálně montovaný díl uložen na dopravníku nebo na paletce v prostoru robota, snímač vyšle informaci o poloze, na základě které robot začne vykonávat předepsaný pohyb.

S4 – ovlivňování entity s okolím

Prázdna množina

S5 – oborové vlastnosti struktury entity

Pracovní rozsah, nosnost a rozměry robota jsou uvedeny v katalogovém listu výrobce. Typové označení robota je KR 5 arc.

S6 – veličiny popisující procesy a stavy entity

Procesy a stavy entit jsou popsány trajektoriemi koncových efektorů v prostoru.

S7 – veličiny popisující projevy entity

Pokud je entita v provozu, svítí na kontrolním panelu zelené světlo. V případě poruchy nebo náhlému zastavení se rozsvítí červená kontrolka. Tento jev může nastat, pokud navažeč nedoplní díly na dopravník nebo paletku.

S8 – důsledky projevů

Přerušení výroby způsobí prostoj strojů, který se počítá do nežádoucích nákladů. Tento prostoj je přenesen na předchozí i následující operace.

3.6 Kapacitní propočty současného pracoviště

Celkový čas montáže extruderu se rovná součtu montážních časů jednotlivých kroků a doby přesunu na jiné pracoviště, což je uvedeno v tabulce Tab. 3.3. Jednotlivé kroky vychází z předchozího systémového rozboru v kapitole 3.4.

Tab. 3.3

Krok	Montážní čas [s]	Doba přesunu na jiné pracoviště [s]
K ₁	85	15
K ₂	240	0
K ₃	310	0

Hodnota montážního času jednoho výrobku:

$$T_{MC} = K_1 + K_2 + K_3$$
$$T_{MC} = \mathbf{650s},$$

počet vyrobených kusů za jednu směnu:

$$T_{1S} = 7,5hod \rightarrow 27\,000s$$

$$z = 1$$

$$N_{1S} = \frac{T_{1S}}{T_{MC}} \times z$$

$$N_{1S} = \frac{27\,000}{650}$$

$$N_{1S} = \mathbf{41,54} = \mathbf{41 extruderů},$$

počet vyrobených 3D tiskáren za jednu směnu:

jedna 3D tiskárna obsahuje dva extrudery,

$$n = 2$$

$$S_{1S} = \frac{N_{1S}}{n}$$

$$S_{1S} = \frac{41}{2}$$

$$S_{1S} = \mathbf{20,5} = \mathbf{20 výrobků (3D tiskáren)},$$

výrobnost za pracovní měsíc (21 směn)

$$m = 21$$

$$S_m = S_{1s} \times m$$

$$S_m = 20 \times 21$$

$$S_m = \mathbf{420 \text{ výrobků (3D tiskáren)}}.$$

Pro kompletní montáž jsou potřeba tři nástroje:

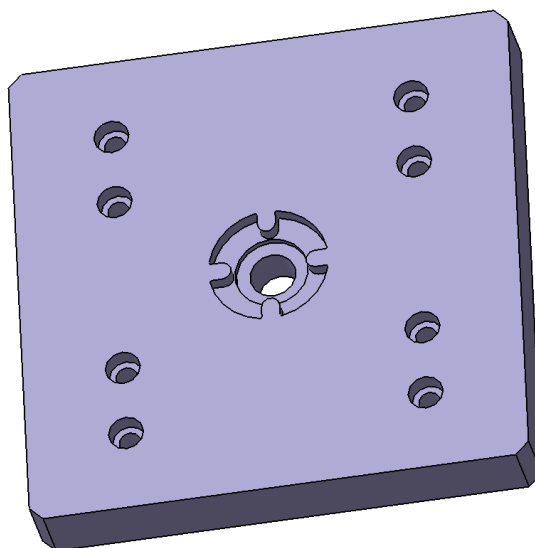
- nástavec na šroubovák s vnějším šestihranem 2 mm
- nástavec na šroubovák s vnějším šestihranem 2,5 mm
- kleště na pojistné kroužky

4 NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ

Vzhledem ke složitosti návrhu plně robotického pracoviště, které by montovalo celý extruder bez asistence člověka, bude montážní pracoviště rozděleno na dvě části:

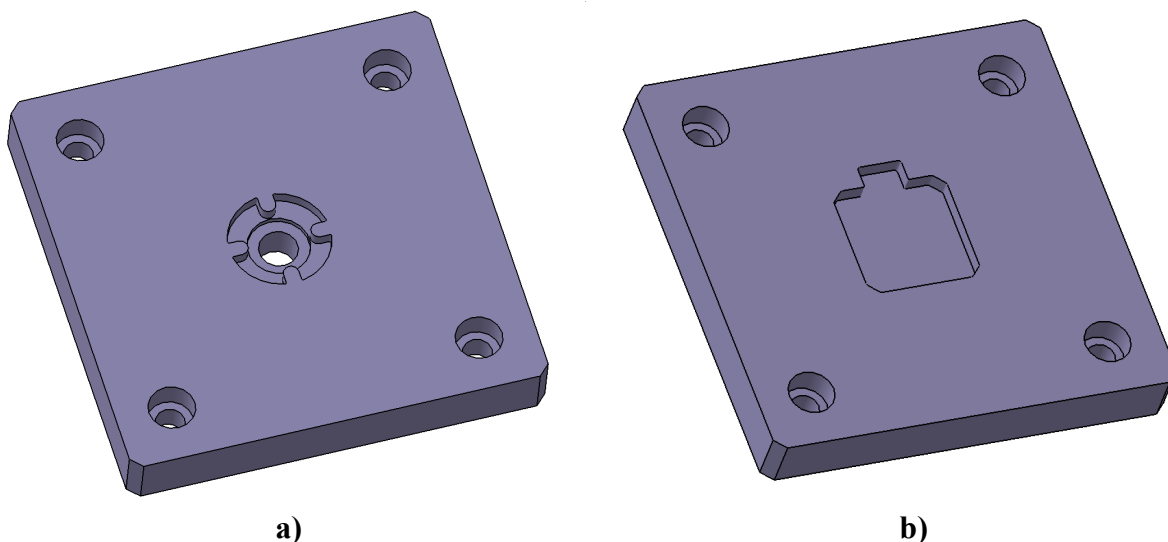
- ruční pracoviště
- robotické pracoviště

V prostoru ručního pracoviště bude operátor montovat ve dvou krocích. V prvním kroku bude lisovat ložisko do ložiskového domečku, a hřídel s unašečem do vnitřního kroužku ložiska užitím hydraulického lisu. V druhém kroku nasadí na hřídel ozubené kolo a přitáhne stavěcím šroubem pomocí momentového utahováku. Smontovaný díl se uloží do přípravku (obr. 4.1) s označením K1 v pozici P1, který je uložen v lineárním vedení. Po uvolnění se přípravek K1 posune do pozice P2, která je již umístěna v robotizovaném prostoru. Při výběru zvolené varianty je ruční část pracoviště ve všech variantách stejná, proto se řešení liší pouze v robotické části.



Obr. 4.1 Přípravek montážního stanoviště s označením K1

Robotický prostor je vybaven dvěma montážními stanovišti, které jsou označené K2 (obr. 4.2a) a K3 (obr. 4.2b). Na těchto pracovištích se provádí kompletace dílčích součástí. Přesun a montáž komponentů provádí 6-ti osý robot. Dopravu součástí do pracovního prostoru robota zajišťuje transportní zařízení, jehož funkce je popsána v konkrétní variantě.

