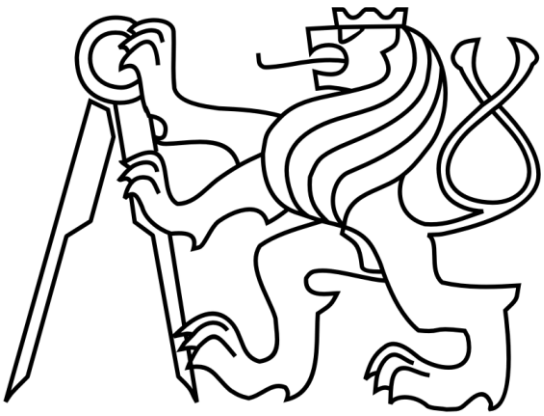
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Automatizace procesu obrábění

Autor: Jan Šibík
Vedoucí práce: Ing. Jiří Kyncl

Praha, 2019

ŠIBÍK, Jan. *Automatizace v procesu obrábění*. Praha: ČVUT 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šibík** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **437305**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

Studijní program: **Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Automatizace procesu obrábění

Název diplomové práce anglicky:

Machining Process Automation

Pokyny pro vypracování:

1) Rešerše problematiky automatizace procesu obrábění
2) Analýza portfolia výrobků a technologie výroby
3) Návrh variant automatizace procesu
4) Technicko-ekonomické zhodnocení variant

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Kyncl, 12134

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Jiří Kyncl	Ing. Libor Beránek, Ph.D.	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

23.4.2019 Šibík

Datum převzetí zadání Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne: 14.7.2019 Podpis:

Poděkování

Tímto děkuji Ing. Jiřímu Kynclovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále také děkuji vedení i zaměstnancům firmy Lavat a.s. že mi umožnili čerpat firemní data a poskytli mi cenné zkušenosti v řešené problematice.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá automatizací v procesu obrábění ve firmě Lavat a.s. Začátek práce je věnován obecnému popisu automatizace, od historie až po současnost. Dále jsou zde popsány různé typy automatizace vhodné pro proces obrábění, z toho je poměrně velká část věnována robotickým manipulátorům. Hlavní část této práce se zabývá návrhem automatizace výrobního pracoviště. Automatizovaná je obsluha CNC soustruhu, konkrétně zakládání polotovarů pomocí robotického manipulátoru. V této práci je popsaná analýza výrobního portfolia. Na základě analýzy jsou zde vybrané technologie vhodné pro automatizaci. S vybranými technologiemi je zde navrhnuto pět různých variant automatizace pracoviště. Pomocí technicko-ekonomického zhodnocení je nakonec vybraná varianta, která nejlépe splňuje zadaná kritéria.

Klíčová slova

Automatizace, obrábění, robotický manipulátor, robotická ruka, robot, efektor, pracoviště, doba návratnosti, CNC soustruh.

Annotation

This thesis deals with automation in the machining process at Lavat a.s. The beginning of the work is devoted to a general description of automation, from history to the present. Furthermore, various types of automation suitable for the machining process are described, of which a relatively large part is devoted to robotic manipulators. The main part of this work deals with the design of the automation of the production workplace. The CNC lathe operation is automated, namely the creation of semi-finished products using a robotic manipulator. The analysis of the production portfolio is described in this work. Based on the analysis there are selected technologies suitable for automation. With the selected technologies, five different workplace automation options are designed here. Finally, using a technical-economic evaluation, the option that best meets the criteria is chosen.

Keywords

Automation, machining, robotic manipulator, robotic hand, robot, effector, workplace, payback time, CNC lathe.

Obsah

Obsah.....
1 Úvod.....1
2 Lavat a.s. 3
3 Automatizace.....5
3.1 Dělení automatizace.....8
3.1.1 Dělení dle míry automatizace 9
3.1.2 Dělení podle schopnosti reakce na změnu výrobku.....12
3.2 Automatizace obrábění 13
3.2.1 Automatizace stroje samotného 14
3.2.2 Automatizace obsluhy obráběcích strojů 16
4 Automatizace manipulace 23
4.1 Dělení robotických manipulátorů 24
4.1.1 Dělení podle názvu.....25
4.1.2 Počet stupňů volnosti 26
4.1.3 Kinematické struktury.....27
4.1.4 Použité pohony.....29
4.1.5 Geometrie pracovního prostoru 30
4.1.6 Způsoby uplatnění.....31
4.2 Efektory.....33
4.2.1 Manipulační efektory 34
5 Analýza výrobního portfolia 39
5.1 Analýza 40
6 Volba technologií pro automatizaci.....44
6.1 Varianty manipulátorů 48
6.2 Systém přípravy polotovarů a odkládání obrobků.....53
7 Automatizace procesu obrábění.....55

7.1 Varianta 1 56
7.2 Varianta 2 58
7.3 Varianta 3 62
7.4 Varianta 4 65
7.5 Varianta 5 67
8 Technicko-ekonomické zhodnocení 72
8.1 Ekonomické hodnocení 73
8.1.1 Návratnost investice do 1. varianty 73
8.1.2 Návratnost investice do 2. varianty 73
8.1.3 Návratnost investice do 3. varianty 74
8.1.4 Návratnost investice do 4. varianty 75
8.1.5 Návratnost investice do 5. varianty 76
8.2 Technické zhodnocení 76
8.3 Celkové zhodnocení 78
9 Závěr 79
10 Zdroje 81
11 Seznam obrázků 85
12 Seznam tabulek 87

1 Úvod

Ve své diplomové práci se budu věnovat automatizaci v procesu obrábění, konkrétně automatizací obsluhy vybraného pracoviště ve firmě Lavat a.s. Hlavním cílem této automatizace je navýšení výrobní kapacity, aniž by bylo nutné shánět nové zaměstnance. Tím bude možné částečně kompenzovat nedostatek kvalifikovaných pracovníků.

Na začátku práce se budu zabývat rozborem automatizace, od historie až po současnost. Dále pak uvedu základní dělení automatizace podle různých kritérií. Podle tohoto dělení bude následovat výčet technologií pro automatizaci. Významná část bude věnována popisu automatizace v procesu obrábění. Konkrétně zde budou popsány možnosti automatizace procesu obrábění, se zaměřením na automatizaci obsluhy počítačem řízených obráběcích strojů. Budou zde popsány možnosti, jak usnadnit práci lidské obsluze stroje nebo dokonce zastat veškerou její práci, čímž se minimalizuje potřeba přítomnosti obsluhy u stroje. Následně budou v této práci poměrně podrobně popsány robotické manipulátory, kde bude uvedeno rozdělení manipulátorů podle určení, tvaru pracovního prostoru, kinematické struktury a dalších kritérií. Také popíši možnosti využití robotického manipulátoru, a sice pro jaké účely a za jakých podmínek je možné ho použít. V praktické části pak podle výše uvedených informací určím typ automatizace vhodný pro aplikaci v procesu obrábění na vybraném pracovišti ve firmě Lavat a.s.

Hlavní část této diplomové práce bude věnována návrhu automatizace daného pracoviště. Před tím, než pracoviště začnu navrhovat je potřeba udělat analýzu výrobního portfolia daného pracoviště a analýzu samotného pracoviště před automatizací. Na základě této analýzy definuji parametry, podle kterých budu vybírat technologie použité pro jednotlivé návrhy. Na začátku analýzy vyberu výrobky, které je výhodné produkovat na automatizovaném pracovišti, z hlediska poptávaného množství výrobků, vhodnosti geometrie, materiálu a dalších kritérií. Další parametry vyplynou z analýzy současného stavu pracoviště, které má být automatizováno. Hlavním předmětem této analýzy je stroj, který se na tomto pracovišti nachází a prostor kolem něj. Na základě určených parametrů pak vyberu několik technologických řešení pro obsluhu CNC soustruhu. Pro vybrané technologie pak navrhnu několik variant realizace automatizace daného pracoviště. Každá varianta bude obsahovat detailní popis rozestavění pracoviště, průběhu práce daného pracoviště a počáteční náklady na dané pracoviště. Na základě těchto popisů budu následně vybírat, která varianta z navrhnutých je ta nejlepší. Všechny varianty by měli splňovat zadané parametry.

Výběr té nejlepší varianty provedu pomocí technicko-ekonomického zhodnocení. Před začátkem hodnocení musí být stanovena kritéria, která jsou pro rozhodování zásadní. Jednotlivým kritériím přidělím koeficient váhy, podle toho, jak jsou v porovnání s ostatními důležitá. Nejdůležitějším kritériem, které by měla automatizace splňovat je co nejkratší doba návratnosti investice. Podle každého kritéria ohodnotím všechny varianty. Výsledné hodnocení variant vycházejí z hodnocení podle zadaných kritérií a koeficientů jejich váhy. Výsledky mezi sebou porovnám, a vyberu návrh který dopadl nejlépe. Takto vybraná varianta automatizace procesu obrábění by měla co nejvíce zvýšit výrobní kapacitu a zároveň snížit nebo co nejméně zvýšit náklady na mzdy pracovníků. Investice do tohoto pracoviště by měla být taková, aby bylo docíleno co nejkratší doby návratnosti.

Zavedení automatizace sebou může nést i příznivý vedlejší efekt, a to je zvýšení prestiže firmy. Rozvoj automatizace je v dnešní době velice populární, a tudíž to že firma bude vyrábět díly na automatizovaném pracovišti může zvýšit její konkurenceschopnost. Díky tomu může získat nové zákazníky a zakázky.

2 Lavat a.s.

Firma Lavat a.s. (dále jen Lavat) je strojírenská firma se sídlem v Chotuticích. V této společnosti plánují zavést automatizaci do části výroby. Při té příležitosti se mi naskytla příležitost na toto téma psát diplomovou práci

Jedná se o firmu s poměrně dlouhou tradicí. Počátky průmyslové výroby v areálu dnešní továrny sahají až do roku 1896, kdy zde byl uveden do provozu jeden z prvních parních mlýnů v tehdejší monarchii. V druhé části haly, která měla v té době jiného vlastníka, byla provozována nejprve cihelna. Posléze firma, která produkovala již ve dvacátých letech minulého století jídelní příbory, kdy kov byl zastřikován do plastu stejně jako byly zastřikovány i tehdejší žiletky na holení.

Obrázek 1: Firma Lavat a.s.

Rozvoj současného výrobního programu nastal v roce 1964. Tehdy začala v brněnském národním podniku TESLA pod ideovým vedením prof. Armina Delonga výroba elektronových mikroskopů. Nutno konstatovat, že stejně tak jako v současnosti byla v této oblasti česká věda

na špici světového vývoje. Ve stejném období byla u nás zahájena výroba zdrojů vakua jak pro rastrovací, tak i pro prosvětlovací elektronové mikroskopy. Začala éra produkce rotačních olejových výměv, difúzních výměv, oddělovacích a zavzdušňovacích ventilů a dalších, pro výrobu elektronových mikroskopů, nezbytných komponentů. V roce 1992 byl chotutický závod státního podniku LABORATORNÍ PŘÍSTROJE PRAHA transformován na akciovou společnost LAVAT a následně privatizován. Kvalifikovanou většinu akcií společnosti od té doby vlastní management společnosti a snaží se dle svých dovedností a možností o jeho další rozvoj.

V roce 1996 začali velice intenzivně rozvíjet spolupráci s leaderem světového trhu v oblasti elektronových mikroskopů – společností FEI ELECTRON OPTICS. V průběhu rozvíjející se spolupráce se stali důležitým partnerem této společnosti. V současné době společnost vyrábí ucelený sortiment vakuových zařízení a komponentů, a kromě dodávek na český trh exportuje své výrobky do 35-ti zemí celého světa. Lavat disponuje týmem zkušených odborníků, zajišťujících neustálé inovace a rozvoj vlastního výrobního programu s kvalitním technologickým a přístrojovým vybavením. Společnost Lavat je od roku 2009 certifikována ve shodě s požadavky ČSN EN ISO 9001:2008. V roce 2013 byl ve společnosti Lavat certifikován integrovaný systém řízení IMS skládající se z ČSN EN ISO 9001:2008; ČSN EN ISO 14001:2005 a ČSN OHSAS 18001:2008. [1]

V současné době se firmě daří zvyšovat prodej svých výrobků. Ovšem toto úspěšné konstatování vyvolává stále větší potřebu investic. A to nejen do strojů a technologií, ale i do kvalifikace spolupracovníků.

Nyní firma disponuje několika počítačem řízenými stroji, jedná se především o soustruhy a frézovací centra. Tyto pracoviště jsou však plně vytížena na první směnu a částečně i na druhou. Pro to, aby byla plně vytížená i druhá směna nebo dokonce i třetí je nedostatek kvalifikovaných pracovníků. Proto je snaha pomocí zavedení automatizace tento nedostatek kompenzovat.

3 Automatizace

V této kapitole se budu zabývat obecně definicí automatizace, počátky vzniku prvních automatizovaných procesů a následným vývojem automatizace až do dnešní podoby. Dále se budu zabývat rozdělením automatizace podle základních kritérií. Poté se podrobněji zaměřím na automatizaci obráběcích, a především k tomu přidružených procesů, jako je zakládání polotovaru do stroje a vyjímání obrobených dílů. Záměrně se v této kapitole nevěnuji možnosti použití robotického manipulátoru. Možnosti použití robotického manipulátoru bude věnovaná celá následující kapitola.

Automatizované procesy jsou takové procesy, které více či méně snižují potřebu lidské činnosti. Dnes je automatizace často spojená s počítačovým programováním výrobních zařízení. Proto je často nezbytnou součástí automatizace i mechanizace procesu. Zatímco mechanizace poskytuje lidem k práci zařízení, které jim usnadňuje práci, automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při vykonávání určité činnosti.

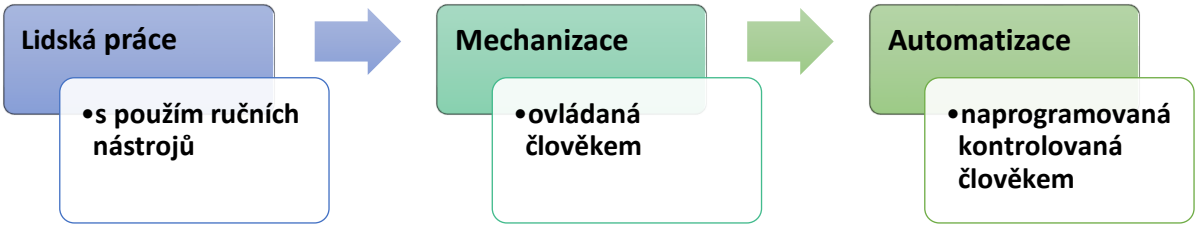
Účelem automatizace je zefektivnit výrobní procesy a eliminovat chyby které by mohl do výroby vnést člověk. Čím je stupeň automatizace vyšší tím méně je potřeba lidí přímo v procesu. Lidé se z pracovních pozic přesouvají spíše do pozic kontrolních, přípravářských a programátorských. Při splnění ideálního předpokladu tzv. komplexní automatizace by teoreticky mohlo dojít až k vyřazení člověka z příslušného výrobního procesu. V praxi se jeví tato možnost jako neuskutečnitelná.

Dříve se veškeré práce a činnosti vykonávali pouze lidskou silou. Proto si člověk začal vytvářet nástroje a později stroje, které by mu práci usnadnily nebo by dokonce pracovaly místo něho, samy od sebe a automaticky. Podle dochovaných dokumentů již 200 let př. n. l. byly v Alexandrii automaticky otevírány a zavírány velké chrámové dveře, a to za pomocí ohně, vody a z ní vzniklé vodní páry. Ke skutečně převratným vynálezům ve své době patřilo jednoduché využití protizávaží. Historické základy automatizace je možné pozorovat i na řadě dalších vynálezů. Pokrokem ve výrobě mouky bylo zařízení zvané samotřas, který reguloval přísun zrna do mlýnských kamenů ve starověkých mlýnech. V arabských textech byla zmínka o regulátoru vody z 9. století, kdy stroj měl za úkol řídit přítok vody do napáječky pro dobytek. Ve starověku si lidé představovali budoucí mechanické pomocníky jako stroje připomínající zvířata jak vzhledem, tak dovednostmi. První významné vynálezy našeho letopočtu se objevily v polovině 14. století. Byl to např. buben s kolíčky, který se dodnes používá jako kolíčkový program. Mezi konstruktéry automatů 16. století patří i Leonardo da Vinci, v jehož náčrtcích se nacházejí schémata různých mechanických pohybových prvků.

Hnací silou výrobních strojů byla původně síla lidských, popřípadě zvířecích svalů pro stroje s větším výkonem. Z toho období pochází například soustruh se šlapadlem, od něhož je veden provaz smyčkou kolem obrobku k zavěšené tyči, která působí jako vratné protizávaží. Taková koncepce uvolňuje obě pracovníkovy ruce pro práci s nožem. Dalším využívaným pohonem byla síla vody poháněj ící lopatky mlýnských kol. Využívala se k pohonu mlýnských kamenů, bucharů, soustruhů a dalších zařízení. Takto přímo se využívá už jen ojediněle. Dnes se využívá hlavně pro pohon generátorů na výrobu elektrické energie. Dalším historicky významným pohonem byl parní motor. Na rozdíl od vodního pohonu nebyl závislý na vodním toku a byl poměrně hodně výkonný. používal se v podobě stabilních motorů, a to buď menších přenosných nebo pevných. Obdobným způsobem se využívaly spalovací, většinou dieselové, motory. Dnes spalovací a parní motory u výrobních strojů a zařízení nahradily většinou elektrické motory. Elektrické motory mají spousty výhod: neprodukují žádné spaliny, snadno se u nich řídí otáčky a výkon, a to ve velkém rozsahu. Takzvané servomotory zvládnou i přesně nastavit polohu pootočení.