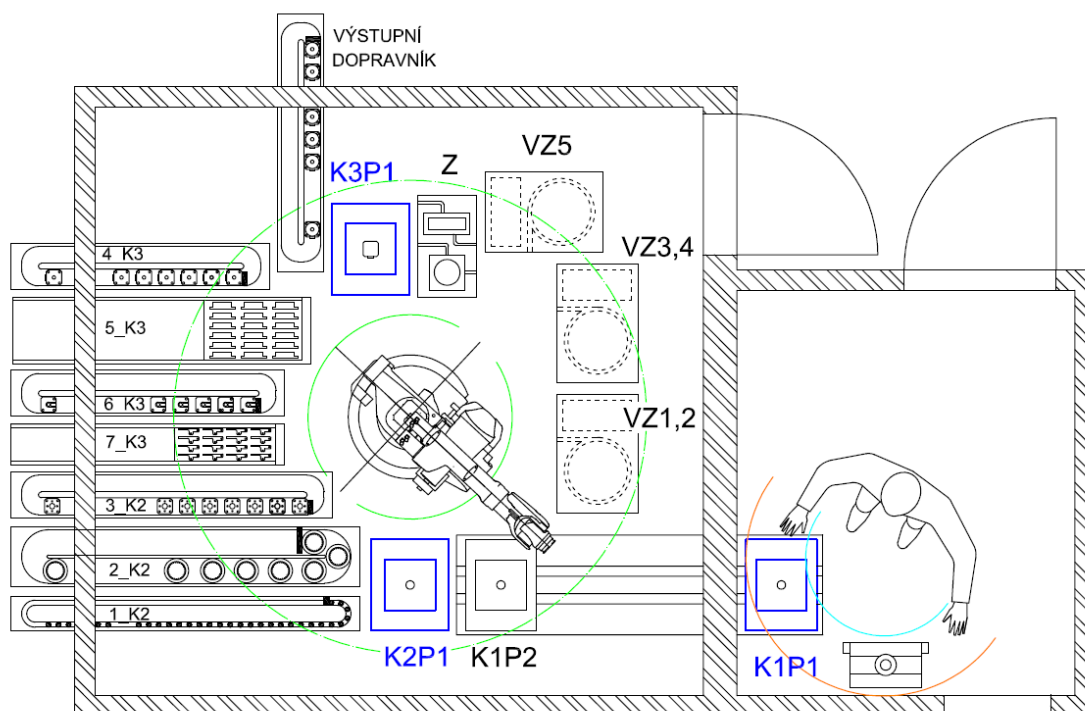


Obr. 4.2 . Přípravek montážního stanoviště: a) s označením K2, b) s označením K3

4.1 Varianta A

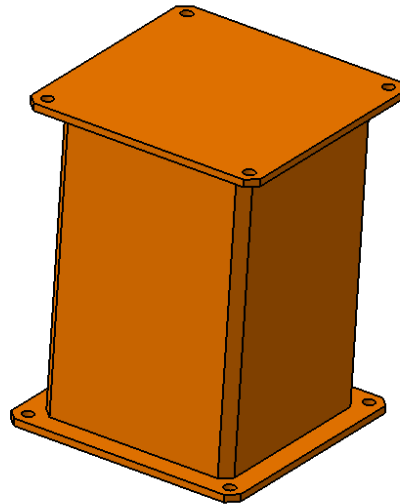
Layout pracoviště A

Layout pracoviště je důležitý kvůli zástavbovým rozměrům prostoru, ve kterém bude robotické pracoviště postaveno. Kromě layoutu samotného pracoviště je důležité v projektu uvést layout celého nebo alespoň částečného prostoru například výrobní haly. Jednak z důvodu přístupové cesty a prostoru, kterým se bude pracoviště stěhovat před uvedením do provozu nebo možnosti dovedení tlakového vzduchu či rozvodu elektrické sítě. Na obr. 4.3 je zobrazeno schéma pracoviště. Originální layout včetně rozměrů je umístěn v příloze této práce.



Obr. 4.3 – Layout pracoviště varianty A

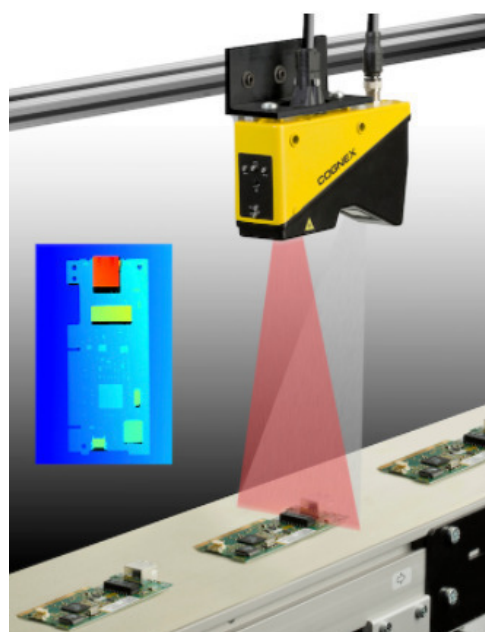
Uprostřed pracovního prostoru je uložen Kuka robot s označením KR5arc. Vzhledem k malé velikosti robota je nutné robota umístit na podstavu o výšce 430mm a přišroubovat šrouby M16. Podstavou je svařená konstrukce, která je přikotvena k podlaze čtyřmi šrouby a dotažená maticemi M16 (viz obr. 4.4). Robot má pracovní prostor vymezen mezikružím o rozměrech 600 – 1400 mm.



Obr. 4.4 – Podstava robota

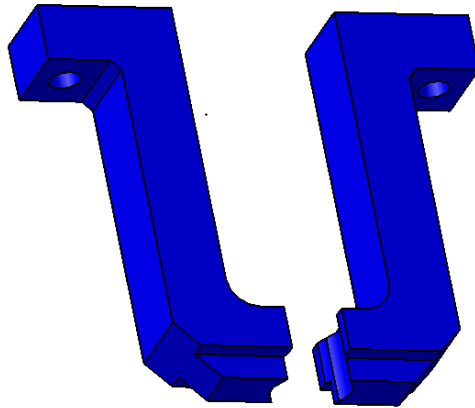
Kolem robota je umístěno šest řetězových dopravníků a tři lineáry s paletkou. Každý dopravník je osazen světelnou závorou, která při přerušení paprsku montážním dílem zastaví dopravník. Dopravníkové pásy jsou označeny pořadovým číslem montáže a označením stanoviště, na kterém bude operace vykonána. Dopravníky jsou situovány tak, aby se robot pohyboval po co nejkratších drahách.

Aby robot byl schopen uchopit objekt přesně, musí být koncový efektor vybaven sledovacím zařízením, 3D viděním tzv. laserovým profilerem viz obr. 4.5. pro přesnou pozici dílu na dopravníku. [18]



Obr. 4.5 – Laserový profiler [18]

Jedním z koncových efektorů je mechanické chapadlo pro přesouvání součástí mezi dopravníkem a montážním stanovištěm. Dotykové plochy čelistí mají přizpůsobený tvar tak, aby uchopilo rovinné i válcové součásti (obr. 4.6). Čelisti jsou upevněny ke stávajícímu tělu chapadla PGN od společnosti Shunk.

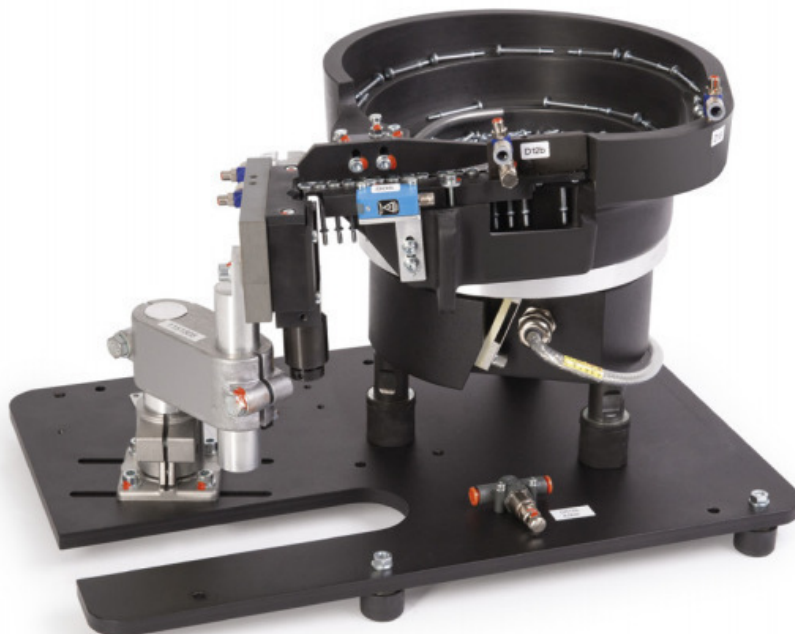


Obr. 4.6 – Čelisti chapadla

Druhým koncovým efektem je elektrický momentový šroubovák pro automatické montážní stroje.

Jelikož jeden robot pracuje se dvěma rozdílnými efekty, je prostor robotu vybaven zásobníkem, ve kterém se vymění podle postupu montáže a typu prováděné operace.

Aby byl robot schopen správně uchopit šroub, je pracoviště osazeno spirálovým vibračním podavačem šroubů se šroubovákem. Podavač šroubů je zobrazen na obr. 4.7 a jeho princip podávání do šroubovací hlavičky je popsán později. Problém je, že je potřeba tolik podavačů, kolik je v extruderu druhů šroubů. V tomto případě je to pět druhů. [17]

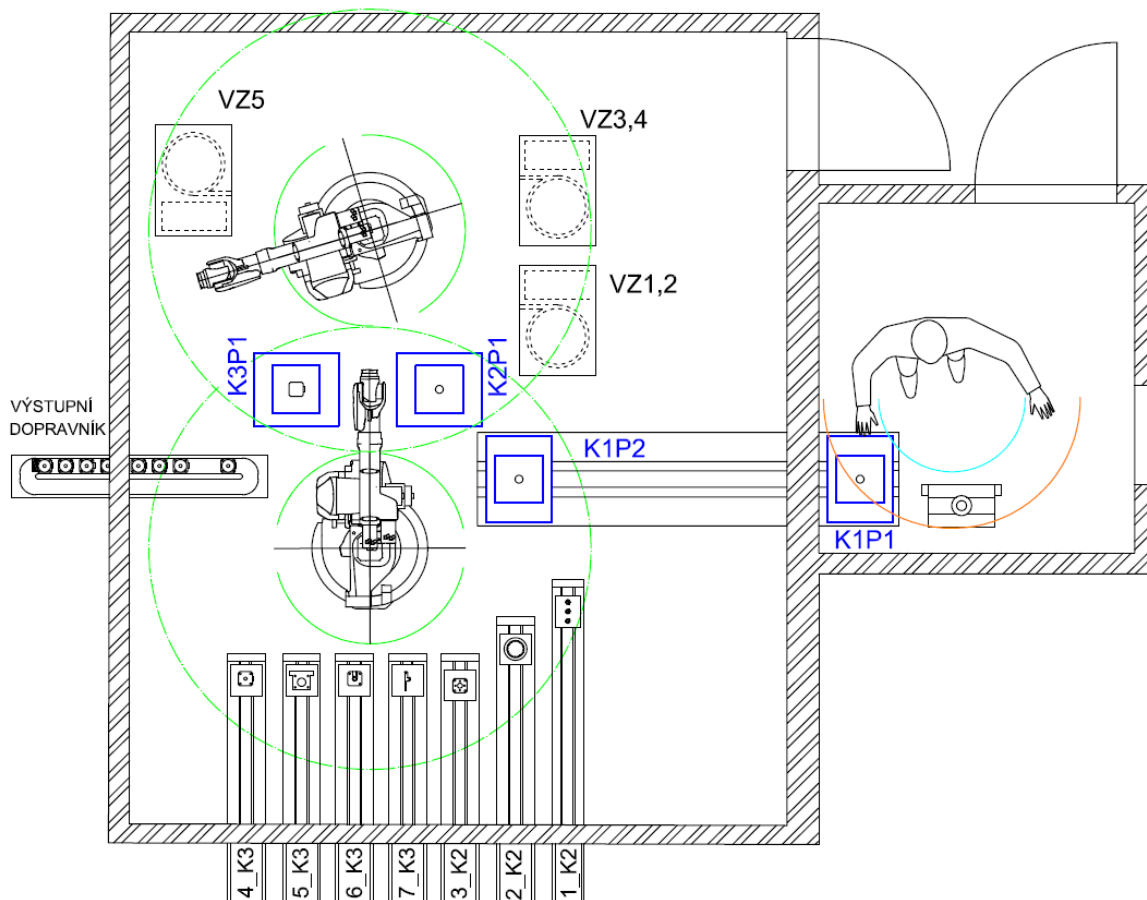


Obr. 4.7 – Vibrační podavač od firmy Weber [17]

4.2 Varianta B

Níže je popsána modifikace pracoviště oproti variantě A.

Layout pracoviště B



Obr. 4.8 – Layout pracoviště varianty B

Oproti předchozí variantě je pracoviště osazeno dvěma 6-ti osými roboty. První robot má jako koncový efektor mechanické chapadlo, které slouží k přesunu jednotlivých dílů a dílčí sestavy extruderu. Druhý robot má na výstupní hlavici namontován šroubovák, který se prodává jako periferie k vibračním podavačům od firmy Weber typ PEB viz obr. 4.9. [17]



Obr. 4.9 – Šroubovák WEBER typ PEB [17]

Pásový dopravník je nahrazen lineárním vedením (obr. 4.10), kde jsou aktuálně montované díly uloženy v přípravku. Na lineárním vedení je v přípravku umístěn vždy pouze jeden komponent, který po uchopení robotem odjede pro další stejný komponent. Pro lineární vedení je použit lineární motor od firmy Schmachtl s typovým označením ServoTube 25, 624. [19]



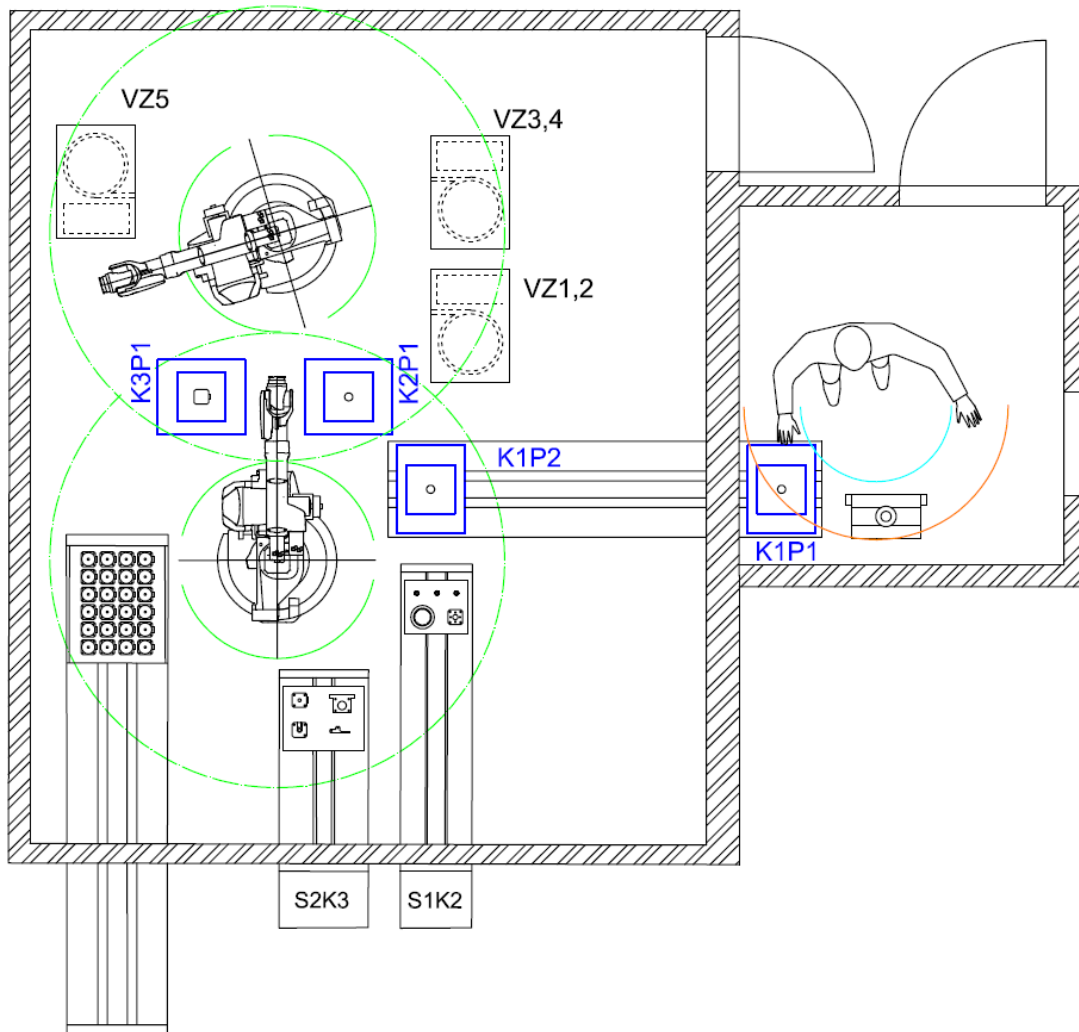
Obr. 4.10 – Lineární motor Schmachtl ServoTube 25, 624 [19]

Přesnou koncovou polohu zajistí přesnost vyrobeného přípravku a jeho uložení ve vedení. U tohoto řešení odpadá použití sledovacího zařízení v koncové části robota. Světelná závora slouží k impulsu pro lineární vedení po odebrání komponentu robotem.