Nahrazování svalové práce prací motorů se nazývá mechanizace. Mechanizace umožňuje zvýšení výkonnosti určité práce až na hranici příslušných technologických možností a zabezpečení co nejpřesnější opakovatelnosti.

Dalším stupněm ve vývoji výroby je po mechanizaci automatizace. Její podstatou je samočinné řízení a někdy i kontrola průběhu jednoho výrobního procesu, nebo několika procesů tvořících ucelený výrobní proces. Automat je slovo řeckého původu, jehož význam je spojován se zařízením, které samočinně a bez trvalého řídícího vlivu člověka řídí výrobní a manipulační stroje. Automatizace výrobních procesů je významným krokem ve vývoji a realizaci všech druhů technologií. Vývoj nejen výrobních zařízení a nástrojů je již od počátku těsně doprovázen automatizací nebo alespoň pokusy o ni. Tyto pokusy se objevují v celé řadě zařízení v rámci činnosti člověka. Například již ve 14. století byla realizována myšlenka automatického hudebního nástroje, který hrál prostřednictvím po sobě přicházejících instrukcí – povelů. Povely byly vydávány od otáčejících se válců na povrchu opatřenými ostny. Na stejném principu Joseph M. Jacquard použil na počátku 19. století plechovou děrnou kartu k automatickému řízení textilního stroje. Plechová děrná karta byla předchůdcem moderních výměnných nositelů programu. [2] [4]

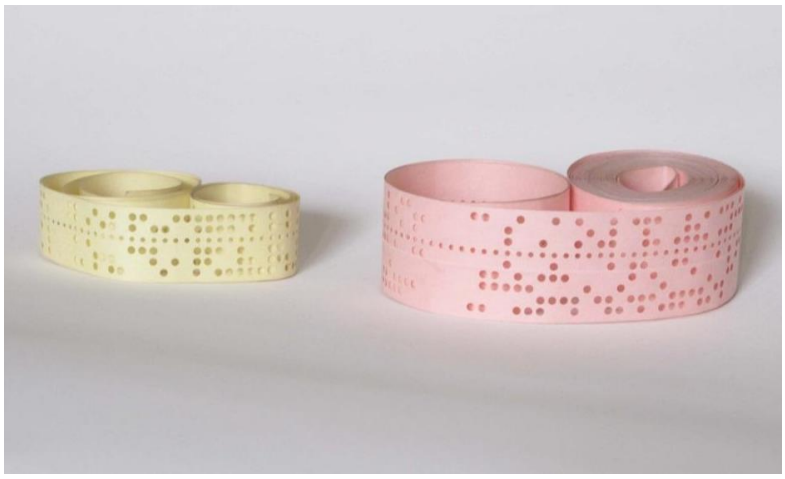


Obrázek 2: Posloupnost lidské práce, mechanizace a automatizace [4]

Automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka při vykonávání určité činnosti. Člověk je zde nutný ještě před začátkem samotné výroby. Musí vymyslet výrobní postup, do detailu naplánovat všechny výrobní procesy, které mají být automatizované. Následně naprogramovat všechny stroje a zařízení, které se na výrobě podílí. Poté kontroluje průběh výroby, mění opotřebované nástroje a odlaďuje případné chyby, které se mohou projevit až při spuštění výroby. Nakonec se podílí na kontrole součástí, které jsou výsledkem automatizovaného procesu.

Pro automatizaci se využívají číslicově řízené systémy, jsou to NC a CNC (Numeric Control a Computer Numeric Control) stroje. Tyto stroje zastávají práci lidí a zařízení které jsou jinak přímo ovládány lidmi. První číslicově řízený stroj se třemi osami byl vyvinut již v roce 1952. [6]

Jako nositelé vlastního programu se dříve využívaly například papírové děrné štítky a pásky. Pomocí těch se buď přímo ovládal stroj nebo se program nahrál do vlastní paměti stroje a z té se pak program vyvolával. Velká nevýhoda byla v tom, že se program na děrném pásku obtížně upravoval, a to jen v malé míře. V případě větších změn bylo potřeba program znovu vytvořit. Malé úpravy bylo možné dělat v nahraném programu ve stroji. Tyto změny se však neuložili na děrný pásek.



Obrázek 3: Děrný pásek [15]

Přenášení programu se stále vyvíjelo od děrných pásků přes diskety, „flash disky“, až do současnosti, kdy se používá propojení pomocí lan. Program se vytvoří na počítači a přímo od počítače se po síti nahraje do konkrétního stroje. Je to výhodné hned z několika ohledů. Přenos dat po síti šetří čas programátora, který tak nemusí odcházet ze své kanceláře a jít ke stroji nahrát do něj program. Dále odpadá riziko ztráty nebo poškození přenosového média. Stejně jako programátor může nahrát program do stroje z kanceláře, tak si může v některých případech nahrát seřizovač přímo u stroje program do daného stroje. Program je pak často ve formě jednoduchého textového souboru, díky čemuž se jedná o zanedbatelné množství dat, které se nachází v interní firemní síti. [5]

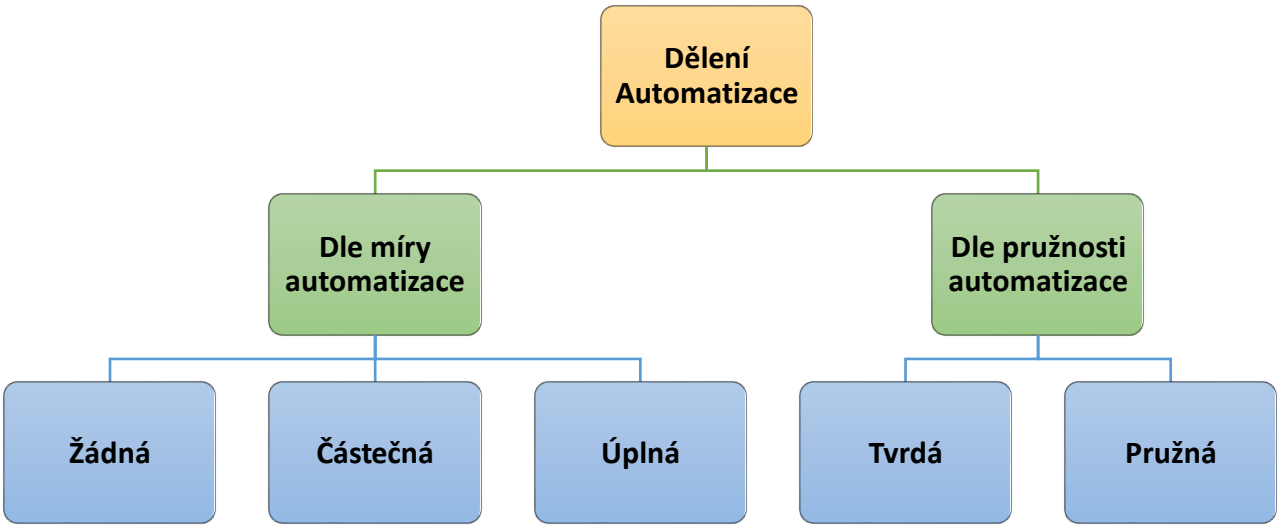
Obrázek 4: diskety flash disk, SD karty [14]

V této části své práce jsem se zabýval převážně vývojem automatizace od jejích počátků až do současnosti. Zmínil jsem zde zařízení a předměty využívané pro automatizaci v minulosti a dnes. Dále se budu zabývat pouze současnými technologiemi využívanými pro automatizaci. V následující kapitole se budu zabývat dělením automatizace.

3.1 Dělení automatizace

Automatizace může být provedena mnoha způsoby, pomocí několika různých technologií. Je ji tak možné dělit podle několika kritérií. Základní kritéria, které je potřeba určit před tím, než se začne navrhovat automatizované pracoviště jsou dvě. Jedná se o to, do jaké míry má být pracoviště automatizováno a do jaké míry je potřeba aby bylo pracoviště pružné.

Tyto kritéria jsou závislá především na typu produktů a na sériovosti produktů, popřípadě na tom, na jak dlouhou dobu má podnik jisté výhledy objednávek. [4]



Obrázek 5: Dělení automatizace [4]

3.1.1 Dělení dle míry automatizace

Před tím, než se navrhne pracoviště, je důležité určit, do jaké míry je výhodné dané pracoviště automatizovat. Zpravidla platí, že čím je míra automatizace vyšší, tím vyšší jsou počáteční náklady na vznik pracoviště, ale nižší náklady na následnou produkci a naopak. To, do jaké míry je výhodné pracoviště automatizovat se pak určí především podle toho, jak je daný produkt složitý a na jeho množství. Čím je výrobek složitější, tím je obtížnější a zároveň nákladnější jej automatizovat. Čím je větší množství daného produktu, tím větší je pak úspora při vyšší míře automatizace.

Toto dělení vyjadřuje, do jaké míry je u procesu zapotřebí člověk, jako řídící prvek. A do jaké míry je zastoupen automatickým zařízením. Pro to, aby mohla být nějaká činnost automatizovaná je potřeba ji nejprve mechanizovat. Činnost lze mechanizovat například pomocí obráběcího stroje. Jestliže však veškeré ovládání stroje zastává člověk, nejedná se o žádnou automatizaci. Z toho hlediska automatizace je jedno jestli člověk něco přímo posouvá, nebo jestli pohne pákou, která spustí motor a ten realizuje posunutí. Stále se nejedná o žádnou automatizaci.

Obrázek 6: Konvenční soustruh [27]

Automatizovaný proces je takový, kde impuls k dané činnosti nevzejde od člověka ale z počítače nebo mechanizmu, který daný proces řídí. Automatizovat lze jednotlivé úkony v pracovním procesu. Jako například automatický posuv soustruhu, pily, vrtačky a podobně. Ulehčí práci obsluze a umožní snadno dosáhnout vyšší efektivity a stálosti procesu.

Tento způsob automatizace se dá snadno aplikovat i na kusovou výrobu, protože není nijak závislý na tvaru a rozměrech jednotlivých výrobků, ale záleží jen na jednotlivých pohybech výrobního zařízení.

Také lze automatizovat i celé operace na počítačem řízených obráběcích centrech, kde se vloží polotovar a vyjme obrobená součást. Takový postup je vhodný pro malosériovou až sériovou výrobu. Samotná operace proběhne sice většinou za kratší čas, ale poměrně hodně času zabere programování a seřizování obráběcího centra.

Obrázek 7: CNC obráběcí stroj [28]

Plně automatizovat lze pouze takový výrobní postup, který je plně mechanizovaný. Je tedy za potřebí mechanizovat a poté automatizovat i veškeré přesuny polotovarů a výrobků. Například při výrobním procesu v průmyslovém podniku se může jednat o zakládání materiálů, vyjímání výrobků, přemisťování výrobků ze stroje na stroj, montování výrobků do podsestav a sestav, balení výrobků ….

Obrázek 8: Plně automatizovaná linka [29]

Takto plně automatizovaná výroba je vhodná jen pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Naprogramovat a seřídit takový výrobní systém je velmi náročné a pro je tedy ideální, aby pracoval nepřetržitě, jako například linka na výrobu automobilů.

3.1.2 Dělení podle schopnosti reakce na změnu výrobku

Pružnost automatizace by se jinými slovy dala vyjádřit jako schopnost daného zařízení přizpůsobit se změně výrobku. Automatizaci tak dělíme na pružnou a tvrdou. Z tohoto dělení vyplývá především to, jaké technologie jsou pro konstrukci pracoviště použity. Pro tvrdou automatizaci jsou to jednoúčelové stroje uzpůsobené přímo danému výrobku. Čím je automatizace pružnější, tím je vyšší požadavek na univerzálnost technologií, které jsou zároveň snadno programovatelné a přestavitelné.

Tvrdá automatizace je taková automatizace, která je přizpůsobena na míru jednomu konkrétnímu výrobku, nebo typu výrobků. Automatizace je realizována jednoúčelovými zařízeními, ovládanými buď elektronicky, nebo mechanicky vačkami, dorazy a narážkami. Seřízení strojů a výrobních zařízení na jiný výrobek je zpravidla velmi pracné nebo dokonce i nemožné, v takovém případě pak nezbyde nic jiného než navrhnout a sestrojit nové výrobní zařízení.

Díky tomu, že je zařízení zkonstruované přímo pro daný výrobek, je toto zařízení maximálně produktivní. Například se může výrobek opracovávat z více stran najednou, nebo se může opracovávat několik výrobků najednou.

Tvrdě automatizované zařízení je vhodné pouze pro velkosériovou, hromadnou nebo dokonce nepřetržitou výrobu. Veškeré náklady vzniklé při vzniku pracoviště se totiž musí uhradit z výnosů vzniklých právě z toho daného výrobku. Proto se pro výpočet celkových výnosů pracoviště uvažuje spíše množství produktů, které je poptáno a zbytková hodnota zařízení než doba životnosti zařízení.

Pružná automatizace je taková automatizace, která je realizována pomocí co nejuniverzálnějších zařízení. Taková zařízení, které lze rychle přeprogramovat na výrobu jiných výrobků. Jedná se často o víceosá obráběcí centra a robotické manipulátory.

Tento typ automatizace je vhodný pro sériovou, malosériovou a v některých případech dokonce i na kusovou výrobu. Programování výrobních zařízení může v mnoha případech probíhat během práce na předchozím výrobku. Stroje a zařízení které se využívají pro pružnou automatizaci jsou stále výkonnější, a i díky tomu jsou poslední dobou stále využívanější a postupně tak v některých případech nahrazují i tvrdou automatizaci. Například v automobilovém průmyslu bylo dříve běžné, že byla jedna tvrdě automatizovaná linka na jeden typ auta a v momentě, kdy se změnil typ auta, navrhla se i nová linka. Dnes je běžné, že se na jedné výrobní lince vyrábějí klidně tři typy aut a každé v několika variantách výbavy,

barev a dalších doplňků. Ke kompletní přestavbě linky dochází až po výraznější změně typů automobilů. U tohoto příkladu se jedná o částečně pružnou automatizaci.

Díky tomu, že výnosy daného pracoviště nejsou vázány na jeden výrobek, uvažuje se jako doba, po kterou pracoviště produkuje výnosy životnost pracoviště. To je výhodné hlavně pro podniky, které nemají jisté dlouhodobé výhledy.

3.2 Automatizace obrábění

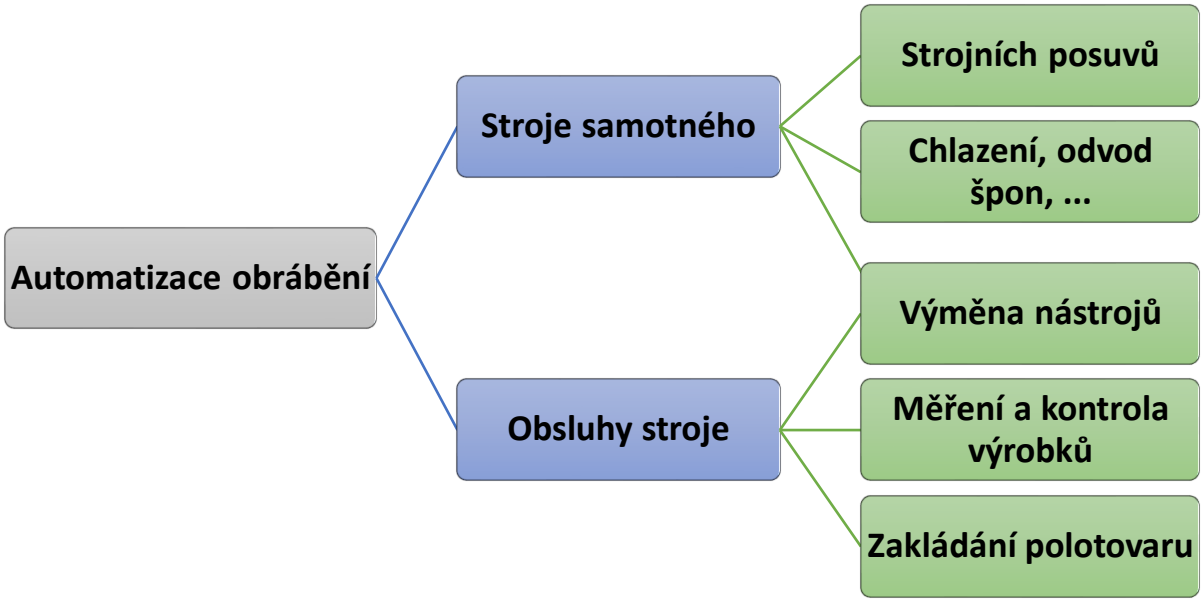
V této kapitole se zaměřím výhradně na automatizaci týkající se obráběcích a k tomu přidružených procesů a činností. Především se zaměřím na možnosti automatizace manipulace s materiálem u obráběcího stroje. Konkrétně se jedná o založení polotovaru do obráběcího stroje a následné vyjmutí obrobeného dílu

Proces obrábění lze rozdělit do několika jednotlivých částí. Dělíme ho na operace, které mají své úseky. Pro účely automatizace je dobré počítat i s procesy před a po samotném obrábění. Skladování a příprava polotovarů, přesuny výrobků mezi jednotlivými operacemi a přesuny pro účely expedice.

Dříve se automatizace používala jen pro hromadné nebo dokonce nepřetržité výroby. Výrobci, kteří vyrábějí menší série výrobků nebo výrobky, které mají dlouhou dobu obrábění byli vždy toho názoru, že automatizace je pro ně příliš drahá a nevhodná. Do nedávna tomu tak i bylo. Zařízení pro automatizaci byla velmi drahá a mzdy zaměstnanců byly poměrně malé.

Za posledních pár let se však v této oblasti mnohé změnilo. Mzdy zaměstnanců se celosvětově zvyšují, zatímco náklady na automatizaci klesají. Roboti a příslušné softwary se neustále vyvíjejí a stále stoupá jejich flexibilita, díky tomu lépe vyhovují uživateli. Automatizaci lze stále efektivněji aplikovat v mnoha průmyslových aplikacích, které jsou automatizovány často pomocí robota nebo i jinak. Větší poptávku po automatizovaných pracovištích lze vysvětlit mimo jiné i nedostatkem kvalifikovaných pracovníků.