Robot je umístěn stejně, jako ve variantě A. Originální layout včetně rozměrů je umístěn v příloze této práce.

4.3 Varianta C

Layout pracoviště C



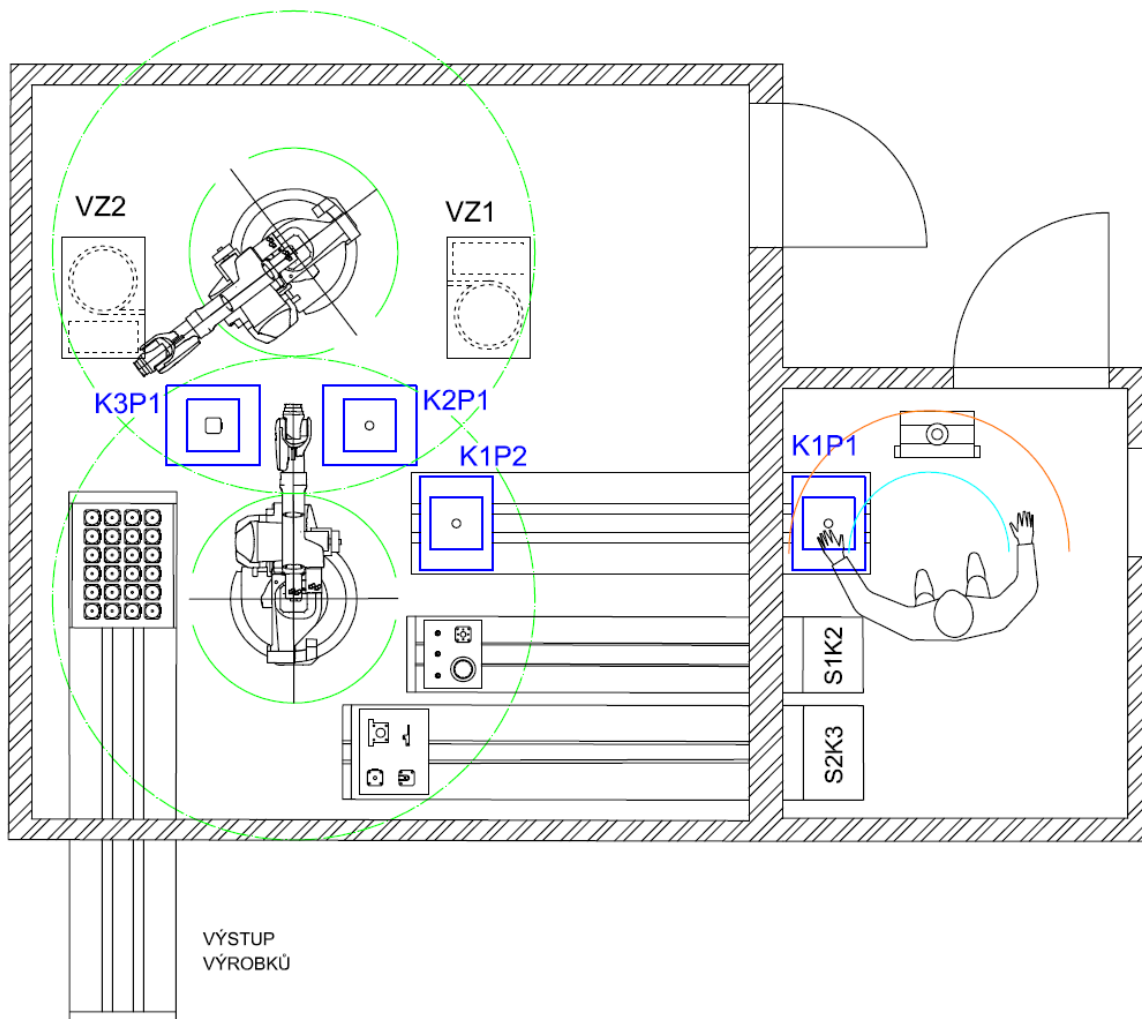
Obr. 4.11 – Layout pracoviště varianty C

V této variantě je změna provedena v modifikaci pojezdových přípravků.

Osazením jednoho sruženého přípravku neboli paletky, pro dva až tři rozdílné komponenty na jedno lineární vedení, ušetří instalaci třech dopravníků. Rozvržení pracoviště je stejné, jako ve variantě B. Originální layout včetně rozměrů je umístěn v příloze této práce.

4.4 Varianta D

Layout pracoviště D



Obr. 4.12 – Layout pracoviště varianty D

Z důvodu vysoké pořizovací ceny vibračních podavačů a jejich periferií se provede malá konstrukční změna extruderu a to konkrétně v použití šroubů. Šrouby o rozměrech: M3×5; M3×8; M2,5×5 a M2,5×7 se nahradí rozměrem M3×8. Tím se uspoří náklady na pořízení podavačů různých druhů šroubů, které jsou vyčísleny v kapitole 5. Modifikace konstrukce je provedena tak, aby nedošlo ke snížení původní pevnosti spojovacích prvků a byla zaručena činná délka závitu $1,5 \times D$.

Pracoviště je nyní vybaveno dvěma podavači šroubů a to na rozměry M3×8 a M3×35 s vnitřním šestihranem 2,5 mm.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V následujících tabulkách (tab. 5) jsou vyčíslené náklady na komponenty umístěné v robotickém pracovišti a pracovní časy u jednotlivých variant. Následně je spočítaná produkce za jeden den.

Délka jedné směny

$$T_{1S} = 7,5hod \rightarrow 27\,000s,$$

výroba rozvržena do jednosměnného provozu

$$z = 1,$$

T_{MA} – celkový montážní čas

počet vyrobených kusů

$$N_{1S} = \frac{T_{1S}}{T_{MA}} \times z.$$

5.1 Zhodnocení varianty A

Ceny komponentů

Tab. 5.1

Položka	Počet kusů/m	Cena za kus/m	Cena celkem
Bezpečnostní dveře s elektronikou	2	4 500 Kč	9 000 Kč
Ohraničení pracoviště	1	8 000 Kč	8 000 Kč
Montážní stanoviště	3	18 000 Kč	54 000 Kč
Dopravník včetně pásu	8	24 000 Kč	192 000 Kč
Lineární motor	1	96 000 Kč	96 000 Kč
Zásobník efektorů	1	89 000 Kč	89 000 Kč
Světelná závora	14	1 650 Kč	23 100 Kč
Sledovací zařízení	1	195 000 Kč	195 000 Kč
Greifer	1	16 000 Kč	16 000 Kč
Podavač šroubů včetně šroubováku	5	360 000 Kč	1 800 000 Kč
Řízení pro podavače	1	90 000 Kč	90 000 Kč
Kuka robot	1	600 000 Kč	600 000 Kč
Celkem			3 172 100 Kč

Pracovní čas

Tab. 5.2

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Přesun K1 P1→P2	7	1	7
Přesun K1P2→K2P2	6	1	6
Montáž dílu na 1K2	6	3	18
Montáž dílu na 2K2	8	1	8
Montáž dílu na 3K2	8	1	8

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Montáž dílu na 4K3	9	1	9
Montáž dílu na 5K3	9	1	9
Montáž dílu na 6K3	9	1	9
Montáž dílu na 7K3	9	1	9
Montáž šroubů včetně podání	5	18	90
Výměna koncového efektoru	7	20	140
Celkový montážní čas [s]			313

$N_{ISA} = 86,26 = 86$ extruderů.

5.2 Zhodnocení varianty B

Oproti variantě A jsou v tabulkách 5.3 a 5.4 uvedeny pouze změny v počtu komponentů.

Ceny komponentů

Tab. 5.3

Položka	Počet kusů/m	Cena za kus/m	Cena celkem
Dopravník včetně pásu	1	24 000 Kč	24 000 Kč
Lineární motor	8	96 000 Kč	768 000 Kč
Zásobník efektorů	0	0 Kč	0 Kč
Kuka robot	2	600 000 Kč	1 200 000 Kč
Celkem			3 7280 550 Kč

Pracovní čas

Odstraněním operace potřebnou pro výměnu koncového efektoru se pracovní čas sníží.

Tab. 5.4

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Výměna koncového efektoru	0	0	0
Celkový montážní čas [s]			173

$N_{ISC} = 156,07 = 156$ extruderů.

5.3 Zhodnocení varianty C

V tabulkách 5.5 a 5.6 jsou uvedeny změny v počtu lineárů a dopravníků.

Ceny komponentů

Tab. 5.5

Položka	Počet kusů/m	Cena za kus/m	Cena celkem
Dopravník včetně pásu	0	0 Kč	0 Kč
Lineární motor	4	96 000 Kč	288 000 Kč
Celkem			3 435 550 Kč

Pracovní čas

Výrobní čas je stejný jako ve variantě B.

Tab. 5.6

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Celkový montážní čas [s]			173

$N_{ISC} = 156,07 = 156$ extruderů.

5.4 Zhodnocení varianty D

V tabulkách 5.7 a 5.8 je uvedena změna v počtu podavačů šroubů.

Ceny komponentů

Tab. 5.7

Položka	Počet kusů/m	Cena za kus/m	Cena celkem
Podavač šroubů včetně šroubováku	2	360 000 Kč	720 000 Kč
Celkem			2 279 550 Kč

Pracovní čas

Výrobní čas je stejný oproti předchozím variantám.

Tab. 5.8

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Celkový montážní čas [s]			173

$N_{ISC} = 156,07 = 156$ extruderů.

6 VÝBĚR VARIANTY

6.1 Multikriteriální analýza

Na základě multikriteriální analýzy v tabulce 6.1 jsou vyhodnoceny 4 varianty dle následujících kritérií:

- ceny pracoviště
- doby montážního času
- velikosti zásoby dílů pro montáž

Váhy pro hodnotící kritéria jsou vybrány v rozmezí 1 – 4, přičemž charakter analýzy je brán tak, aby nejlepší varianta měla nejvyšší bodové ohodnocení. U kritérií, jejichž hodnota zvyšuje celkové bodové hodnocení, je hodnota váhy nahrazena záporným číslem o stejné velikosti. V tomto případě je jedná o cenu a délku montážního času.

Tab. 6.1

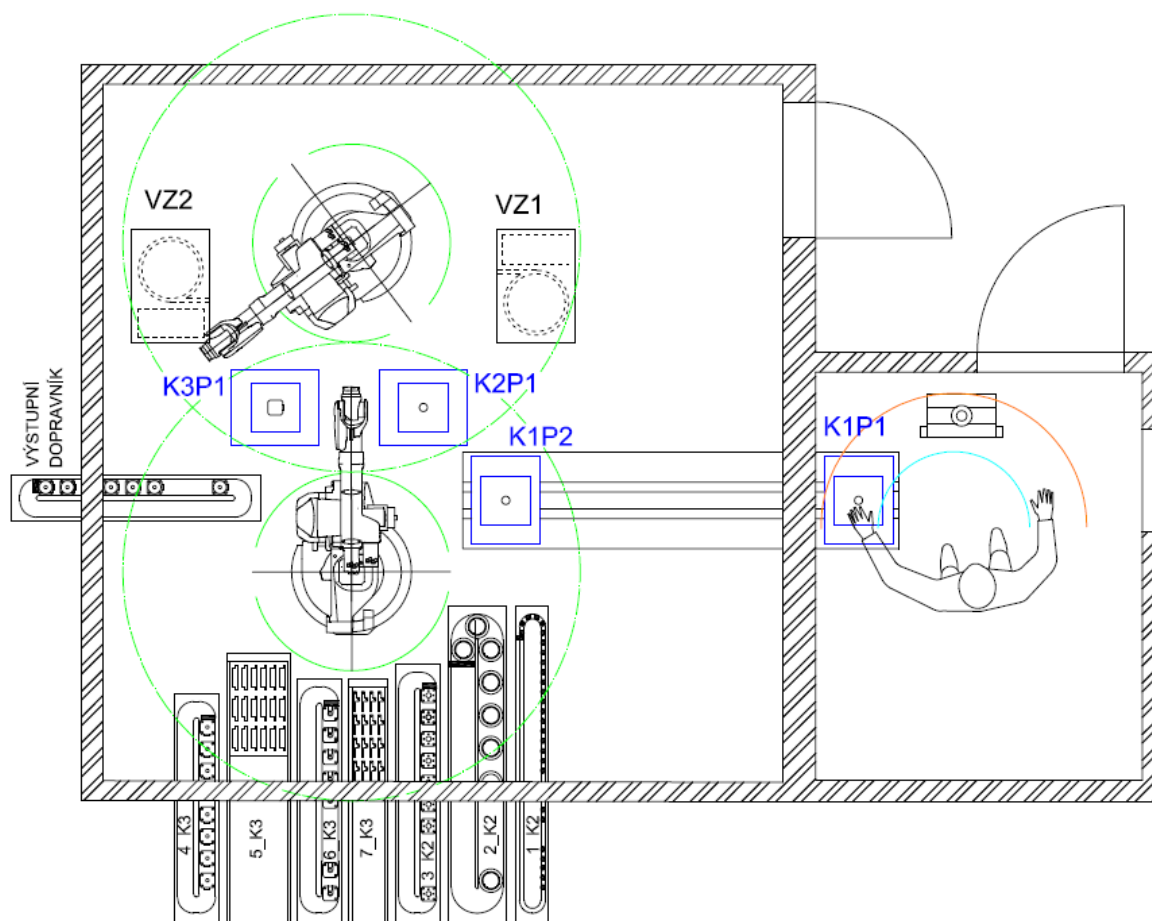
	Cena pracoviště [mil. Kč]	Montážní čas [min]	Velikost zásobníku dílů [ks]	Body
Váha	-2	-4	3	
Varianta A	3,34	5,22	16	20,28
Varianta B	3,98	2,88	1	-16,48
Varianta C	3,44	2,88	1	-15,4
Varianta D	2,53	2,88	1	-13,58

Z výše vypracované tabulky je zřejmé, že nejvýhodnější je použití variantu A, což je dáno v porovnání s ostatními variantami poměrně velkou velikostí dílů v zásobě pro montáž. Pokud je bráno v potaz ještě kritérium s nejvyšší váhou, pak montážní čas je v porovnání s ostatními přibližně dvojnásobný.

Řešením pro vhodné vybrání varianty je kombinace varianty „A“ a „D“. Přičemž z první varianty se použije řetězový dopravník a z druhé snížený počet vibračních podavačů šroubů a dvojnásobný počet Kuka robotů.

V případě kombinace těchto vybraných variant je výsledek znázorněn v tabulce 5.12. která je označená (obr. 6.1) jako varianta E

6.2 Layout výsledného řešení



Obr. 6.1 – Layout výsledného řešení

6.3 Zhodnocení nově vybrané varianty

Ceny komponentů

Tab. 6.2

Položka	Počet kusů/m	Cena za kus/m	Cena celkem
Podavač šroubů včetně šroubováku	2	360 000 Kč	720 000 Kč
Řetězový dopravník	7	24 000 Kč	168 000 Kč
Lineární motor	2	96 000 Kč	192 000 Kč
Kuka robot	2	600 000 Kč	1 200 000 Kč
Celkem			2 675 100 Kč

Pracovní čas

Výrobní čas je stejný oproti variantě D.