Automatizované pracoviště může pracovat bez přestávky ideálně i 24 hodin denně bez obsluhy. V případě menších sérií je možné je využít tak, že jeden pracovník naráz obsluhuje několik takových pracovišť. [3]

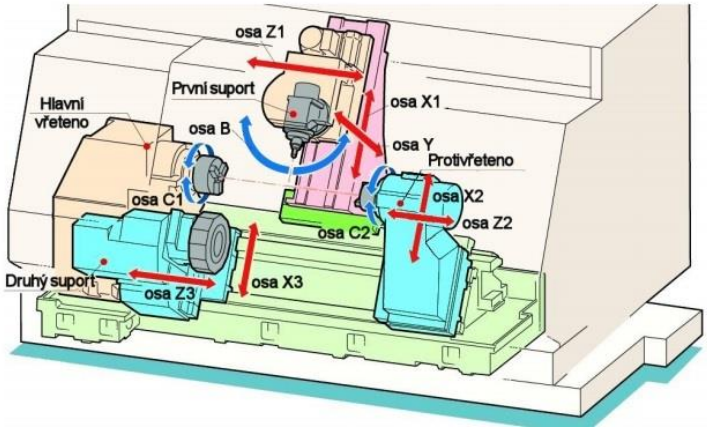


Obrázek 9: Rozdělení činností při obrábění, které lze automatizovat [3]

Automatizace procesu obrábění prochází velmi rychlím vývojem, díky tomu je možné dnes efektivně automatizovat i procesy u kterých to bylo dříve nemyslitelné. Automatizace strojů samotných je dnes již téměř samozřejmostí.

3.2.1 Automatizace stroje samotného

Obráběcí stroj je zařízení, které se skládá z několika pohyblivých částí. Z pohybů částí stroje vyplývají základní pracovní pohyby. Směry pracovních pohybů se označují jako pracovní osy stroje. Základní pracovní pohyby bývají buď posuvné, nebo rotační. Mechanizace rotačních posuvů bývá realizována pomocí motoru a nějakého převodu. Například řemenového nebo pomocí ozubených kol. Mechanizace posuvných pohybů pomocí elektromotoru a pohybového šroubu. V některých případech je převod z rotačního pohybu na přímočarý pomocí ozubeného kola a ozubeného hřebenu. Pracovní pohyby se také jinak nazývají pracovní posuvy. Automatické řízení posuvů je pak v podstatě řízení elektromotorů, které s danými posuvy pohybují. Stroj musí být vybaven řídící jednotkou, počítačem, která podle programu vysílá impulzy k elektromotorům. Z toho vyplývá název CNC stroj (Computer Numeric Control), neboli počítačem řízený stroj. Řídící jednotka stroje řídí podle programu i další zařízení, které jsou součástí stroje. Tyto zařízení plní doprovodné činnosti k obrábění, jako například čerpadlo, které čerpá chladící kapalinu, nebo dopravník, který odvádí třísky ze stroje. Tyto zařízení jsou většinou ovládány pouze příkazem zapnuto nebo vypnuto.



Obrázek 10: Příklad pracovních os a stroje s deseti osami [19]

Automatizace strojních posuvů je téměř nezbytnou součástí každého automatizovaného procesu. Jednotlivé rotační či posuvné osy jsou poháněny motory a servomotory. Motory a servomotory jsou ovládány počítačem. Některé motory jsou řízeny pouze stylem zapnuto vypnuto, a to buď jen jedním směrem, nebo oběma směry. Jiné motory jsou řízeny na přesný počet otáček nebo přesný úhel natočení včetně rychlosti, jakou se otáčejí. Tímto způsobem lze automatizovat jednotlivé úseky operací, nebo i celé operace.

Mezi pracovní posuvy se dá zařadit i automatizace výměny nástrojů. Například u některých frézovacích center může být výměna realizována pomocí jednoduchého manipulátoru, který vymění nástroj ze zásobníku za nástroj ve vřeteni. U jednodušších soustruhů bývá výměna nástrojů realizována pomocí počítačem ovládané revolverové hlavy, na které je po obvodu několik pozic pro nástroje.

Obrázek 11: Automatická výměna nástroje pomocí jednoduchého manipulátoru [30]

Tím že automatická výměna nástrojů bývá většinou realizována v rámci strojních posuvů, obsluha má pak za úkol pouze nástroje připravit a vložit do zásobníku na nástroje před novou zakázkou. A případně vyměnit opotřebený nebo poničený nástroj za nový.

Pro menší výrobní dávky je vhodné, aby měl stroj buď co největší zásobník na nástroje, nebo aby bylo nahrazování nástrojů ve stroji co nejjednodušší a nejrychlejší. Ve stroji pak můžou být nástroje připraveny na několik různých dílů čímž se ušetří dávkový čas na seřizování stroje, konkrétně vkládání nástrojů. V případě, že se při nějaké operaci nadměrně opotřebovává nástroj mohou být v zásobníku připravené další stejné nástroje. Moderní stroje mají zásobníky až na několik desítek nástrojů a umožňují obsluze, aby nástroje v zásobníku měnila a doplňovala i za chodu stroje.

3.2.2 Automatizace obsluhy obráběcích strojů

Obsluha obráběcího stroje má na starosti činnosti, které stroj neobstará strojními posuvy. Mezi tyto činnosti můžeme zahrnout zakládání polotovarů, odebírání hotových výrobků částečně i výměnu nástrojů, výměnu nebo pootočení břitových destiček, kontrolu výrobků přímo u stroje a další činnosti nutné pro chod výroby. Cílem automatizace těchto činností je zjednodušit obsluze práci nebo dokonce docílit toho, aby pracoviště pracovalo samostatně co nejdelší čas bez zásahu člověka.

Automatizovat činnosti obsluhy lze buď jednoduššími, většinou jednoúčelovými zařízeními nebo pomocí víceúčelového zařízení, jako je například robotický manipulátor.

Hlavní pracovní náplní obsluhy CNC stroje bývá zakládání polotovarů do stroje a odebírání hotových obrobků ze stroje.

Vkládání polotovaru se může velice lišit, podle technologie obrábění typu polotovaru a velikosti polotovaru. Je veliký rozdíl, jestli se soustruží malé výrobky přímo z tyčí nebo jestli se frézují veliké odlitky na víceosých obráběcích centrech. Ruční zakládání polotovarů do stroje vyžaduje téměř stálou přítomnost obsluhy. V případě těžkých a rozměrných dílů musí obsluha pro založení polotovaru využít jeřáb, nebo jinou pomocnou mechanizaci. Použití automatizace omezí potřebu přítomnosti obsluhy, v ideálním případě není obsluha potřeba vůbec. Provedení automatizace by mělo být takové, aby nebylo potřeba další pomocné mechanizace čímž je proces urychlen.

Nejsnadněji lze automatizovat podávání polotovaru skrz vřeteno soustruhu. To má však několik omezení. Soustruh musí být vybaven automatickým upínáním polotovaru, a to buď pomocí kleštiny nebo pomocí sklíčidla. Tyč by neměla mít příliš velký průměr a délku. Soustruh

musí při obrábění roztáčet a brzdit celou tyč. Čím je roztáčená hmota větší tím více elektrické energie obrábění spotřebuje. Průměr polotovaru je limitován otvorem, který vede skrz vřeteno. Tyč nemusí být jen kulatá. Může mít například čtvercový nebo šestihranný průřez.

Samotné podávání může být realizováno dvěma způsoby. Polotovar může být do stroje vtahován nebo vtlačován. Vtahován může být automatickými kleštěmi, které jsou na pozici nástroje. Výhodou je, v tom že nemusí být u stroje další zařízení. Nevýhoda spočívá v tom, že kleště zabírají pozici nástroje a mohou překážet v pracovním prostoru stroje.

Vtlačování polotovaru do stroje je realizováno pomocí zařízení, které je buď přímo spojené se strojem nebo je vedle stroje. Tyč je pak do stroje vtlačována nějakým pístem poháněným například hydraulickou kapalinou, stlačeným vzduchem nebo nějakým pružinovým mechanismem. Posunutí polotovaru je odměřeno buď pomocí samotného zařízení, nebo je polotovar natlačen na doraz který je na pozici nástroje. Výhodou zařízení, které vtlačuje polotovar do stroje je, že mívá zásobník na několik tyčí. Z toho plyne že je schopno déle pracovat samostatně.

Vyjímání hotových dílů bývá realizováno několika způsoby. V případě že výrobek obrábíme jen v jednom vřeteni díl po oddělení od polotovaru spadne na nějaký skluz nebo lopatku, která se pro tento účel nasune pod obrobek. Jestliže při obrábění využijeme i proti vřeteno je třeba zajistit, aby díl z upínače vždy vypadl. Díly pak pokračují buď skluzem nebo pomocí dopravníku do bedny. Tento způsob odebírání výrobků však není vhodný pro výrobky s vysokým požadavkem na přesnost povrchu. Díly padající do bedny se o sebe mohou navzájem poškodit.

Další a šetrnější možnost, jak odebrat hotový výrobek ze soustruhu je pomocí robotického manipulátoru. Robotický manipulátor si díl převezme při upichování nebo díl převezme z proti vřetena a uloží jej do připraveného rastru, nebo přímo na paletu.

Obrázek 12: Automatický podavač tyčí [11]

Dalším možnost, jak automatizovat zakládání polotovarů do stroje je pomocí paletových systémů. Systém zakládání polotovaru pomocí paletových systémů funguje na základě dvou principů. Hlavní rozdíl mezi těmito principy spočívá v tom, že při jednom se obrobek obrábí přímo na paletě a při druhém ne.

V prvním případě musí být každá paleta vybavena upínacím systémem, do kterého se polotovar upne. Palety se postupně vkládají do prostoru stroje, kde se zajistí a plní úlohu pracovního stolu. S paletami je manipulováno například pomocí dopravníkového systému nebo nějakého manipulátoru. Nevýhoda tohoto systému je, že se zvyšujícím počtem palet se výrazně zvyšují náklady na pořízení. Každá paleta musí být vybavena upínacím systémem, který fixuje paletu ve stroji a zároveň upínacím systémem, sklíčidlem, svěrákem nebo nějakým přípravkem, který fixuje obrobek. Takovéto palety bývají v poměru s obrobky poměrně velké a těžké. Odebírání hotových obrobků je časově náročnější a málokdy automatizovatelné, protože i po odebrání palety ze stroje je obrobek pořád na paletě upnutý. Tento systém má tu výhodu, že je použitelný i pro tvarově složité díly.

V druhém případě, kdy se neobrábí přímo na paletě, paleta nemusí být vybavena žádným upínacím systémem. Palety jsou konstruovány tak, aby se na ně polotovar položil vždy do definované polohy, pomocí prohlubní, kolíků, nebo různých dorazů. Například kruhový polotovar by byl vystředěný pomocí kruhové prohlubně a paleta by se přesunula buď do pracovního prostoru, nebo do jeho blízkosti, kde si jej přebere upínací systém stroje. Palety jsou na místo dopravovány pomocí dopravníkového systému, nebo mechanického manipulátoru. Předání polotovaru do upínacího systému stroje probíhá buď pomocí pohybu stroje nebo

pohybu palety. Hotový obrobek se odloží na prázdnou paletu, na jiný dopravníkový systém nebo pomocí nějakého skluzu přímo do bedny. Například u karuselového soustruhu s vřetenem seshora se sklíčidlo na vřetenu přesune nad prázdnou paletu, přijede k ní a odloží na ni hotový obrobek. Poté se opět zdvihne, posune se dopravník s paletami, přijede k polotovaru a upne jej. Vřeteno i se sklíčidlem a polotovarem se pak přesune zpět do pracovní polohy.

Palety u tohoto zakládacího systému jsou mnohem jednodušší a díky tomu i mnohem lehčí a méně nákladné. Zároveň je možné je vytvořit i daleko univerzálnější. Díky tomu všemu je jednodušší a méně nákladné vybudovat dopravníkový systém s velkým množstvím palet. Další výhodou je, že hotové výrobky nejsou k ničemu připevněny, díky čemuž je mnohem snazší následná manipulace s nimi.

Obrázek 13: Výměna palety ve stroji [12]

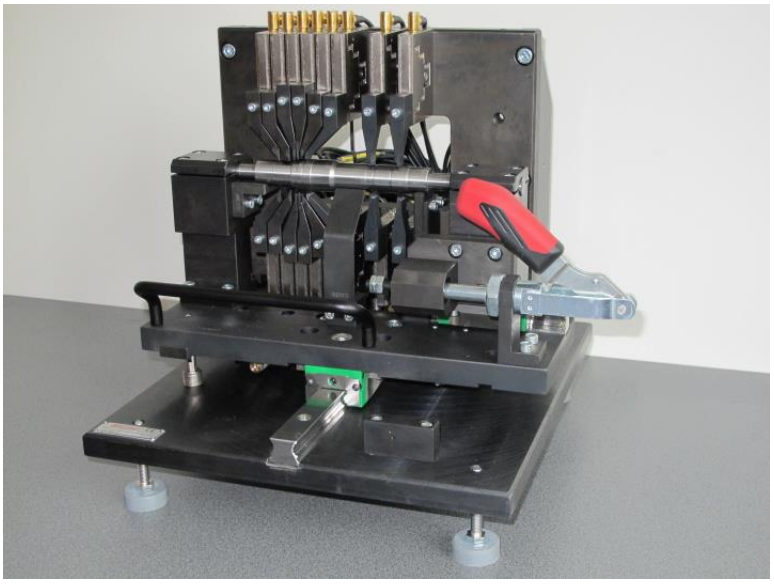
Automatizace měření a kontroly výrobků bývá poměrně snadná. Na trhu je hned několik výrobců, kteří nabízejí kompletní automatizované řešení, od jednoúčelových až po univerzální systémy měření a kontroly výrobků. Nejedná se však jen o kontrolu dílů samotných, ale zároveň i kontrolu výrobních zařízení. V případě, že se obrobený výrobek výrazně liší od požadovaného tvaru je velice pravděpodobné, že je problém ve výrobním zařízení. Například jestliže některé rozměry neodpovídají požadavku, může to znamenat otupený nástroj, jestliže se budou rozměry výrazně lišit může to znamenat i ulomený nástroj.

Požadavky na přesnost výroby se stále zvyšuje. Se zvyšující se přesností stoupá riziko, že se výrobky nebudou shodovat s požadavky. Aby se docílilo co nejmenšího počtu neshodných výrobků, je téměř nutné, aby se výrobky pravidelně kontrolovaly. Zároveň je důležité, aby byla co nejrychlejší zpětná vazba, aby bylo možné co nejdříve chybu napravit a korigovat. Je-li u

stroje obsluha a kontroluje kritické rozměry výrobků pravidelně po několika kusech nebo dokonce u každého vyjmutého výrobku ze stroje, může tedy zasáhnout do programu a zabránit tak výrobě neshodných dílů. V případě že měření nedokáže provést obsluha přímo u stroje musí daný díl odnést na kontrolní pracoviště. Zde může nastat prodleva která má za následek buď ztrátu v podobě vyrobených neshodných dílů nebo nevyužitého času, kdy stroj nevyrobil žádný výrobek.

Pravidelnou kontrolou přímo u stroje je možné ušetřit velké množství materiálu a času. Díky tomu, že dojde k úpravě rozměrové korekce už když se rozměr nepatrně změní, ale stále nepřekročí toleranční pole, je možné docílit nulové zmetkovitosti.

V případě složitějších výrobků, na kterých se měří velké množství rozměrů, nebo výrobků jejichž rozměry se nedají měřit běžnými dílenskými měřidly je někdy výhodné využít jednoúčelové měřící zařízení. Takové zařízení je však výhodné až v momentě, když se daný výrobek produkuje ve velkých sériích. Jedná se o zařízení, které je tvrdou automatizací měření, protože je sestaveno pro konkrétní výrobek, nebo typ výrobků. Takové zařízení je většinou vybaveno přesným upínacím přípravkem, který přesně definuje polohu výrobku. Dále sondami, které měří vzdálenost. Správným usazením a seřízením těchto sond je možné měřit délkové rozměry, průměry, úhly i polohu děr a výstupků. Pro získání těchto rozměrových dat je nutné výstupy ze sond přepočítat pomocí počítačového softwaru.



Obrázek 14: Jednoúčelové měřící zařízení [20]

Zařízení má obsluha stroje přímo na pracovišti. Vždy, když ze stroje vyjme hotový výrobek vloží jej pak do měřícího zařízení. Zařízení vyhodnotí rozměry výrobku, obsluha pak zadá do stroje případné rozměrové korekce. Pro urychlení a zjednodušení je možné zařízení

propojit přímo s ovládacím systémem stroje. Měřící zařízení případné korekce rovnou přenese do ovládacího systému stroje.

Toto řešení je vhodné jen pro velké výrobní série. Čím je měřící zařízení složitější, tak úměrně s tím výrazně stoupá jeho cena.

Za nejpřesnější a zároveň nejuniverzálnější měření lze označit měření na souřadnicovém měřicím zařízení, což je velmi přesné měřící zařízení. Pomocí kulového dotyku snímá z povrchu výrobku body. Pomocí nasnímaných bodů pak vyhodnocuje software rozměry součásti. Pomocí souřadnicového měřícího zařízení je možné kontrolovat nejen rozměrové tolerance, ale i geometrické tolerance, v některých případech i drsnost povrchu.

Obrázek 15: Souřadnicový měřící stroj [31]

Výhodou je, že měření součástí nezdržuje výrobní proces. Nevýhodou je, že zřízení pracoviště se souřadnicovým měřícím zařízením je poměrně nákladné.