Tab. 6.3

Operace	Pracovní čas [s]	Opakování operace	Celkový pracovní čas [s]
Celkový montážní čas [s]			173

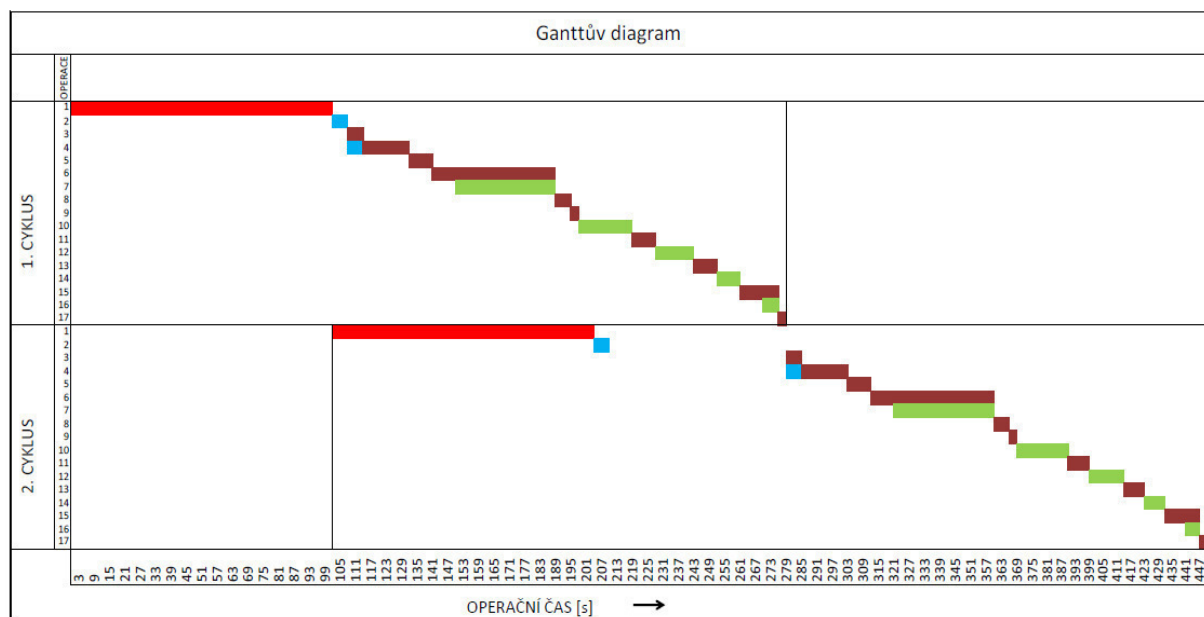
$N_{ISG} = 156,07 = 156$ extruderů.

Na základě nově provedené multikriteriální analýzy (Tab. 6.4) je vidět, že bodové ohodnocení u kombinace dvou předem vytvořených variant je oproti předchozím nejvyšší a tudíž nejvhodnější.

Tab.6.4

	Cena pracoviště [mil. Kč]	Montážní čas [min]	Velikost zásobníku dílů [ks]	Body
Váha	-2	-4	3	
Varianta A	3,34	5,22	16	20,28
Varianta B	3,98	2,88	1	-16,48
Varianta C	3,44	2,88	1	-15,4
Varianta D	2,53	2,88	1	-13,58
Varianta E	2,68	2,88	16	31,12

6.4 Ganttův diagram



Legenda

- Robot 1 - pro přesun dílů
- Robot 2 - pro montáž šroubů
- Přesun dílu na lineáru
- Ruční montáž

Obr. 6.2 – Ganttův diagram

Na základě Ganttova diagramu je zřejmé, že montáž prvního výrobku trvá 277 sekund a montáž druhého 170 sekund, protože operátor začne provádět úkon ještě za chodu práce robotů.

6.5 Cenová návratnost

Denní produkce extruderů na ručním pracovišti

$$N_{1S} = 41 \text{ extruderů,}$$

denní produkce extruderů na nově vytvořeném robotickém pracovišti

$$N_{1SG} = 152 \text{ extruderů,}$$

rozdíl vyrobených kusů

$$\Delta N_{1S} = N_{1SG} - N_{1S},$$

$$\Delta N_{1S} = 152 - 41,$$

$$\Delta N_{1S} = 111,$$

pracovních dnů za rok

$$D_P = 250,$$

počet vyrobených extruderů navíc oproti ruční montáži za rok

$$N_{CR} = D_P \times \Delta N_{1S},$$

$$N_{CR} = 250 \times 111,$$

$$N_{CR} = 27\,750 \text{ extruderů,}$$

cena pracoviště

$$Price_P = 2\,675\,100 \text{ Kč,}$$

cena dílů extruderu

$$Price_E = 15\,000 \text{ Kč,}$$

cena všech vyrobených extruderů za rok

$$Price_{ER} = N_{CR} \times Price_E,$$

$$Price_{ER} = 27\,750 \times 15\,000,$$

$$Price_{ER} = 1\,665\,000 \text{ Kč,}$$

návratnost v letech

$$B = \frac{Price_P}{Price_{ER}},$$

$$B = \frac{2\,675\,100}{1\,665\,000},$$

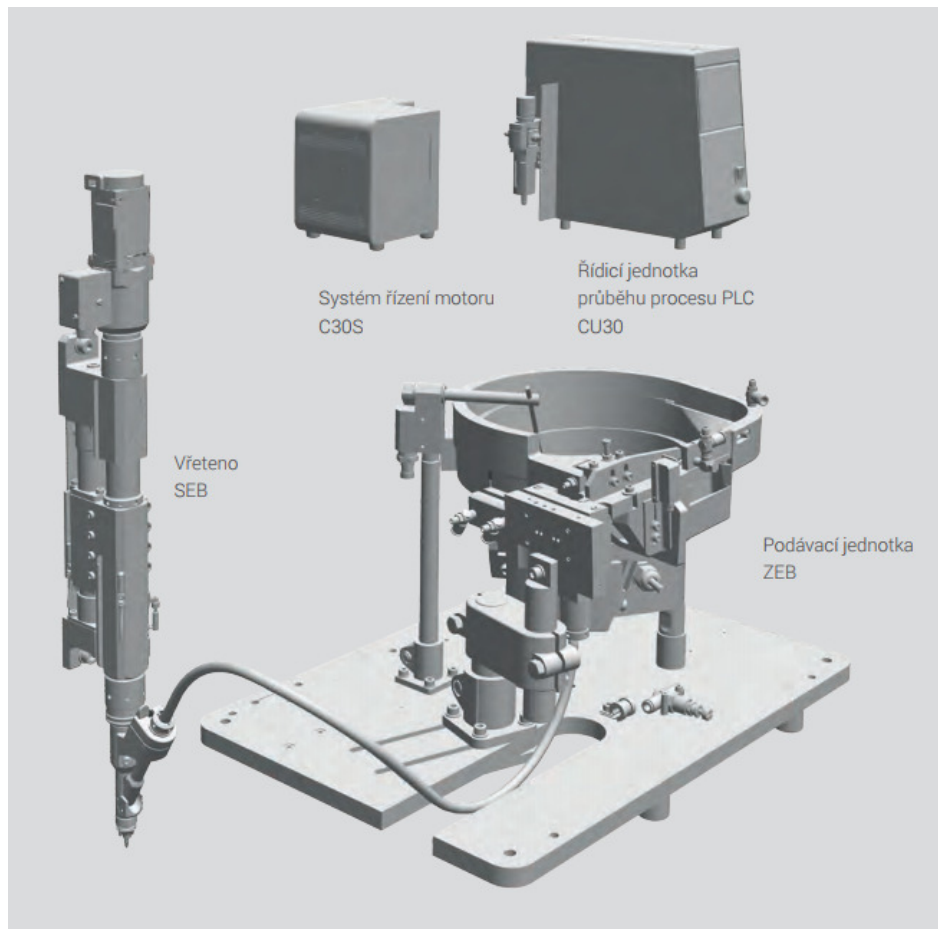
$$B = 1,6 \text{ roků.}$$

Cena robotického pracoviště se vrátí za 1,6 roků.

6.6 Princip automatického podávání šroubů

V podávací jednotce jsou do zásobníku nasypány konkrétní šrouby, pro danou montáž. Pomocí vibrací se šrouby dostanou k podávací hadici a užitím tlakového vzduchu jsou „stříleny“ do šroubováku.

Jedná se o typickou konstrukci šroubovacího systému s automatickým podáváním. Šroubovací proces je řízen samostatným systémem pro řízení motoru. Sensorický systém, zdvihy a pohyby šroubovacího vřetene a podávací jednotky jsou řízeny přes řídicí jednotku. Zjednodušený popis součástí je zobrazen na obrázku 6.3. [17]



Obr. 6.3 – Princip automatického podávání šroubů [17]

Princip, podle kterého pracuje toto zařízení, je majetkem firmy Weber a její tezi mají označenou pojmem „princip Weber“. Základním pravidlem tohoto principu je proces, při kterém je šroubování prováděno s plně automatickým podáváním. Toto řešení lze použít pro ruční vedení šroubováku i pro plně konfigurovatelné šroubovací systémy. Automatický proces vykonává montáž rychle efektivně a spolehlivě, čímž snižuje náklady na montážní čas.

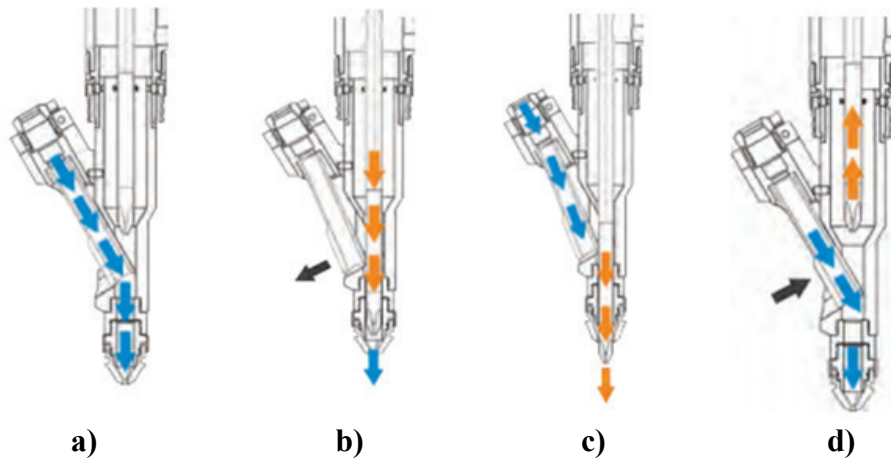
Samotné šroubování je provedeno ve čtyřech krocích:

krok 1 – první šroub je podán přes kyvné rameno do koncovky šroubovací hlavy (obr. 6.3a). Koncovka je individuálně přizpůsobena pro určitý druh šroubu, aby bylo zajištěno jeho přesné vedení.

Krok 2 – šroub je připraven pro šroubování a šroubovák se nyní nachází v poloze před spuštěním (obr. 6.3b). Po vyjetí šroubováku dopředu ve směru šroubu se posune kyvné rameno do tzv. parkovací polohy.

Krok 3 – po dobu, kterou šroubovák šroubuje šroub, se další šroub připraví do parkovací polohy v kyvném rameni (obr. 6.3c).

Krok 4 – po dokončení procesu zajede šroubovák do výchozí polohy a uvolní kyvné rameno, pomocí kterého se připraví další šroub do šroubovací koncovky, ve které je připraven pro šroubování (obr. 6.3d).



Obr. 6.3 – Princip šroubování a) krok 1, b) krok 2, c) krok 3, d) krok 4

7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Vybraná varianta návrhu robotického pracoviště byla vybrána na základě multikriteriální analýzy. Tato metoda není příliš objektivní, nicméně v tomto případě je dostačující. Výsledná číselná hodnota vybrané varianty má hodnotu 31,12 bodů. Průměrné bodové hodnocení všech variant dosahuje hodnoty 1,19, neboť hodnoty nabývají i záporných hodnot. Ve srovnání s průměrem má vybraná varianty velice dobré hodnocení.

Výroba probíhá v jednosměnném provozu a denní produkce výrobků je 152 extruderů, které se namontují do 76 3D tiskáren. Cenová návratnost tohoto pracoviště je zhruba 1,6 roků, pokud se nepočítá s investicemi a náklady na náhradní díly při poruše. Pokud by se změnila výroba na třisměnný provoz, výrobnost tiskáren by se zvýšila až na 228 kusů. V tomto případě by bylo dobré robotizovat celý proces výroby 3D tiskáren s minimálním zásahem člověka, což je například plán firmy Prusa Research, která vyrábí 3D tiskárny od roku 2014.

V této práci je řešena montáž extruderu, u kterého není téměř změněna konstrukce. Změna je provedena pouze ve sjednocení rozměrů šroubů. Další konstrukční změnou by mohl být způsob upevnění ozubeného kola na hřídel, a to například nalisováním. Tím by odpadlo ruční přitahování stavěcího šroubu.

8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout robotické pracoviště, na kterém se montuje extruder pro 3D tiskárny.

Na začátku byla vybrána 3D tiskárna Sigma X, která je osazena dvěma extrudery. Následně byl podrobně rozebrán samotný extruder a jeho montáž. Doba ruční montáže byla změřena stopkami, protože jsem měl extruder k dispozici. V systémovém rozboru práce byl proveden rozpad komponentů, jejich popis včetně materiálů, které se běžně používají. Následně byla vypočítána kapacita současného pracoviště, která vycházela z naměřené doby montáže jednosměrným výrobním provozem.

Nové řešení pracoviště bylo řešeno s použitím dvou 6-ti osých robotů ve spolupráci s člověkem přičemž operátor provádí pouze montáž ložiska, pojistného kroužku a přitažení ozubeného kola na hřídel pomocí stavěcího šroubu.

V robotické části byly navrženy čtyři návrhové varianty, které byly následně zhodnoceny co se týče ceny pracoviště a časů. Tyto čtyři varianty byly vyhodnoceny pomocí multikriteriální analýzy. Jelikož tento typ analýzy má pouze subjektivní charakter, vybral jsem dvě varianty s nejvyšším bodovým hodnocením a sloučil ty prvky, které toto hodnocení zvyšovalo. Následně byla analýza provedena znova, kde nejvyšší bodové hodnocení mělo nově vybrané řešení.

Dále byl vytvořen Ganttův diagram, ve kterém je vidět posloupnost operací a čas montáže prvního a potom každého následujícího cyklu. Na základě těchto hodnot byla vypočítána denní produkce extruderů a cenová návratnost pracoviště.

V závěru práce byl popsán vibrační podavač šroubů, který dopravuje spojovací materiál ke koncovému efektoru robota. Koncový efektor je právě automaticky řízený šroubovák.

Za koncový efektor druhého robota bylo použito univerzální chapadlo s vícezubým vedením, u kterého se styčné plochy čelistí přizpůsobili tvarům uchopovaných součástí, tak že umožní lépe uchopit součásti.