Některá obráběcí centra umožňují měření výrobku pomocí sondy přímo ve stroji. Sonda s kulovým dotykem se umístí do pracovního vřetena na místo nástroje. Stroj pak funguje jako souřadnicové měřící zařízení. Výhoda je, že lze proces měření zařadit přímo do procesu obrábění.

Je nezbytně nutné, aby na měřených plochách nebyly žádné špony nebo jiné nečistoty. Měření přímo ve stroji je poměrně zdlouhavé a v průběhu měření stroj nemůže obrábět.

Obrázek 16: Měřicí sonda na pozici nástroje [32]

V této kapitole jsem obecně popsal automatizaci z pohledu historie a vývoje až do současné podoby. Byly zde zmíněny technologie, které se dnes již nepoužívají a v podnicích se vyskytují už jen zřídka. Dále zde bylo zmíněno základní rozdělení druhů automatizace podle míry automatizace a uplatnění automatizace při obrábění. Primárně se tato kapitola zabývala automatizací v oblasti obrábění. Části této kapitoly, které mají největší význam pro následující návrh automatizovaného pracoviště jsou části, které se zabývají rozdělením automatizace. Ze zvoleného typu automatizace následně vyplývají i typy technologií, které se pro automatizaci využijí.

4 Automatizace manipulace

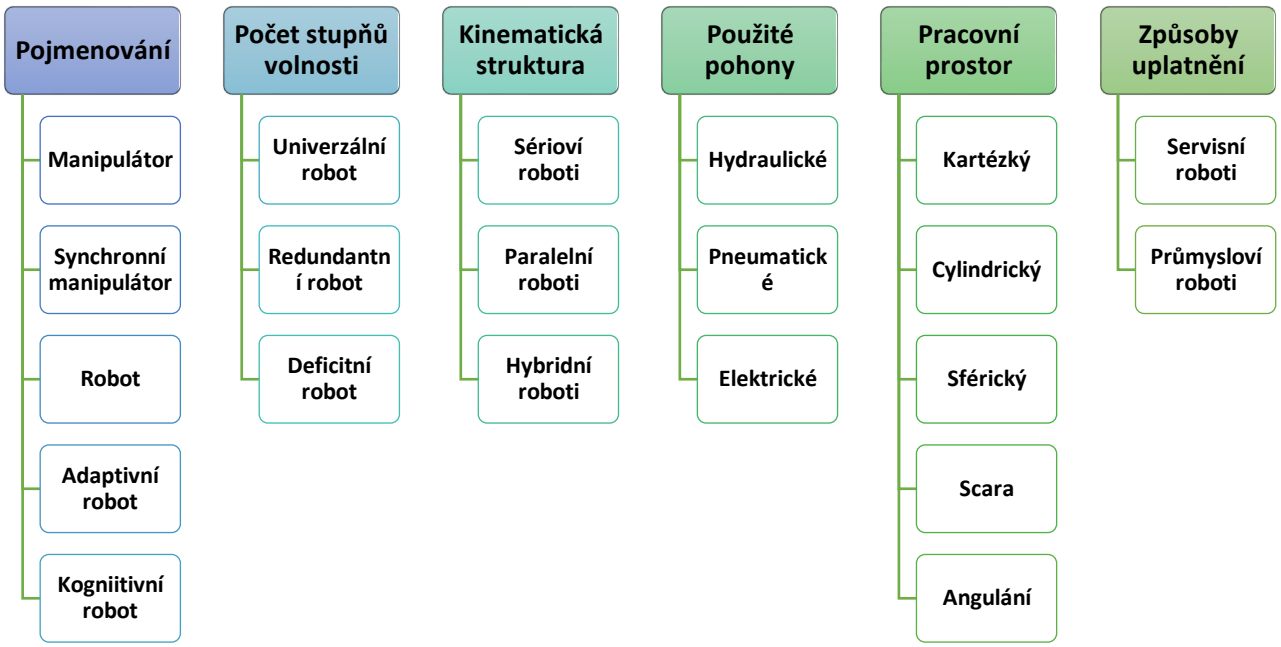
V této kapitole se budu věnovat výhradně robotickým manipulátorům. Jedná se o velice významnou technologii současného vývoje nejen ve strojírenství, ale i v dalších odvětvích průmyslu. Na začátku kapitoly bych chtěl obecně přiblížit, co je to robotický manipulátor. Dále zde zmíním definice názvů robotických manipulátorů, podle nichž se jednotlivé typy manipulátorů rozlišují. V této kapitole také zmíním dělení podle různých kritérií jako například podle druhu pohonů, kinematické struktury nebo geometrie pracovního prostoru. Také zde uvedu konkrétní příklady typů robotických manipulátorů, které jsou využitelné pro obsluhu CNC obráběcího stroje. Další část této kapitoly se bude zabývat koncovými efektory, které jsou nezbytnou součástí robotického manipulátoru. Bude zde zmíněno jejich základní dělení a příklady jejich použití. Část kapitoly týkající se koncových efektorů také zaměřím především na efektory využívané pro manipulaci s polotovary. Pro tyto účely je s největší pravděpodobností vhodný aktivní mechanický manipulační efektor, proto je mu zde věnován větší pozornost.

V současnosti jsou nejrůznější typy robotických manipulátorů nedílnou součástí většiny automatizovaných pracovišť. I proto tyto technologie zaznamenávají výrazný rozvoj. Množství nainstalovaných robotických manipulátorů v průmyslových podnicích se meziročně navýšilo téměř dvojnásobě. I proto je poměrně vysoký předpoklad, že nějaký typ robotického manipulátoru bude vhodný i pro automatizaci pracoviště v Lavatu.

Robotický manipulátor je možné použít pro obsluhu pracoviště. Správně zvolený typ robotického manipulátoru dokáže zastat většinu činností lidské obsluhy u daného pracoviště. Pro to, aby byl vybrán správný robotický manipulátor je potřeba zvážit mnoho kritérií, protože je velké množství typů manipulačních zařízení a robotů. Použití většiny typů robotických manipulátorů je obecně považováno za poměrně pružný typ automatizace. Ve výrobních závodech bývají robotické manipulátory využívány pro manipulaci s materiálem v podobě polotovarů a již obrobených výrobků. [9]

4.1 Dělení robotických manipulátorů

Robotické manipulátory je možné dělit podle mnoha kritérií. Například podle pojmenování. Podle názvu daného manipulátoru je možné odvodit některé jeho vlastnosti. Další kritérium je počet stupňů volnosti. Toto je kritérium, které určuje pohyblivost robota neboli jakými všemi směry je možné natáčet koncovou část manipulátoru. Dělení robotů podle kinematické struktury rozděluje roboty podle typu konstrukce a stavby pohyblivých částí robota. Neméně důležité dělení je také podle pohonů jednotlivých pohyblivých částí manipulátoru. Z konstrukce robota a jeho kinematické struktury pak také vychází i tvar pracovního prostoru, ve kterém dokáže manipulátor pohybovat koncovým efektorem. Poslední dělení, které zde bude uplatněno je dělení podle uplatnění daného robotického manipulátoru.



Obrázek 17: Dělení robotických manipulátorů [9]

Dělení manipulátorů podle těchto kritérií slouží k definici požadavků pro danou aplikaci, a následný výběr vhodného manipulátoru.

4.1.1 Dělení podle názvu

Roboty se různě nazývají podle jejich funkcí a možností použití. Podle názvu je tedy možno alespoň přibližně určit uplatnění daného robota.

Historicky první klasifikace byla postavena na vývoji definice robotu, která se zpočátku zaměřila na odlišnosti manipulátorů a robotů z hlediska řízení a programování.

- Manipulátor nebo také jednoúčelový manipulátor. Manipulátor s pevným programem, pro dlouhodobě se opakující činnost. Jedná se o manipulátory určené pro činnosti, které je možné předem naprosto přesně naplánovat. Manipulátor je zkonstruován a naprogramován pro určitou činnost, kterou pak opakuje. Jedná se o manipulátory spíše pro tvrdý typ automatizace.
- Synchronní manipulátor je manipulátor, jehož pohyby jsou přímo řízeny člověkem. Využívané pro činnosti, které není možné předem naprosto přesně naplánovat. Takový robot může mít část činnosti naprogramovanou a část činnosti řídí člověk. Příklad takové činnosti může být člověkem řízené uchopení náhodně ložené součásti a následné programem, řízené přesné umístění dané součásti do sestavy.
- Robot, manipulátor s pružným programem je označení pro univerzální programovatelné roboty. Takový manipulátor je využitelný pro mnoho různých činností a pro jednotlivé činnosti se snadno programuje. Jak už je patrné z názvu, jsou tyto technologie využívány pro pružnou automatizaci.
- Adaptivní robot je robot reagující na změny pracovní scény. Jedná se o univerzální programovatelné manipulátory, které si na základě dat ze senzorů a čidel optimalizují program. V praxi to může vypadat tak, že senzor určí polohu součásti a na základě toho si robot upraví polohu, ve které má součást uchopit.
- Kognitivní robot je robot s určitou, ale blíže nedefinovanou mírou umělé inteligence. Nejedná se však o inteligenci podobnou té lidské. Je to kybernetický systém schopný autonomní interakce s reálným prostředím za účelem splnění stanoveného cíle. Má různou míru schopností podle toho, jakými moduly a programy je vybaven. Může vnímat a rozpoznávat prostředí (senzorický modul). Vytvářet a aktualizovat vnitřní reprezentaci prostředí (kognitivní modul, model prostředí). Řešit nepředvídané události v prostředí (dynamický model prostředí). Automaticky řešit úlohy na základě modelu prostředí a formulovaného cíle (modul řešení úloh a plánování). Samostatně vykonávat plány činnosti (modul realizátoru plánu, motorický modul). Aktivně ovlivňovat prostředí

manipulací s předměty (efektory). Komunikace s ostatními činiteli působících v prostředí včetně komunikace s člověkem (komunikační modul). Vnímat a rozpoznávat situaci vlastní a ostatních činitelů v prostředí pro spolupráci a učení napodobováním (modul chování). Formulovat vlastní cíle (generátor cílů). [22]

Při popisu jednotlivých tipů manipulátorů je důležité dbát na správné názvosloví, protože už podle názvu je možné odvodit o jaký typ manipulátoru se jedná. Správné nazývání může zjednodušit jednání v této problematice. Naopak špatné názvosloví může do jednání vnést zmatek.

4.1.2 Počet stupňů volnosti

Stupně volnosti označují možné směry posunu a pootočení. Podle kartézského souřadnicového systému se jedná o posun ve třech směrech, jejichž kombinací je docíleno libovolného směru. Další tři stupně volnosti jsou natočení podle os kartézského souřadnicového systému, kombinace těchto směrů natočení umožní pootočení do libovolné polohy. V mechanice obecně platí, že libovolný pohyb definuje šest stupňů volnosti.

Počet stupňů volnosti u robotického manipulátoru ukazuje, kolika směry zvládne břemeno posunovat a do jakých poloh ho může natočit.

Univerzální robot má přesně šest stupňů volnosti. Dokáže přesunout těleso na jakékoliv místo a do jakékoliv polohy v jeho dosahu. Tři osy jsou určeny pro přesun na pozic. Jedná se tak o posuvné osy nebo o úhlové natočení ramene. Další tři osy jsou pro natočen břemene do správné polohy.

Redundantní robot disponuje šesti stupni volnosti ale více než šesti osami. Dalších os se využívá pro větší volnost nebo pro rozšíření dosahu. Větší volnost může být využita například pro obcházení překážek nebo pro pohyb ve stísněném prostoru. Každá pohyblivá osa navíc však zařízení velice prodražuje a může snížit jeho přesnost.

Obrázek 18: Robotický manipulátor ze sedmy osami [12]

Deficitní robot má méně než šest stupňů volnosti. Jsou to manipulátory se 3-5 stupni volnosti, provádějící jednodušší operace. Například montáž prvků v rovině. Zařízení s menším počtem stupňů volnosti je jednodušší a také méně nákladné.

Vzhledem k tomu že každý pohyblivý prvek vnáší do zařízení určitou nepřesnost je vhodné použít vždy manipulátor právě s tolika stupni volnosti kolik je pro danou aplikaci potřeba. Minimálně ze dvou důvodů. Čím má manipulátor více pohyblivých prvků tím je dražší. Zároveň manipulátory s méně stupni volnosti bývají tužší a přesnější.

4.1.3 Kinematické struktury

Kinematická struktura je v podstatě konstrukce robota, pomocí které se pohybuje. Kinematická struktura robota ovlivní poměrně zásadně mnoho parametrů robota, jako například rychlost pohybu, nosnost robota nebo dosah robota.

Sérioví roboti s otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru. Přímá stavba manipulátoru je tvořena řetězcem ramen propojených klouby. V každém kloubu je vlastní hnací jednotka, z čehož plyne, že ke každému kloubu musí být doveden zdroj energie. Každý kloub a každé rameno je zatíženo váhou břemene, a navíc částečně váhou vlastního zařízení mezi kloubem a břemenem. Tento typ konstrukce vyniká především velkým dosahem a schopností se dostat i do obtížněji přístupných míst. Některé typy redundantních manipulátorů jsou schopny přemístit předmět i například někam za roh a v podstatě do libovolné polohy. Jejich pracovní prostor většinou odpovídá prostoru, ve kterém se pohybuje konstrukce manipulátoru.

Obrázek 19: Sériový robot [12]

Paralelní roboti s uzavřeným kinematickým řetězcem manipulátoru. Koncovým manipulačním prvkem je pohybováno pomocí více kinematických řetězců. Tato konstrukce umožňuje umístit pohonné jednotky na základnu, což tak nezatěžuje ramena a je i jednodušší k nim dovést hnací energii. Paralelní konstrukce robotů je tak vhodná pro rychlou manipulaci s lehkými břemeny. V některých případech naopak tato struktura zajistí vyšší tuhost a nosnost manipulátoru. Nevýhodou je, že pracovní prostor tohoto typu robotů je většinou výrazně menší než prostor, který robot potřebuje pro svůj pohyb.

Obrázek 20: Paralelní roboti [12]

Hybridní roboti pak kombinují výhody výše uvedených konstrukcí. Některé pohyby jsou zajištěny pomocí paralelní konstrukce, většinou pro zajištění vyšší tuhosti, a jiné často navazující jsou zajištěny pomocí sériové konstrukce.

Obrázek 21: hybridní konstrukce robota pro vyšší nosnost [12]

Kinematická struktura robotických manipulátorů má zásadní vliv na parametry manipulátorů jako je rychlost pohybu, nosnost, dosah a přesnost. Paralelní struktura z pravidla zabere velký prostor a má jen malý dosah. Naopak sériová struktura zabere minimálně prostoru a má poměrně velký dosah.

4.1.4 Použité pohony

Hybnou sílu robota zajištují motory. Motory konají buď rotační nebo přímočarý pohyb. Pohyb motoru bývá většinou omezen. Přímočaré pohyby mají vždy jasně určený rozsah pohybu. Rotační motory jsou většinou schopny neomezeného otáčení, i přesto však jejich pohyb musí být omezen. Důvod může být konstrukce těla robota, která neumožňuje neomezené otáčení. Robot by mohl nabourat sám do sebe, nebo přes kloub vedou nějaké kabely či hadice které by se mohly poškodit.

Pohon pomocí hydraulických motorů je používán pro manipulátory s vysokou nosností. Tento typ pohonu však vyžaduje hydraulický agregát. Vedení hydraulické kapaliny po těle robota může být někdy komplikované, ale při použití na mohutných tělech robotů s velkou nosností je to poměrně snadno proveditelné. Hydraulické pohony jsou většinou přímočaré, konkrétně jsou to hydraulické písty. Jestliže je vyžadován rotační pohyb, je potřeba aplikovat pákový nebo ozubený mechanismus, který převede přímočarý pohyb právě na rotační

Pneumatické pohony pracují na podobném principu jako hydraulické. Energie je pro robota dodávána ve formě stlačeného vzduchu. Pneumatické systémy z pravidla disponují poměrně malou silou ale velice rychlou odezvou. Proto bývají používány pro vysoké rychlosti manipulace s drobnými břemeny. Tento typ pohonu vyžaduje zdroj stlačeného vzduchu. V dnešní době je však ve výrobních závodech běžně rozveden tlakový vzduch po celých výrobních halách.

Elektromotory jsou v současnosti jednoznačně převažující pohonná jednotka použitá u robotických manipulátorů. Tento typ pohonu nevyžaduje jiný externí zdroj energie, jako je čerpadlo nebo kompresor, ale přímo k motoru vede pouze kabel. Elektromotory mohou být jednoduché, které se ovládají pouze stylem zapnuto vypnuto, popřípadě se dá zvolit směr otáčení. Tyto elektromotory se točí konstantními otáčkami danými jejich konstrukcí. U složitějších elektro motorů je možné řídit rychlost otáčení a někdy dokonce i přesný úhel natočení rotoru.

Manipulátory v průmyslových aplikacích jsou nejčastěji poháněny elektromotory, často v kombinaci s pneumatickými prvky. tento typ pohonu je nejsnadněji řiditelný a je nejméně omezen přívodem energie.