Ve zhodnocení práce je zmíněna produkce při vícesměnném provozu a navrženo řešení pro spojení více robotických pracovišť dohromady.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LENAM Robotické pracoviště [online] 2017. Vytvořil [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <http://www.lenam.cz/konstrukce-cad/roboticke-pracoviste/>.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] KUKA Průmyslové roboty [online]. 2017. Vytvořil [cit. 22.04.2019]. Dostupné z: www.kuka.com.
- [4] RESEARCHGATE Kuka KR 16 Industrial Robots with 6 Axes [online]. 2019. Vytvořil [cit. 22.04.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Kuka-KR-16-Industrial-Robots-with-its-6-Axes-shown_fig11_200101490.
- [5] KOZUBÍK, J. Experimentální robotizované pracoviště s delta-robotem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 103 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [6] FANUC Průmyslové roboty [online]. 2019. Vytvořil [cit. 22.04.2019]. Dostupné z: www.fanuc.eu.
- [7] WALMAG. Výrobce magnetických upínačů a zvedacích magnetů - WALMAG [online] 2019. Vytvořil [cit. 18.03.2019] Dostupné z: <http://www.walmag.cz/>.
- [8] SCHUNK. Manufacturer of grippers and robotics moduls [online] 2019. Vytvořil [cit. 18.03.2019]. Dostupné z: <https://schunk.com>.
- [9] BCN3D TECHNOLOGIES Sigmax R19. [online] 2019. [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.bcn3dtechnologies.com/en/3d-printer/bcn3d-sigmax/>.
- [10] REM-Technik Katalog průmyslová a domovní automatizace [online] 2018. [cit. 15.05.2019]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/files/files/272/pulsotronic-ind-ana-en.pdf>.
- [11] RS Components Moved Permanently [online] 2019. [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/automatizace-a-ridici-zarizeni/snimace-a-prevodniky/kapacitni-bezdotykove-snimace/>.
- [12] GREIN Barriere. Home [online] 2017. [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <http://www.grein.it/Barriere.html>.
- [13] JANÍČEK, Přemysl, Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky – hledání souvislostí. 1. a 2. díl. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s. r. o. Brno, 2007. 1234 str. ISBN 978-80-7204-554-9.
- [14] E-HLINIK Prodejce hliníkových profilů [online] 2017. [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <http://www.e-hlinik.cz/>.
- [15] JKZ BUČOVICE Specialista na dodávky nástrojových a speciálních ocelí [online] 2019. [cit. 30.04.2019]. Dostupné z: www.jkz.cz/.
- [16] VM PLAST Prodej a opracování technických plastů [online] 2019. [cit. 2.5.2019]. Dostupné z: www.vmplast.cz.
- [17] WEBER SCHRAUBAUTOMATEN Stationäres Einpresssystem PEB [online] 2019.. [cit. 21.04.2019]. Dostupné z: <https://www.weber-online.com>.

- [18] EOLA Profesionální řešení technologií [online] 2016. Dostupné z: <http://eola.cz/produkty-sluzby/strojove-videni/3d-vision>.
- [19] SCHMACHTL CZ Lineární motory. Komponenty pro automatizaci a elektroinstalace [online] 2018. [cit. 2.05.2019]. Dostupné z: <https://www.schmachtl.cz/divize-pohony-elektricke-motory-linearni-motory>.

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Tab.: Seznam zkratk

Značka	Popis	Jednotka
K_1	Montážní stanoviště číslo 1	[-]
K_2	Montážní stanoviště číslo 2	[-]
K_3	Montážní stanoviště číslo 3	[-]
$K1P1$	Montážní stanoviště číslo 1 v pozici 1	[-]
$K1P2$	Montážní stanoviště číslo 1 v pozici 2	[-]
$K2P1$	Montážní stanoviště číslo 2 v pozici 1	[-]
$K3P1$	Montážní stanoviště číslo 3 v pozici 1	[-]
VZ	Vibrační zásobník	[-]
X_{K2}	Označení dopravníku	[-]
X_{K3}	Označení dopravníku	[-]
T_{MC}	Hodnota montážního času jednoho výrobku	[s]
T_{1S}	Doba jedné směny	[s]
z	Počet směna za den	[-]
N_{1S}	Počet vyrobených kusů za jednu směnu	[-]
n	Počet extruderů na jednu 3D tiskárnu	[-]
S_{1S}	Počet vyrobených 3D tiskáren za jednu směnu	[-]
m	Počet směn za pracovní měsíc	[-]
S_m	Měsíční výrobnost 3D tiskáren	[-]
T_{MA}	Celkový montážní čas	[s]
N_{1SG}	Denní produkce extruderů na nově vytvořeném robotickém pracovišti	[-]
ΔN_{S1}	Rozdíl vyrobených kusů robot/člověk	[-]
D_P	Počet pracovních roků za rok	[-]
N_{CR}	Roční navýšení produkce oproti ruční montáži	[-]
$Price_P$	Cena pracoviště	[Kč]
$Price_E$	Cena dílu extruderů	[Kč]
$Price_{ER}$	Cena všech vyrobených extruderů za rok	[Kč]
B	Návratnost v letech	[rok]

Tab.: Seznam obrázků

Číslo obrázku	Popis
Obr. 1.1	3D tiskárna Sigma X
Obr. 1.2	Uložení extruderu s pohonem
Obr. 2.1	Příklad robota se sériovou kinematikou
Obr. 2.2	Znázornění os robota
Obr. 2.3	Schématické znázornění translačních kinematických dvojic: a) suportové, b) smykadlové, c) výsuvné
Obr. 2.4	Klouby (rotační KD s ramenem „r“) v nárysu a půdorysu: a) bez omezeného úhlu otáčení, b) s omezeným úhlem otáčení
Obr. 2.5	Otočné kinematické dvojice bez omezení úhlu otáčení: a), c) – s ramenem „r“; b), d) – kolem vlastní osy [2]
Obr. 2.6	Příklad paralelní kinematické kloubové struktury
Obr. 2.7	Příklad robota s paralelní kinematikou od firmy Fanuc
Obr. 2.8	Popis mechanického pasivního úchopného prvku
Obr. 2.9	Úchopný permanentní magnet Walmag
Obr. 2.10	Základní schématické provedení podtlakových přísavek: a) pryžová přísavka s uchycením na čep, b) přísavka s odpruženým pístem
Obr. 2.11	Univerzální chapadlo PGN-plus-P od společnosti Shunk
Obr. 2.12	Sekční schéma chapadla PGN-plus-P pro zobrazení funkce
Obr. 2.13	Příklady elektromagnetických snímačů, a) indukční, b) kapacitní
Obr. 2.14	Kuka 3D Perception
Obr. 2.15	Bezpečností světelná závora Grein
Obr. 3.1	Rozpad dílů extruderu
Obr. 3.2	Výstupní ozubené kolo pevně spojené s unašeči
Obr. 3.3	Planetová převodovka spojená s krokovým motorem
Obr. 3.4	Kompletně sestavený extruder
Obr. 4.1	Přípravek montážního stanoviště s označením K1
Obr. 4.2	Přípravek montážního stanoviště: a) s označením K2, b) s označením K3
Obr. 4.3	Layout pracoviště varianty A
Obr. 4.4	Podstava robota
Obr. 4.5	Laserový profiler
Obr. 4.6	Čelisti chapadla
Obr. 4.7	Vibrační podavač od firmy Weber
Obr. 4.8	Layout pracoviště varianty B
Obr. 4.9	Šroubovák WEBER typ PEB

Číslo obrázku	Popis
Obr. 4.10	Lineární motor Schmachtl ServoTube 25, 624
Obr. 4.11	Layout pracoviště varianty C
Obr. 4.12	Layout pracoviště varianty D
Obr. 6.1	Layout výsledného řešení
Obr. 6.2	Ganttův diagram
Obr. 6.3	Princip šroubování a) krok 1, b) krok 2, c) krok 3, d) krok 4

Tab.: Seznam tabulek

Číslo tabulky	Popis
Tab. 3.1	Rozpad komponentů
Tab. 3.2	Materiálové veličiny
Tab. 3.3	Montážní čas a doby přesunu dílu
Tab. 5.1	Ceny komponentů pracoviště A
Tab. 5.2	Pracovní čas pracoviště A
Tab. 5.3	Ceny komponentů pracoviště B
Tab. 5.4	Pracovní čas pracoviště B
Tab. 5.5	Ceny komponentů pracoviště C
Tab. 5.6	Pracovní čas pracoviště C
Tab. 5.7	Ceny komponentů pracoviště D
Tab. 5.8	Pracovní čas pracoviště D
Tab. 6.1	Multikriteriální analýza čtyř variant
Tab. 6.2	Ceny komponentů vybrané varianty
Tab. 6.3	Pracovní čas vybrané varianty
Tab.6.4	Multikriteriální analýza všech variant

SEZNAM PŘÍLOH

CD

Layout pracoviště varianta A

Layout pracoviště varianta B

Layout pracoviště varianta C

Layout pracoviště varianta D

Layout pracoviště varianta E - finální řešení

2D a 3D dokumentace montážního přípravku

2D a 3D dokumentace čelistí gripperu