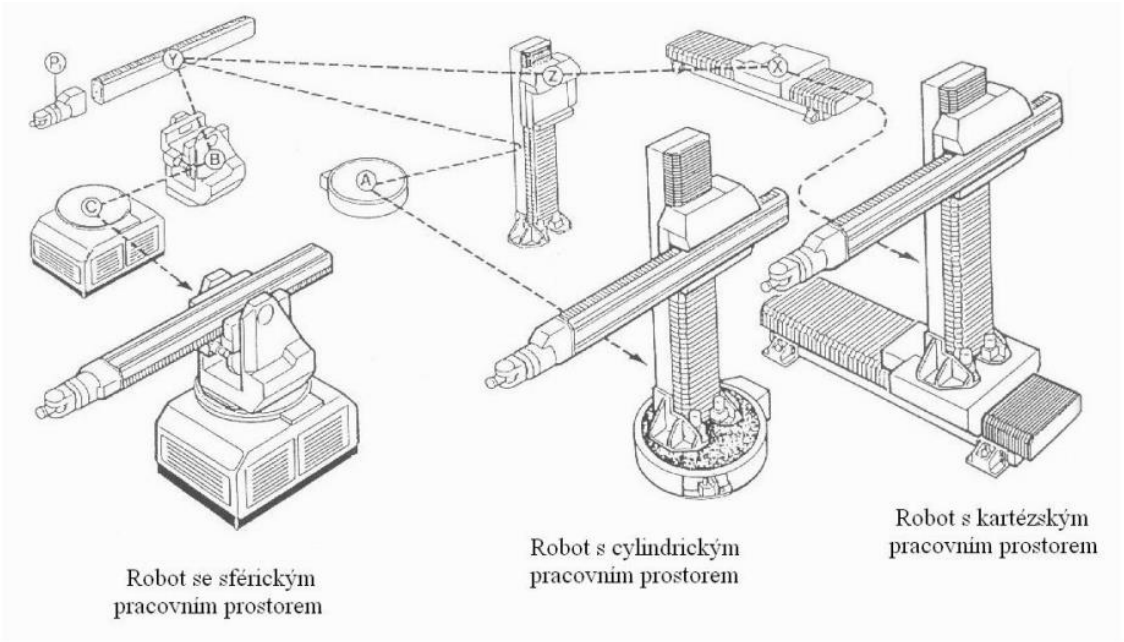
4.1.5 Geometrie pracovního prostoru

Pracovní prostor je oblast, v níž robot dosáhne na každé místo. Není však pravidlem, že i z každého směru. Geometrie pracovního prostoru robota vychází z principu, v jakém je robot navržen.

Kartézský pracovní prostor může být například u portálového provedení robota a má tvar kvádru. Rozměry pracovního prostoru jsou dány maximálními rozsahy jednotlivých posuvů.

Cylindrický pracovní prostor odpovídá objemu válce. Tento tvar pracovního prostoru najdeme většinou u robotů disponujícím pevným sloupem.

Sférický pracovní prostor ve tvaru koule. Většinou se jedná o prostor mezi dvěma kulovými plochami, kdy poloměr menší odpovídá nejmenší možné vzdálenosti od základny a větší naopak největší možné vzdálenosti od základny. Pracovní prostor je však z pravidla vynechán v místě základny, nebo v dalších nedosažitelných místech

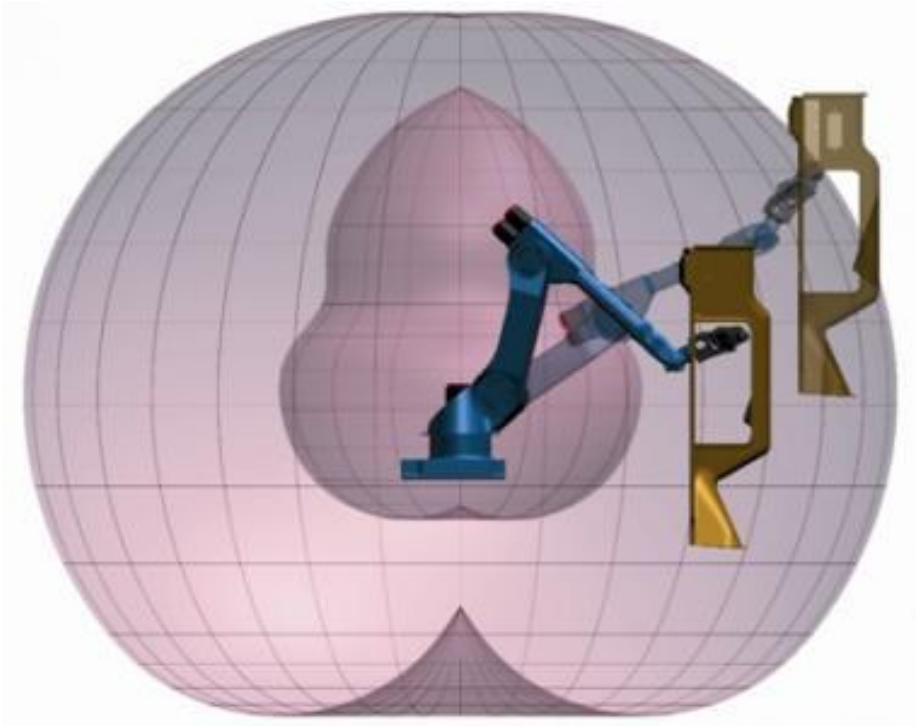


Obrázek 22: Konstrukce robotů se sférickým, cylindrickým a s kartézským pracovním prostorem [33]

Scara – jedná se o speciální případ cylindrického systému který je považován spíše za plošný. Ramena robota se pohybují v ploše mezikruží, jen konečný člen se pohybuje kolmo na tuto plochu.

Angulární – jedná se o speciální případ pracovního prostoru, připomínající sférický pracovní prostor. Nalezneme ho u robotů s na sebe navazujícími rameny. Je dán omezenými

rozsahy natočení ramen. Prodloužením jednotlivých ramen se sice zvětší maximální dosah, ale může se tím značně omezit možnost manipulace v blízkosti základny robota



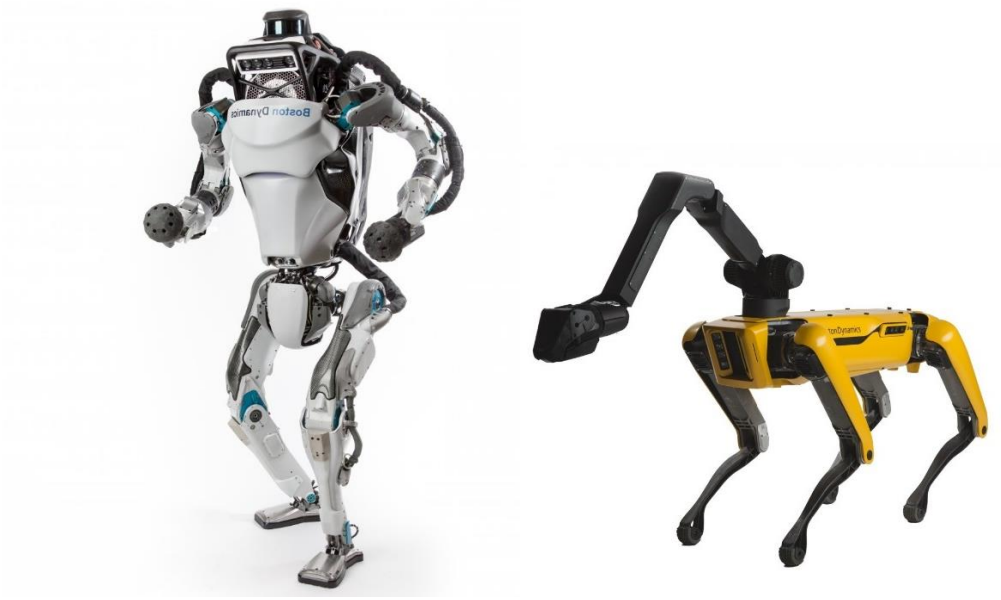
Obrázek 23: Příklad Angulárního pracovního prostoru [16]

Geometrie pracovního prostoru převážně vyplívá z kinematické struktury manipulátoru. Okrajová plocha pracovního prostoru je zároveň maximální dosah manipulátoru. Všechna místa, na která má manipulátor dosáhnout, musí být v pracovním prostoru manipulátoru.

4.1.6 Způsoby uplatnění

Roboty lze využít pro mnoho aplikací. Základní rozdělení může být podle toho, jestli se jedná o robota, kterého lze uplatnit v oblasti služeb a pro jiné obslužné činnosti. Takové roboty nazýváme servisní roboti. U servisních robotů je v naprosté většině upřednostněn účel před náklady na vývoj a konstrukci. Co se počtu týče převyšují tuto skupinu roboti nasazené v průmyslových podnicích, kteří se přímo podílí na výrobě produktů. Takové roboty nazýváme průmyslovými. U průmyslových robotů se hledá ideální poměr mezi cenou a výkonem při činnosti pro kterou je používán.

Servisní roboti užívané při obslužných činnostech, buď humanitárních (zdravotnictví, domácí práce, aj.), nebo v průmyslu. V průmyslu se mohou uplatnit například ve stavebnictví, hlídání objektů, údržbě, přepravě, a ve spoustě dalších uplatněních. Typická pro servisní roboty je jejich mobilita. Jejich hlavní účel je usnadnit práci člověku nebo ho nahradit i v činnostech, které jsou pro člověka nebezpečné nebo jen obtížně proveditelné. Servisní roboti zaznamenávají mimořádně rychlý vývoj adekvátní k rozvoji veškeré elektroniky a mechaniky u nich použité. A vzhledem k poptávce po automatizaci stále nových segmentů služeb je dán předpoklad dlouhodobého rozvoje této techniky.



Obrázek 24: Robot humanoidního tipu a čtyřnohý robot [34]

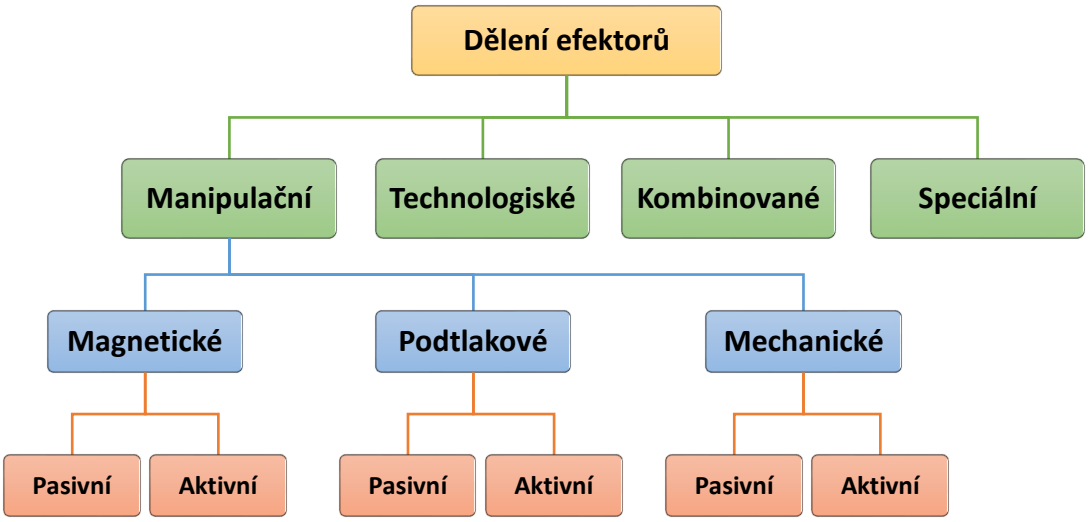
Průmysloví roboti jsou využívaní při činnostech spojených s výrobou různých produktů. Jedná se převážně o manipulátory, které obsluhují výrobní zařízení nebo přímo montují sestavy výrobků. Jejich využití je vhodné pro dlouhodobou stále se opakující činnost, pro přemisťování těžkých břemen, nebezpečnou práci nebo pro velmi přesnou práci.

Díky velmi rychlému vývoji univerzálních robotů jsou dnes vhodné i pro dříve neefektivní aplikace. Jedná se hlavně o malosériovou nebo dokonce kusovou výrobu. Moderní roboti umožnují rychlé a intuitivní programování přímo u stroje, a také offline programování u počítače. Počítačové programování navíc umožňuje virtuální kontrolu, která je již velice pokročilá, ne však dokonalá a velice záleží na jejím nastavení uživatelem. Také díky tomu se vyplatí aplikovat roboty i pro výrobu s poměrně častou změnou výrobků.

4.2 Efektory

Koncový efektor je nezbytnou součástí každého manipulátoru. Bez koncového efektoru je manipulátor pouze pohybující se zařízení, pomocí něhož nejde v podstatě nic udělat. Koncový efektor je zařízení, kterým manipulátor pohybuje a koná důležité úkony. Například uchopí součást. Pro účely automatizace obsluhy stroje je vhodný aktivní mechanický efektor, proto je mu zde věnována největší pozornost.

Koncové efektory se dělí podle jejich použití v průmyslových aplikacích. Pro průmyslové roboty a manipulátory jsou nejběžnější operace vkládání a vyjímaní objektů z prostoru výrobního zařízení, mezioperační manipulace, technologické operace a kontrolní operace. Koncové efektory se z konstrukčního hlediska dělí na manipulační, technologické, kombinované a speciální.



Obrázek 25: Dělení efektorů [21]

Manipulační neboli úchopné hlavice slouží k uchopování objektů a následné manipulaci s nimi. Tyto hlavice jsou většinou navrhovány pro jednotlivé aplikace, avšak mohou být také univerzální, jako např. robotické ruce. Části úchopných hlavic, které přicházejí do kontaktu s manipulovanými objekty nazýváme úchopné prvky. Tyto prvky dělíme podle styku s přenášeným objektem na třecí a tvarové. Dále je rozlišujeme podle toho, zda je prvek pasivní nebo aktivní. Pasivní úchopný prvek neumožňuje ovládání úchopné síly. Aktivní to umožňuje.

Koncové efektory pro montážní operace. Typickou montážní operací je například šroubování šroubů. Součástí pracoviště pro montáž šroubů bývá zařízení, obvykle vibrační dopravník, který rozvodem přivede do koncového efektoru správně orientované šrouby. Ty jsou následně přivedeny k elektrickému nebo pneumatickému šroubováku, který je přišroubuje na požadované místo. Výhodou robotického šroubování je jeho rychlost a omezení chyb lidským faktorem, jako například chybějící šrouby, či šrouby nedotažené na potřebný moment. [21]

Dalším typem jsou technologické koncové efektory. Mezi běžné technologické operace průmyslových robotů patří např. svařování elektrickým obloukem, nanášení ochranných hmot a povrchové úpravy. Dělí se dle použití na tavné svařování, odporové svařování, stříkání ochranných a nátěrových hmot a kontrolní operace. Jedná se tak o efektor v podobě zařízení určené pro danou technologickou operaci.

Speciálním typem technologických efektorů jsou efektory využitelné přímo k obrábění. V dnešní době se průmysloví roboti vyrábějí již na takové úrovni, že je možné je využívat pro obrábění. Je zřejmé, že vzhledem k složitosti mechanismu robotů se jejich dráhy pohybují v určité toleranci (přibližně desetiny milimetru u malých robotů, milimetr u velkých robotů s velkými nosnostmi). Nedosahují tedy stejné kvality jako při obrábění na běžných obráběcích strojích. Jejich nasazení spíše tedy spočívá v aplikacích, kde není třeba dbát na kvalitu obrobené plochy. Při výběru robota je třeba dbát na přesnost robota a tuhost jeho mechanismu, protože tyto parametry výrazně ovlivňují kvalitu obrábění.

Kombinované výstupní hlavice. V praxi je velmi běžné kombinovat úchopné a technologické hlavice. Většinou se jedná o jednoúčelové aplikace, použitelné jen pro daný předmět. Obvyklá je například kontrola přítomnosti přenášených objektů senzory při manipulačních operacích.

Pro manipulaci s polotovary, což je hlavní téma této práce jsou použitelné pouze manipulační koncové efektory. Z toho důvodu se dále zaměřím pouze na tento typ efektorů.

4.2.1 Manipulační efektory

Jak je již výše popsáno, jsou manipulační koncové efektory určeny především k uchopování a přemisťování předmětů. Efektor jako takový má za úkol pouze uchopení předmětu. Přemístění pak zajistí manipulátor tím, že přemístí efektor spolu s uchopeným předmětem. Efektory se pak mohou skládat z pasivních a aktivních prvků.

U pasivních prvků nelze ovládat uchopovací sílu a jsou konstruovány jen k tomu, aby předmět uchopily. Úchopové hlavice složené z pasivních prvků jsou schopny předmět pouze uchopit. Pro jejich uvolnění je obvykle potřeba další zařízení.

V momentě, kdy je v úchopové hlavici, byť jen jeden aktivní prvek, je celý efektor označovaný jako aktivní. Aktivní prvky umožňují ovládání úchopové síly. Z toho plyne, že tyto prvky umožňují i uvolnění předmětu.

Dále se tyto prvky dělí podle způsobu uchycení předmětu. Jsou tři základní způsoby uchopování, pomocí magnetu, podtlaku a nejpoužívanější uchopování pomocí mechanických úchopových hlavic.

Magnetické úchopové prvky jsou použitelné pouze pro feromagnetické materiály. Pasivní magnetické prvky mají podobu permanentních magnetů. Uchopovací hlavice se připlíží k přenášenému předmětu, ten se přichytí na magnet. Uvolnění předmětu musí být například pomocí odtržení o nějakou zarážku. Nevýhoda těchto prvků je, že se na ně mohou přichytit magnetické nečistoty, které pak mohou negativně ovlivnit polohu přenášené součásti. Aktivní magnetické prvky jsou v podobě elektro magnetů. Uchopování pomocí těchto prvků probíhá velice podobně. Elektromagnet se přiblíží k předmětu a aktivuje se, součást se přichytí. Manipulátor se přesune nad místo, kam má být součást přemístěna a magnet se deaktivuje. Součást pak dopadne na místo určení. U aktivních magnetických prvků je menší problém z magnetickými nečistotami, protože vždy, když se magnet deaktivuje, aby se uvolnil předmět, uvolní se s ním i nečistoty. Magnetické uchopovací prvky jsou pro automatizaci obsluhy obráběcího stroje nevhodné. Při obrábění vzniká velké množství magnetických nečistot v podobě třísek.

Obrázek 26: Aktivní magnetický efektor od firmy Schunk [23]

Další možnost uchopení předmětu je pomocí podtlaku. Tento systém pracuje tak že efektor uchopí předmět pomocí jedné nebo více přísavek

Pasivní podtlakový systém funguje pomocí deformačních přísavek, ze kterých se vzduch vytlačí jejich deformací o uchopovaný předmět. Následným odtahováním přísavky má přísavka snahu opět zvětšit svůj vnitřní objem a tím vzniká podtlak. Je velice důležité zajistit co nejtěsnější styk mezi přísavkou a povrchem zdvihaného předmětu, protože případná větší netěsnost může způsobit předčasné uvolnění předmětu. Uvolňování je pak nejlépe volit tangenciálním pohybem. Přísavky jsou poměrně náchylné na poškození, a to hlavně při uvolňování. Tento systém se v dnešní době už téměř nevyužívá. Jeho hlavní nevýhoda je, že podtlak v přísavkách není nijak zaručen a tím není zaručena ani uchopovací síla.

Aktivní podtlakový systém je podstatně využívanější. Používá se například pro uchopování plechů, plastových výrobků, a obecně dílů které mají poměrně velkou plochu povrchu poměrně ke hmotnosti. Po uchopení předmětu tímto systémem nezůstanou na povrchu žádné stopy a je jím možné snadno uchopit i předměty bez jasně definovaného tvaru, jako je například pytel se sypkým materiálem. V dnešní době výrobci nabízejí velké množství přísavek různých tvarů a z nejrůznějších materiálů. Například přísavky s velkou možností deformace z velice poddajného materiálu pro velmi zvlněné nebo oblené povrchy, nebo naopak přísavky s menší možností deformace z tuhého materiálu pro rovný povrh a pro větší nosnost. Podtlak pod přísavkami vzniká odčerpáním vzduchu pomocí vývěvy či ejektoru. Díky tomu je podtlak definovatelný, a i při větší netěsnosti je díky stálému odsávání vzduchu konstantní uchopovací síla. Uvolnění součásti je pak provedeno tak, že se z přísavek přestane odsávat vzduch, a naopak se tam v pustí. Tudíž zmizí podtlak a sním i uchopovací síla a předmět se uvolní.

Obrázek 27: Aktivní podtlakový efektor [25]

V průmyslové automatizaci jsou nejvyužívanější mechanické koncové efektory. Ty předmět uchopují pomocí tvarového nebo silového spoje. Často se využívá také kombinaci tvarového a silového spoje. Tvarový spoj využívá k uchopení tvar součásti, kterému je daný efektor přizpůsobený. Silový spoj pak třecí sílu vyvolanou sevřením předmětu mezi čelisti.

Pasivní mechanické uchopovací prvky mohou mít podobu háků, lůžek, podpěr, nejrůznějších zarážek nebo svěrných většinou pružinových mechanismů. Tyto prvky jsou také využívány i k pouhému posunování po ploše. Pasivní mechanické prvky jsou již téměř vytlačeny těmi aktivními z toho důvodu, že aktivní prvky jsou stále dostupnější a univerzálnější.

Aktivní mechanické prvky mají většinou podobu čelistí, které se vzájemně přibližují a oddalují. Pohyb čelistí bývá většinou zajištěn pomocí pneumatického nebo elektrického motoru. Čelisti mohou být tvarové tak, aby při sevření jasně definovaly polohu předmětu ve všech směrech. Předmět pak mezi nimi drží i při nulové přítlačné síle. Čelisti určené pro silové uchopení mívají velice jednoduchý tvar, který polohu předmětu definuje jen v některých směrech v těch ostatních drží předmět pomocí třecích sil vyvolaných silou sevření čelistí. Jeden koncový efektor se pak může skládat i z více svěrných prvků. Může pak uchopit více předmětů najednou nebo jeden předmět na více místech naráz. Uchopovacích hlavic je velké množství typů. Nejjednodušší a nevyužívanější typy jsou přímé více čelisťové efektory. Čelisti jsou ovládané buď přímo pneumatickými prvky a elektromotory nebo přes nějaký převod. Převod pak umožňuje větší rozsah pohybu čelistí nebo větší svěrnou sílu. Konkrétně pro manipulaci s kruhovými polotovary u stroje je nejvyužívanější dvoučelisťový efektor s prismatickými čelistmi pro delší polotovary a tříčelisťový pro krátké polotovary s větším průměrem.

Obrázek 28: Aktivní mechanické uchopovací hlavice [23]

Efektory jsou nezbytnou součástí každého manipulátoru. Manipulátor bez efektoru není schopen vykonávat téměř žádnou činnost. Univerzálnost efektorů je poměrně malá, a proto je malá i schopnost přizpůsobit se změně výrobku, z toho důvodu je třeba při změně výrobku upravit nebo dokonce vyměnit efektor. Proto je možné použít i automatickou výměnu efektorů, to je však poměrně nákladné. Vzhledem k tomu že i ruční výměna není příliš časově náročná vyplatí se použít automatickou až tehdy pokud je nutné efektory měnit opravdu často.

5 Analýza výrobního portfolia

V této kapitole se budu zabývat definicí parametrů pro návrh automatizace procesu obrábění ve společnosti Lavat a.s. Na úvod přiblížím, jaké pracoviště a z jakého důvodu chtějí v Lavatu automatizovat. Uvedu, jak toto pracoviště v současné době vypadá, jaký stroj se na něm nachází a kolik je kolem něj prostoru. Poté se budu věnovat analýze výrobního portfolia. Podle parametrů vyplívajících z analýzy výrobního portfolia navrhnu několik variant pro automatizaci. Hlavní část této kapitoly je návrh několika variant automatizace daného pracoviště. Každá varianta pak bude obsahovat podrobný popis rozestavení jednotlivých technologií, popis, jak pracoviště funguje, výčet jeho výhod a nevýhod a v poslední řadě i rozpis nákladů na realizaci automatizace pracoviště.

Cílem této automatizace je zvýšení kapacity výroby a kompenzace nedostatku pracovníků, proto se firma Lavat rozhodla investovat do automatizace výrobního procesu. Konkrétně chce automatizovat obsluhu CNC soustruhu. Od tohoto rozhodnutí očekává nejen navýšení kapacity výroby, urychlení výrobního procesu, snížení požadavku na kvalifikaci dělníků ale v neposlední řadě i zvýšení prestiže firmy.

Ve firmě Lavat již v minulosti aplikovaly některé typy automatizace. Například více vřetenové automatické soustruhy, jednoduchý zakládací paletový systém a dnes jsou samozřejmostí CNC stroje. Nikdy se však nejednalo o kompletní obsluhu stroje.

Firma se zabývá sériovou výrobou dílů do vlastních výrobků a zakázkovou výrobou ve větších i menších sériích. Zpravidla se výrobní dávky pohybují od 100 do 1000 kusů. Čas obrábění dílů se pohybuje od jedné do třiceti minut. Hmotnost polotovarů pro výrobu dílů je od necelého kilogramu až po dvacet kilogramů.

Tím, že je poměrně velký rozsah parametrů výrobků nepřipadá v úvahu použít žádný typ tvrdé automatizace. Naopak je vhodné použít co nejpřizpůsobivější typ. Vzhledem k požadavkům na nosnost a dosah se jako nejvhodnější možnost jeví použití robotického manipulátoru, konkrétně robot s na sebe navazujícími otočnými rameny na konci s vyměnitelným nástrojem v podobě uchopovacího prvku, takzvaným efektorem.

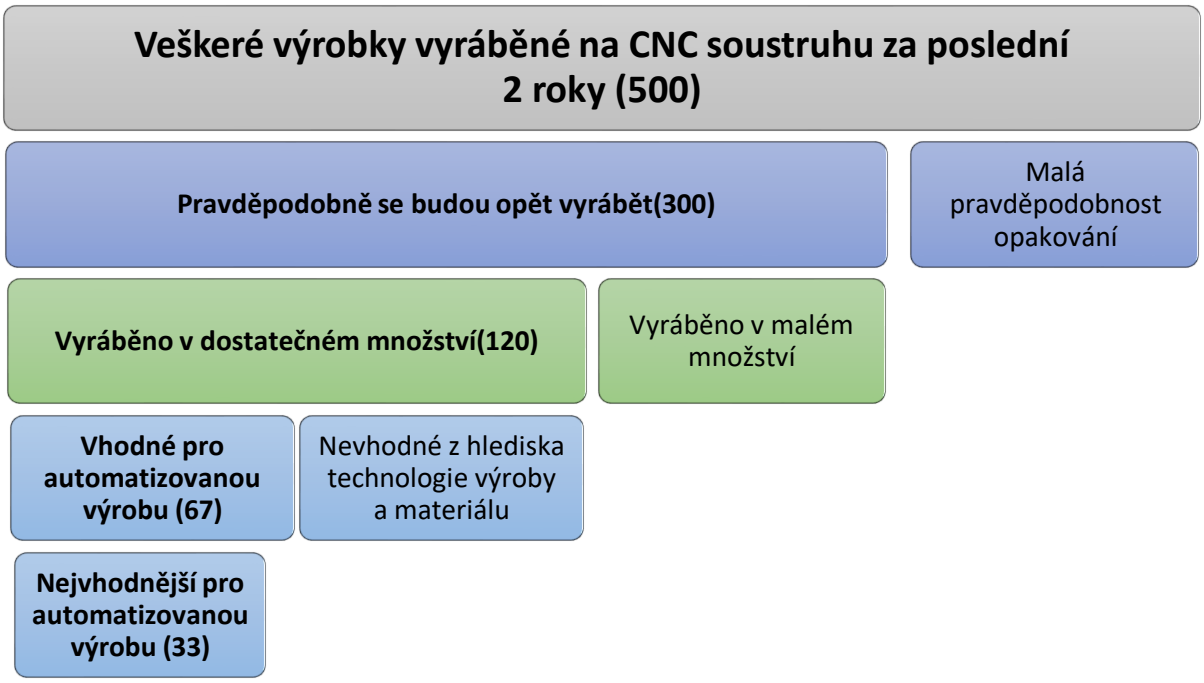
Nejefektivnější forma efektoru pro výměnu obrobeného dílu za polotovar se jeví rozdvojený efektor. Jeden konec je uzpůsoben pro uchopení polotovaru a druhý pro uchopení hotového dílu.

K realizaci automatizace je zapotřebí správně nakonfigurovat celé pracoviště. Základem je CNC stroj a samotný robot. Důležitou částí pracoviště je systém přípravy polotovarů, ze kterého bude robot přendávat polotovary do stroje, a kam bude odkládat obrobené díly. To, jak

budou připravené polotovary výrazně ovlivní dobu, po kterou bude pracoviště schopno pracovat bez zásahu obsluhy. Nezbytnou částí pracoviště je zajištění bezpečnosti jak obsluhy a všech lidí okolo, tak i zařízeních samotných. Součástí pracoviště může být také zařízení pro kontrolu hotových dílů.

5.1 Analýza

Hlavní kritéria pro výběr technologií realizujících automatizaci vyplývají z charakteru výroby. Ta je určena výrobky, které se na daném stroji vyrábějí. Automatizace se bude týkat pouze obrábění na jednom počítačem řízeném soustruhu. Proto budu pro analýzu portfolia uvažovat pouze díly obráběné na tomto stroji. Jedná se přibližně o 500 různých výrobků, které se na stroji vyráběly během posledních dvou let.



Obrázek 29: Výběr nejvhodnějších výrobků pro automatizovanou výrobu

Obecně platí, že pro automatizaci jsou vhodné pouze výrobky, kterých se dělá větší množství nebo se jejich výroba v menších zakázkách pravidelně opakuje. U 200 jen málo pravděpodobné, že se budou v budoucnu opakovat. Ze zbývajících 300 výrobků je více než polovina vyráběná jen ve velmi malém množství do sta kusů. Tyto výrobky je efektivnější vyrábět na jiném pracovišti. Pro automatizaci je tedy nebudu uvažovat. Zbývá 120 výrobků pro podrobnější analýzu. Pro automatizaci jsou vhodné výrobky, u kterých je hladký průběh

obrábění, při kterém nedochází k náhlému namotávání dlouhých třísek, nadměrné opotřebení nástroje vlivem materiálu obrobku nebo nestandartní technologií a dalším obtížně předvídatelným situacím. Za vznik těchto situací nese vinu většinou materiál obrobku nebo obrábění obtížně obrobitelných tvarů, jako jsou hluboké zápichy nebo hluboké otvory. I kdyby se podařilo tyto situace detekovat, stejně by většině případů bylo zapotřebí přivolat obsluhu nebo seřizovače, aby problém odstranil. Je proto výhodnější tyto výrobky vyrábět na pracovišti, kde stroj obsluhuje člověk, který kontroluje průběh obrábění a může obrobek a nástroje kontrolovat i mezi jednotlivými rizikovými částmi programu. Podle zkušeností z předešlého obrábění je patrné, že hladký průběh obrábění většinou není u několika typů houževnatých nerezových ocelí. Proto výrobky, které jsou z těchto materiálů pro automatizaci také nebudu uvažovat. Zbývá tedy 67 výrobků ze snadno obrobitelných typů ocelí, slitin mědi a slitin hliníku. Z nich jsem vybral 33 výrobků, kterých by se do budoucna mělo vyrábět více než jeden tisíc ročně. Tyto výrobky považuji za vzorek, pro který navrhnu automatizaci pracoviště. Do budoucna se očekává, že do této skupiny přibydou nové výrobky. Dá se však předpokládat, že budou podobného charakteru, jako jsou tyto vybrané.

Tyto výrobky jsem sepsal do tabulky a zjistil jejich maximální rozměry. Jelikož se jedná o výrobky určené pro obrábění na soustruhu jsou jejich charakteristické rozměry průměr a délka podle těchto rozměrů jsem je rozřadil do tří skupin. První skupina jsou výrobky, jejichž průměr je výrazně větší než délka – dále je budu označovat jako desky. Další skupina jsou výrobky, které mají průměr přibližně stejný nebo maximálně třikrát větší, než je délka – tyto výrobky označím jako příruby. A poslední skupinou jsou výrobky jejichž délka je výrazně větší než průměr, takové výrobky označím jako hřídele. Dále si u každé součásti zjistím hmotnost polotovaru, ze kterého se vyrábí.

Tabulka 1:Tabulka vybraných součástí pro automatizované pracoviště [26]

Tvar součásti	Název součásti	Číslo výkresu	maximální rozměry [mm]		Hmotnost polotovaru [kg]	Materiál
			průměr	délka		
D>>L	DESKA	2230 56 0010	80	17	1	11373
	TALÍŘ	2301 01 0101	66	7	0,5	424254.60
	ISO PŘÍRUBA	2941 03 1000	130	12	1,6	425516
	ADAPTÉR	6534 00 0960	127	34	3,7	17240 (ASI 304)
	ČELO OSÁZENÉ	6534 35 0042	82	3	0,2	17349 (AISI 316L)
	VLOŽKA CF 40	6545 84 0020	158	13	2,2	17349 (AISI 316L)
	PŘÍRUBA PŘEVLEČNÁ	6545 84 0030	100	25	1,7	17349 (AISI 316L)
	INSERT	6546 00 0010	70	20	0,8	17240 (ASI 304)
	PŘÍRUBA NASTAVOVACÍ	6546 00 0200	60	16	0,4	17240 (ASI 304)
	PŘÍRUBA 2	6546 07 2020	100	25	1,7	17349 (AISI 316L)
	PŘÍRUBA CF	6546 44 0012	80	20	0,9	17246 (1.4541)
	PŘÍRUBA VLNOVCE	6546 75 0010	113	20	2	17349 (AISI 316L)
D>=L	STATOR VELKÝ	2143 01 0011	60	42	1,1	422420
	STATOR VELKÝ	2145 01 0012	90	69	3,5	422420
	STATOR VELKÝ	2147 01 0012	90	70	3,5	422420
	PŘÍRUBA FIB AAM	6544 16 0010	60	30	0,7	17349 (AISI 316L)
	VÍČKO M14 X 0,5	6544 16 0020	20	10	0,03	17349 (AISI 316L)
	PŘÍRUBA KOMPENZÁTORU	6545 10 0022	55	26	0,5	1.4301
	KRYT VLNOVCE	6545 19 0013	35	30	0,3	17349 (AISI 316L)
	PŘÍRUBA 2	6545 89 1020	164	92	18	AISI 303L
	PRŮCHODKA NAVCAM	6546 00 0031	60	20	0,5	AISI 303
	PŘÍRUBA	6546 44 0021	86	89	4,5	17246 (1.4541)
	ISOLATION RING	6552 00 0020	140	60	8	SEE SHEET 160
	PŘÍRUBA 1	6743 00 1021	100	90	7,5	1.0038
	TĚLESO VENTILU	6547 02 0010	40	44	1	424254
	PŘÍRUBA	6751 43 1020	120	95	10	1.0576
D<L	PŘÍMÝ KUS	2935 11 2161	30	100	0,7	17240 (ASI 304)
	PŘÍMÝ KUS	2935 13 2251	40	100	1,1	17240 (ASI 304)
	PŘÍRUBA TEST CF40	6545 00 0180	70	160	5,5	X15CrSi25 21
	TĚLESO VENTILU ROHS	6547 02 0013	40	45	0,5	ENAW 6082
	PŘÍRUBA 1	6743 00 2030	60	90	2,2	CuSn7ZnPb, 2.1090, (Rg7)
	PŘÍRUBA 2	6743 00 2040	75	95	3,7	CuSn7ZnPb, 2.1090, (Rg7)
	PŘÍRUBA	6751 43 2020	75	115	4,4	CuSn7ZnPb, 2.1090, (Rg7)

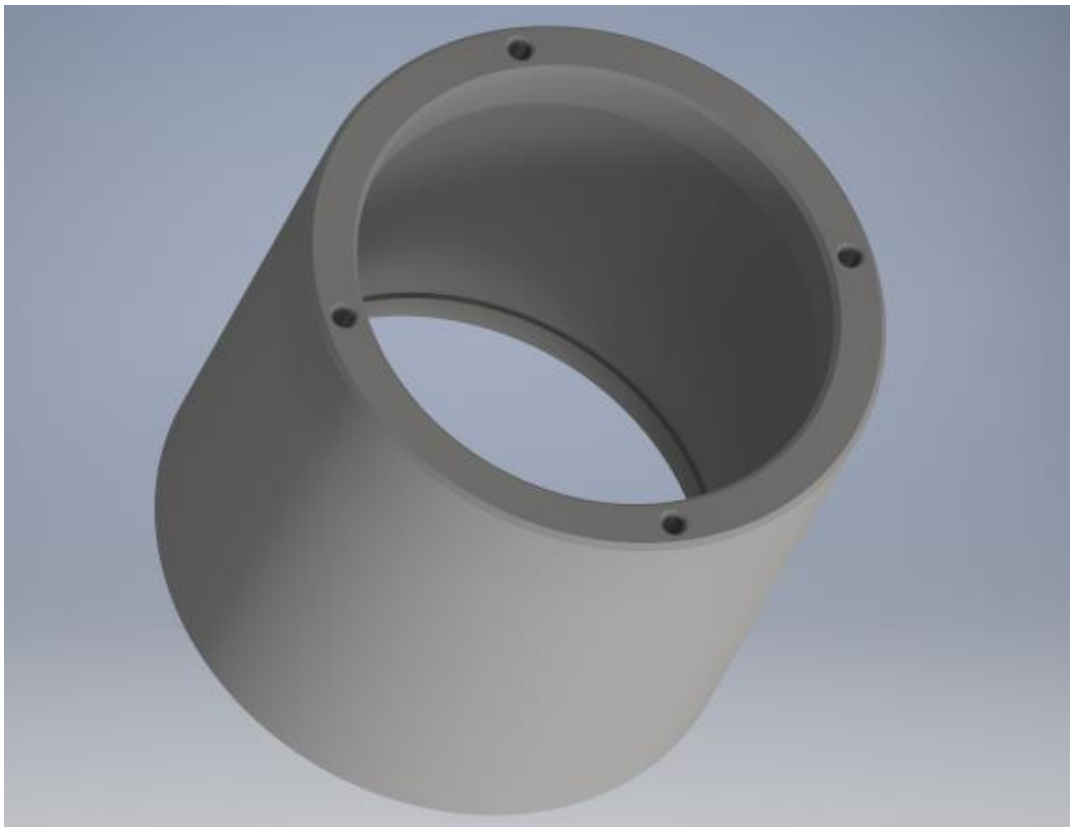
Pro tuto skupinu výrobků určím kritéria, které musí automatizované pracoviště splňovat. Přesto že se každého z vybraných výrobků zhotovuje ročně přes jeden tisíc, bývá toto množství rozdělené do několika dávek během roku, proto se na pracovišti poměrně často střídají výrobky. Z toho důvodu je vhodné použít technologie pro pružnou automatizaci. Při plánování výroby je pak vhodné frontu výroby řadit tak, aby byly po sobě zařazené podobné výrobky. Jestliže se podaří správně naplánovat frontu práce, minimalizuje se tím čas na přestavování pracoviště. Pro přemisťování výrobku a polotovaru po pracovišti bude s největší pravděpodobností zapotřebí použití manipulátoru s minimálně šesti stupni volnosti. Protože například dráha, po které je polotovar do stroje vkládán je prostorová křivka a polotovar se během přesunu téměř vždy pootočí o libovolný prostorový úhel. Manipulátor bude manipulovat s výrobky v prostoru

obráběcího stroje, který je poměrně stísněný. Proto je třeba aby byl co nejobratnější. Pro tyto účely se hodí robot se sériovou kinematickou strukturou.

Jedním z nejdůležitějších parametrů určených podle portfolia výrobků je minimální nosnost manipulátoru. Ta vychází především z váhy nejtěžšího polotovaru, ze kterého se nějaký výrobek vyrábí. Nejtěžší polotovar má hmotnost 18 kilogramů.

Reprezentant výrobků

Pro finální návrh automatizace pracoviště vyberu ze skupiny výše vybraných výrobků jeden výrobek, který bude co nejlepším reprezentantem všech výrobků. Tento výrobek budu pak uvažovat jako hlavního představitele pro návrh všech detailů robotického pracoviště. Nejlépe reprezentuje vybrané díly díl ve výše uvedené tabulce označen jako PŘÍRUBA 1 s číslem výkresu 6743 00 1021. Rozměry tohoto dílu jsou mezi ostatními díly průměrné. Polotovar, ze kterého se tento díl vyrábí má průměrnou hmotnost.



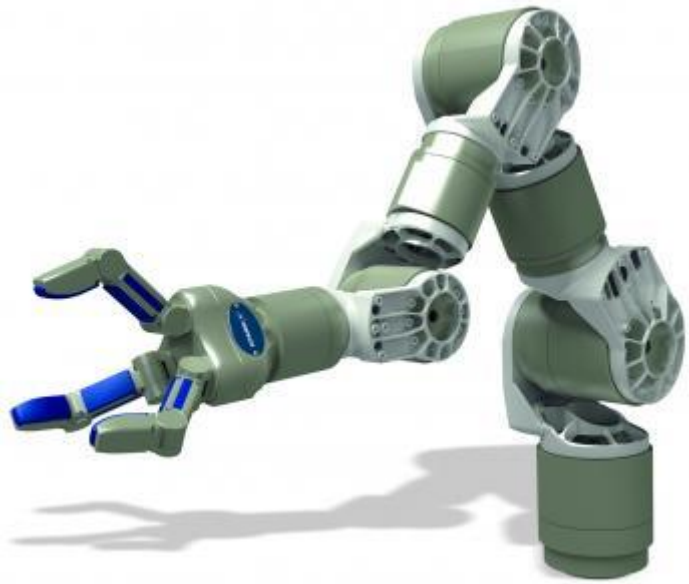
Obrázek 30: Příruba 1 6743 00 1021 [26]

V této kapitole jsem zvolil skupinu výrobků, pro kterou budu následně navrhovat automatizaci procesu obrábění. Důležité informace plynoucí ze skupiny výrobků je maximální a minimální rozměry a hmotnost. Maximální hmotnost polotovaru, který se ve skupině nachází

je 18 kilogramů, minimální je téměř nulová. Maximální průměr je 164 milimetrů a délka 160 milimetrů.

6 Volba technologií pro automatizaci

Podle analýzy portfolia jsou pro automatizaci pracoviště s CNC soustruhem v Lavatu vhodné technologie, které dokážou pružně reagovat na změnu výrobků, které mají sériovou kinematickou strukturu s minimálně šesti stupni volnosti. Tato kritéria splňuje manipulátor s antropomorfní konstrukcí. Patří do skupiny sériových univerzálních manipulátorů se šesti stupni volnosti. Tento typ manipulátorů se také často označuje jako robotické rameno nebo robotická paže, protože svou stavbou a možnostmi pohybů připomíná lidskou paži.



Obrázek 31: Robotická paže od firmy SCHUNK [28]

Robotická ramena nabízí mnoho výrobců. Mezi nejznámější patří firmy Fanuc a Kuka. Robotických ramen je tak téměř nepřeberné množství nejrůznějších typů. Proto je důležité z nich vybrat takový manipulátor, který splňuje všechny požadavky a zároveň dosahuje co nejlepšího poměru ceny ku kvalitě. Při výběru manipulátoru a následném návrhu pracoviště budu postupovat následovně. Nejprve vezmu v úvahu nejlevnější možnou variantu řešení u které je velice pravděpodobné, že nevyhoví všem parametrům. Poté vezmu v úvahu variantu, která bezpečně vyhoví všem požadavkům i za cenu vysokých nákladů. Dá se pak předpokládat že optimální řešení leží někde mezi těmito variantami.

Pro výběr vhodného robotického ramene jsou základní kritéria nosnost, dosah a provedení (kolaborativní, nekolaborativní, určený do čistého prostředí, do těžkého prašného

průmyslu, …). Pro volbu je také dobré zahrnout i kritéria které jsou důležité spíše až pro samotný návrh pracoviště jako je stroj ke kterému je robot nasazen požadavky na rozestavění pracoviště nebo také poloha, ve které bude manipulátor namontovaný.

Stroj, ke kterému je automatické pracoviště navrhováno je počítačem řízený soustruh Hyundai L300. Výrobce soustruhu je firma Hyundai. Operační systém stroje je od společnosti Fanuc. Stroj má průchozí vřeteno a možnost upínání jak do kleštiny, tak i do univerzálního sklíčidla. Stroj je vybaven druhým vřetenem, které je umístěno proti hlavnímu vřetenu, ale dokáže plnit i funkci koníku.

Dosah lze jen zhruba odhadnout, protože přesně je jej možno určit až po konkrétním návrhu pracoviště. Je požadavek, aby byl robot u stroje umístěn na takovém místě, aby stroj mohl obsluhovat i zaměstnanec. Lidské obsluhy by se pak využívalo pro zakázky, na které není buď možné nebo výhodné automatizaci použít. Proto musí být mezi základnou robota a vstupem do pracovního prostoru stroje dostatek místa pro lidskou obsluhu stroje. Od vnější přední hrany pracovního prostoru stroje je k vřetenu přibližně půl metru. Podle toho předběžně určím dosah manipulátoru jeden a půl metru.

Jedním z nejdůležitějších parametrů určených podle portfolia výrobků je minimální nosnost manipulátoru. Nosnost určím podle maximální hmotnosti, kterou bude robot přenášet na konci ramene a vzdálenosti od základny ve které bude pracovat. Do maximální přenášené hmotnosti je třeba započítat hmotnost efektoru a buď jen hmotnost polotovaru nebo součet hmotnosti polotovaru a obrobeného dílu, což je dáno průběhem výměny.

- Efektor + polotovar + obrobek
    - Cyklus začíná tím, že skončí obráběcí proces. Robot v tu dobu již drží polotovar v jednom konci efektoru. Otevřou se dveře pracovního prostoru stroje. Robot uchopí obrobek do druhého konce efektoru soustruh uvolní obrobek robot vyjme obrobek z čelistí a vloží do nich polotovar. Stroj uchopí polotovar robot odloží obrobek na určené místo a mezi tím stroj zavře dveře a zahájí proces obrábění. Robot uchopí další polotovar a vyčkává až opět skončí proces obrábění
    - Efektivní způsob výměny. Vhodný pro menší obrobky, větší mohou způsobit potíže v momentě kdy robot manipuluje v pracovním prostoru stroje polotovarem i obrobkem.
- Efektor + polotovar

- Robot drží současně v jeden moment pouze polotovar nebo obrobek. Jelikož polotovar je vždy těžší než obrobek, počítám pouze hmotnost polotovaru.
- Cyklus začíná tím že, skončí obráběcí proces. Robot v tu dobu ale nedrží nic. Otevřou se dveře pracovního prostoru stroje. Robot uchopí obrobek a odloží jej na určené místo. Poté teprve uchopí polotovar a vloží jej do stroje, stroj zahájí proces obrábění.
- Výměna tímto postupem z pravidla trvá delší dobu. Používá se pro díly s vyšší hmotností a většími rozměry. Díky tomu stačí pro aplikaci použít robot s nižší hmotností.
- Při tomto postupu je možné ušetřit hmotnost koncového efektoru tím, že není zdvojený. Musí však být použit takový efektor, který je schopen uchopit jak polotovar, tak obrobek.

- Efektor + polotovar (s využitím protivřetena)
  - Robot také drží současně v jeden moment pouze polotovar nebo obrobek.
  - Cyklus začíná tím, že skončí obráběcí proces. Robot v tu dobu již drží polotovar v jednom konci efektoru. Otevřou se dveře pracovního prostoru stroje. Robot vloží polotovar do volného vřetena. Stroj polotovar uchopí. Robot uchopí obrobek soustruh uvolní obrobek robot vijme obrobek z čelistí a uloží jej na určené místo a mezi tím stroj zavře dveře a zahájí proces obrábění. Robot uchopí další polotovar a vyčkává až opět skončí proces obrábění.
  - Je-li možné aplikovat tento postup, tak je nejefektivnější, protože kombinuje výhody obou postupů výše uvedených.

Pro výpočet maximální přenášené hmotnosti budu uvažovat druhý způsob výměny, konkrétně moment, kdy robot drží polotovar. Hmotnost nejtěžšího polotovaru je přibližně 18 kilogramů a odhadovaná hmotnost efektoru, který jej přenáší je přibližně 3,5 kilogramu. Maximální přenášená hmotnost je tedy přibližně 21,5 kilogramu. U většiny lehčích výrobků je součet hmotností polotovaru, obrobku a efektoru menší než 21,5 kilogramů. Je tedy u nich tedy možno aplikovat i první způsob výměny.

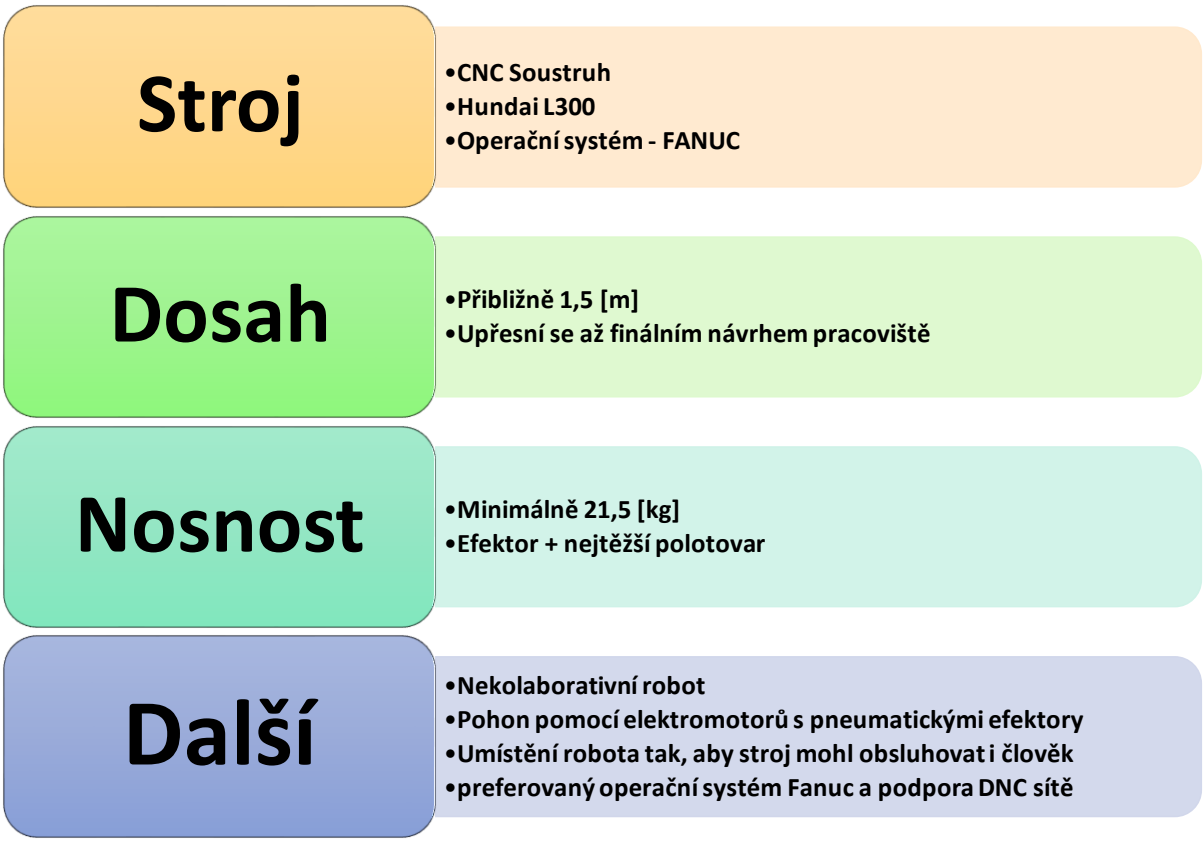
Dalším parametrem je typ pohonů. Naprostá většina provedení robotických paží využívá pro pohon elektromotory. Je to nejsnadněji řiditelný pohon pomocí počítače. Pro pohon efektorů je pak nejvhodnější zvolit buď také elektromotor nebo pneumatickými motor.

Výběr typu robotického manipulátoru výrazně ovlivní potřebu zabezpečení pracoviště. Kolaborativní robot nepotřebuje téměř žádné další zabezpečení. Je uzpůsobený tak, aby mohl v bezprostřední blízkosti pracovat člověk. Při sebemenším kontaktu s člověkem se zastaví. Bývá občas problém se zajištěním bezpečnosti efektoru a předmětu, který robot přenáší. Jakmile kolaborativní robot uchopí ostrý předmět, přestává být kolaborativním. Další nevýhodou je, že jeho pohyby jsou velmi pomalé. Nekolaborativní robot pracuje mnohem rychleji. Robota je však potřeba při pohybu plně zajistit tak, aby se do jeho dosahu nemohl nikdo přiblížit. Vzhledem k tomu že je zajištěný celý robot, není potřeba nijak dále zajišťovat nebezpečné části přenášeného předmětu nebo efektoru.

Cílem automatizace je, aby byla minimalizována nutnost přítomnosti obsluhy, a tudíž nebudou využity výhody kolaborativního robota. Nekolaborativní robot je tedy výhodnější hlavně z hlediska rychlosti pohybů a z toho vyplývajícího výkonu.

Naprostá většina strojů, ke kterým by bylo možné použít robotický manipulátor má operační systém Fanuc. Z toho důvodu je i u robota preferovaný systém Fanuc.

V budoucnu bude v Lavatu zavedena DNC síť. Z toho důvodu je vyžadováno, aby robot podporoval připojení k DNC síti.



Obrázek 32: Definice parametrů robota

Na základě zvolených parametrů zvolím technologie, které jsou vhodné pro automatizaci daného procesu obrábění. Některé zvolené technologie nemusí splňovat všechny zadané parametry, musí je však vyvážit jinými vlastnostmi. Například to že je manipulátor pomalí je vyváženo tím, že je velice levný.

6.1 Varianty manipulátorů

V této kapitole vyberu několik manipulátorů, které splňují výše uvedené požadavky. V první řadě vyberu co nejméně nákladnou možnost i za cenu že nebudou splněny všechny požadavky. Dále takový manipulátor, který splní, pokud možno všechny požadavky i za cenu vysokých nákladů. Ostatní vybrané manipulátory by měli představovat kompromis mezi těmito.

První varianta, o kterém v Lavatu uvažovali, když začali přemýšlet o automatizaci pracoviště byl robot od firmy Universal robot. Konkrétně se jedná o robota UR10e. tento robot je největší robot, kterého tato společnost nabízí. O tohoto robota se v Lavatu zajímali z toho důvodu, že se jedná o jednoho z nejlevnějších kolaborativních robotů.

Obrázek 33: Robot UR10e [17]

Ovládání a programování tohoto manipulátoru je velice snadné a intuitivní. Z toho důvodu by bylo programování jen velmi málo časově náročné. Automatizace pomocí tohoto manipulátoru by znamenala minimální finanční zátěž při pořízení i v průběhu následující činnosti.

Tabulka 2: Základní parametry manipulátoru UR10e [17]

Základní parametry robota UR10e	
Typ robota	**UR10e**
Nosnost	**10 [kg]**
Dosah	**1300 [mm]**

Tento robot však hned z několika hledisek nesplňuje výše definované požadavky. I ten největší nabízený robot má nosnost pouze 10 kilogramů. Započítáme-li hmotnost efektoru je pak zbývající nosnost jen 8 kilogramů, vzhledem k tomu že jen málo výrobků z výše zmíněných přesahuje tuto hmotnost, tak to není až takový problém. Jak je uvedeno ve vstupních parametrech, tak to, že je robot kolaborativní je spíše nevýhoda.

Druhá varianta, která přichází v úvahu je pořídit robota přímo od firmy Fanuc, s řídicím systémem Fanuc. Robotů od firmy Fanuc je velice široké portfolio kolaborativních i nekolaborativních. Jako nejvhodnější je jeví řada robotů M20. Promyšlená konstrukce robotů řady M-20 zvyšuje funkčnost. Veškeré vedení je prakticky uloženo uvnitř ramena, což zajišťuje jeho ochranu před mechanickým poškozením. Výbavu doplňuje plocha na zadní straně horního ramena, která umožňuje snadnou montáž dalších zařízení. Roboti řady M20 mají nosnost od 12-ti do 35-ti kilogramů. Nejvhodnější je největší robot této řady s nosností 35 kilogramů, konkrétně typ M-20iA/35M.

Obrázek 34: Robot M-20iA/35[13]

K robotovi se musí uzpůsobit celé pracoviště na míru potřebám výroby. Ve firmě Lavat s automatizací pomocí robota nemá nikdo zkušenosti, proto by byl návrh pracoviště zadán externí integrátorské společnosti. Společnost se specializuje na návrhy robotických pracovišť, a tudíž má mnohé zkušenosti. Tato společnost by zprostředkovala i nákup veškerého příslušenství, zabezpečovacích zařízení včetně robota samotného. Dále by také zajistila usazení robota, montáž, zabezpečení, propojení se strojem a systém dodávání polotovarů.

Tabulka 3: Základní parametry manipulátoru M-20iA/35M [13]

Základní parametry robota M-20iA/35M	
Typ robota	**M-20iA/35M**
Nosnost	**35 [kg]**
Dosah	**1813 [mm]**

Třetí varianta, která se nabízí jako řešení je pořízení robotické buňky od firmy Tecnotrade. Hlavní výhoda tohoto řešení je již vyřešený systém podávání polotovarů do pracovního prostoru robota. Robot je umístěn na základně spolu s otočným systémem se dvěma paletami. Buňka se dodává v několika provedeních. Hlavní rozdíly jsou v tom, jakým robotem jsou osazené. Robotické buňky jsou osazené roboty od firmy Fanuc, M-10iA/7L, M-10iA/10M, M-20iA/20M, M-20iA/35M. Palety jsou v podobě nakloněních rastrů s kosočtvercovými otvory. K buňce jsou dodávány čtyři rozměry rastrů, s různými velikostmi otvorů. Rastr s nejmenšími otvory pro polotovary do průměru 25 milimetrů má kapacitu 276 polotovarů, a rastr s největšími otvory pro polotovary do průměru 150 milimetrů má kapacitu 12 polotovarů. Díky otočnému systému je možné, aby jedna paleta byla v pracovním prostoru a do druhé by zatím možné doplnit polotovary. Tím, že se otočný systém přetočí palety se vymění. Robotická ruka je spolu s paletami obestavěna ze dvou stran zábranami. Jen k té paletě, která je zrovna mimo pracovní prostor se dá dostat posuvnými dveřmi. Z té strany, ze které je buňka ke stroji postavena nemusí být pracovní prostor robota jinak zabezpečený. Veškerá elektronika a včetně pohonu otočného systému je ukryta v základně buňky.

Obrázek 35: Robotická buňka Tecnotrade [35]

Dále je možné k robotické buňce nainstalovat další buňku pouze s otočným systémem s dalšími dvěma paletami. Automatické pracoviště pak může pracovat samostatně delší dobu. Firma také nabízí měřící stanici s možností zpětných korekcí do obráběcího stroje. Díky zpětným korekcím se vykompenzují nepřesnosti, které mohou vzniknout časem, například opotřebením nástroje nebo tepelnou roztažností částí stroje. V případě náhodné velké chyby dá stanice pokyn k vyřazení součásti.

Tabulka 4: Základní parametry robotické buňky [35]

Základní parametry robota robotické buňky	
Typ robota	**M-10iA/7L, M-10iA/10M, M-20iA/20M, M-20iA/35M**
Nosnost	**7-35 [kg]**
Dosah	**1633-1813 [mm]**
Max. ø polotovarů (kapacita):	**25(276ks), 40(108ks), 80(32ks), 150(12ks)**

Robotická buňka je komplexní řešení, které ušetří značné náklady na návrh a konstrukci pracoviště. Proto, aby bylo pracoviště plně funkční, stačí usadit buňku případně i měřicí stanici. Doplnit zabezpečení a propojit řídicí systém robota se strojem. To vše zajišťuje firma Tecnotrade, která buňku prodává.

Buňka má ale fixní rozměry a ke zvolenému stroji by se sice vešla ale musely by se posunout další dva stroje. Posunutí strojů sice velký problém není, ale kolem strojů by byl poté poměrně stísněný prostor.

Čtvrtá varianta je použít robot od jiné společnosti. To, že je operační systém robota stejný jako operační systém stroje je sice výhoda ale poměrně málo významná. Operační systém Fanuc pro roboty se totiž značně liší od toho pro obráběcí stroje. Robot se strojem komunikují pouze pomocí digitálních signálů v podobě M-kódů. Na operačním systému robota tedy téměř nezáleží.

Po konzultacích s jedním z integrátorů, se ukázal jako vhodný robot od značky Yaskawa. Integrátor roboty této značky sám používá pro automatizaci svých vlastních obráběcích strojů, a má s nimi velice dobré zkušenosti. Obzvlášť si pochvaluje poměr kvality ku ceně. Konstrukce robota je velice podobná konstrukci od firmy Fanuc. Hlavní rozdíl je v tom, že roboti Yaskawa jsou převážně modří a roboti Fanuc jsou žlutí.

Obrázek 36: Robot Yaskawa GP25[18]

Jako nejvhodnější se jeví robot řady GP s maximální nosností 25 kilogramů, typ MOTOMAN GP25. Robota je možné připevnit v podstatě do libovolné polohy, klasicky na zem nebo klidně na zeď nebo na strop.

Tabulka 5: Základní parametry manipulátoru Motoman GP25 [18]

Základní parametry robota Motoman GP25	
Typ robota	**Motoman GP25**
Nosnost	**25 [kg]**
Dosah	**1730 [mm]**

V této kapitole jsem vybral čtyři manipulátory, které by mohli být vhodné pro účely automatizace. tyto manipulátory pak použiji pro jednotlivé návrhy variant automatizace. Nejnižší pořizovací cenu a nejsnadněji ovládatelný robotický manipulátor z uvedených je robot UR10a nesplňuje však všechny parametry. Naproti tomu nejkvalitnější a nejspolehlivější manipulátor je robot od firmy Fanuc, který splňuje všechny požadavky naprosto uspokojivě ale zároveň se jedná o nejnákladnější možnost. Manipulátor Motoman GP25 od firmy Yaskawa splňuje téměř všechny parametry a náklady na pořízení jsou o něco nižší ne ž u robotů od firmy Fanuc. Jedná se tedy o střední cestu k automatizaci.

6.2 Systém přípravy polotovarů a odkládání obrobků

Pro to, aby robotická ruka byla schopna uchopit polotovar, je nutné mít přesně určenou polohu daného polotovaru. Poloha polotovaru může být jasně dána pomocí konstrukce a robot má pevně zapsané souřadnice každého polotovaru. Nebo je možné využít optický systém pomocí něhož robotická ruka najde polotovar a uchopí jej.

Konkrétní řešení lze navrhnout až na míru danému pracovišti. Pro návrh se využívá několik základních principů.

Dodávání polotovarů do dosahu robotického manipulátoru pomocí skluzu. Jedná se o konstrukci, kde se polotovary sesouvají nebo valí po nakloněné rovině až k dorazu. Robotický manipulátor odebere polotovar a na prázdné místo se sesune další polotovar. Místo nakloněné roviny se dá využít i pásový dopravník. Na místo dorazu se pak použije koncový spínač. Koncový spínač, ať mechanický nebo optický, vždy zastaví dopravník tak, aby byl polotovar vždy na stejném místě.

Tento systém je možné využít i pro odkládání hotových obrobků. Při sesouvání však hrozí potlučení a poškrábání výrobků.

Další možnost, jak připravit polotovary pro robotickou paži je založit je do rastru. Rastrem se rozumí plocha pravidelně rozdělená na buňky. Buňky mají přesně definovanou polohu, a polotovar v buňce musí mít jasně definovanou polohu vůči buňce. Poloha celého

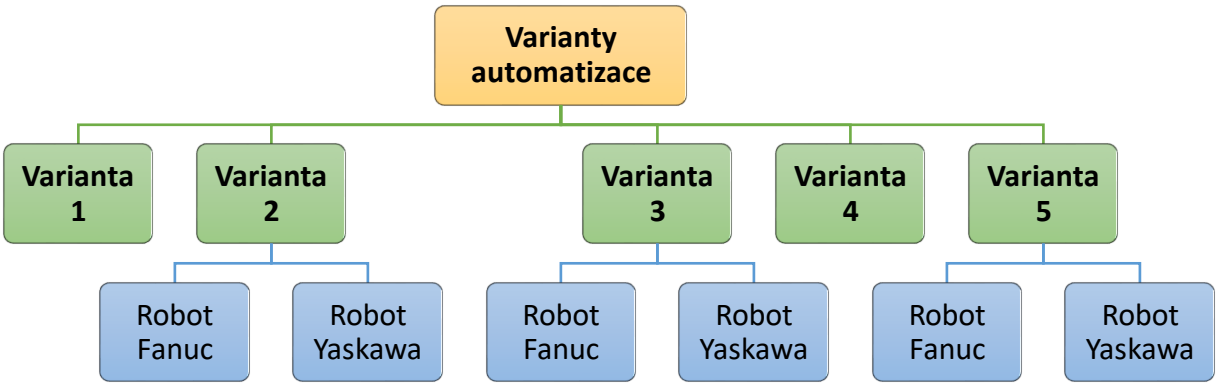
rastru je pak zaměřena vůči robotovi. Robot poté postupně odebírá polotovary z jednotlivých buněk, a do buněk vrací hotové obrobky. V pracovním prostoru robota se pak mění celé rastry.

Nejčastější provedení rastru je v podobě nakloněné plochy, na které jsou nějaké zarážky, o které se polotovar silou vlastní hmotnosti zarovná do jasně definované polohy. Další možnost konstrukce je rastr se čtyřhrannými otvory. Otvory jsou natočeny na koso, což má za následek, že polotovar se vlastní gravitací vždy zarovná do spodního rohu otvoru.

Nejpružnější možnost přípravy polotovarů je pomocí automatického vyhledávání polotovarů. Polotovary mohou být srovnané na paletě nebo volně ložené v bedně. Tyto polotovary jsou pak snímány optickým systémem, který detekuje polohu součástí a určuje pak polohu, na které manipulátor uchopí polotovar. Hlavní výhoda je, že není třeba další manipulace s polotovary, jako například přendávání do rastru. Kamerový systém, často v kombinaci se sondou měřící vzdálenost, je umístěný nad polotovary. Kamerový systém zaměřuje polohy polotovarů a určuje tak souřadnice, na kterých má robot uchopit polotovar.

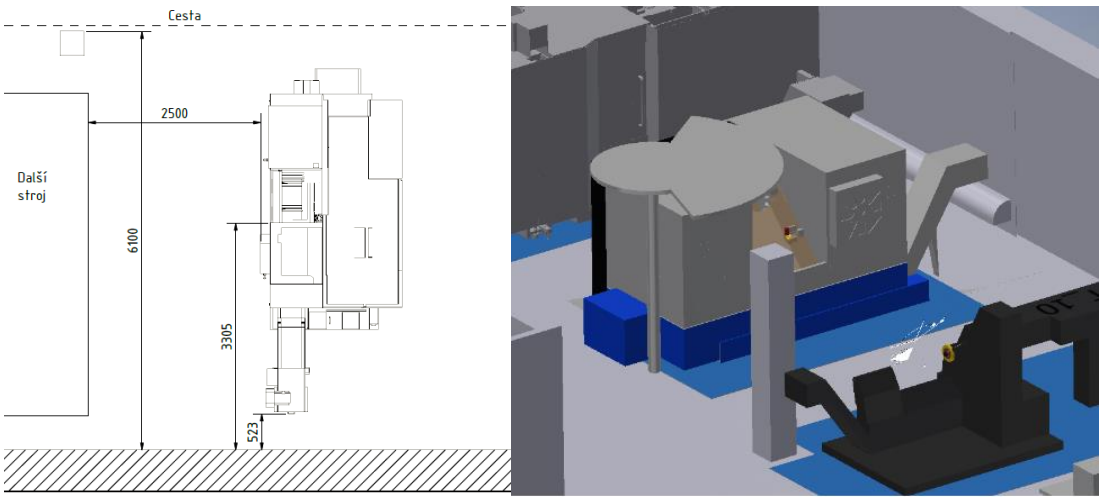
7 Automatizace procesu obrábění

Na začátku této kapitoly definuji současný stav vybraného pracoviště. Dále definuji prostor, který je vyhrazen pro Technologie realizující automatizaci. Cílem této kapitoly je navrhnout několik variant automatizace procesu obrábění. Detailně popsat rozložení jednotlivých návrhů a použitých technologií. Popsat proces od přivezení polotovarů k pracovišti až po odvezení hotových obrobků od pracoviště. Formou tabulky určím u každé varianty celkové náklady na realizaci automatizace.



Obrázek 37:Varianty automatizace

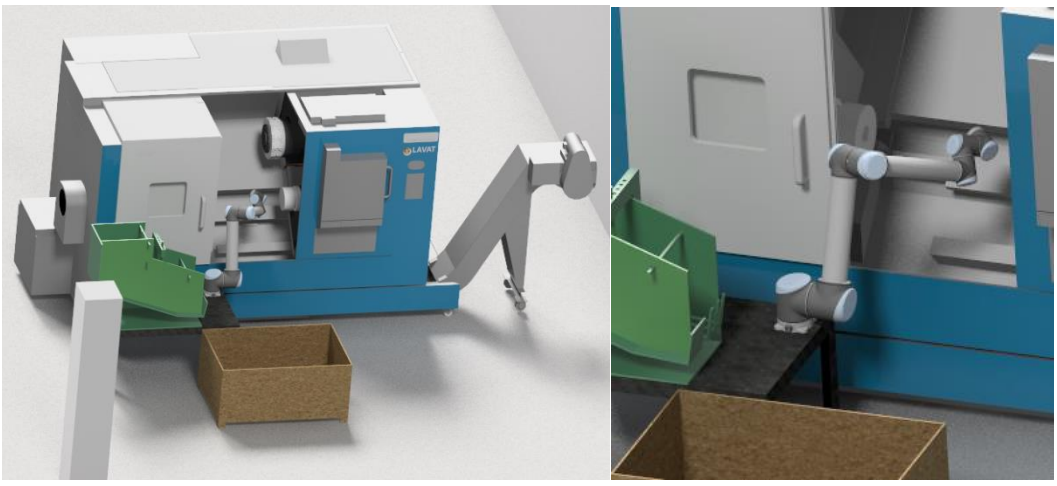
Prostor pro pracoviště je ze tří stran omezený pevnými hranicemi. Z jedné strany je stroj samotný. Před ním musí zůstat volný prostor v místě dveří a panelu pro obsluhu a pro seřizovače. Třísky jsou ze stroje odváděny pomocí pásového dopravníku. Dopravník ze stroje míří směrem ke stěně haly. Pod dopravníkem se mění bedny na třísky, ty se pak vyměňují z druhé strany. Před strojem je ve vzdálenosti 2,5 metru další stroj. Stroj je přístupný z druhé strany. Pracoviště je přístupné z jedné strany od hlavní cesty vedoucí přes celou halu. Tudy se ke stroji dodávají palety s polotovary a prázdné palety na hotové obrobky. Cesta je vytyčena po obou stranách a po celé délce haly sloupy. Z pracoviště tedy nesmí nic vyčnívat přes řadu sloupů. Nad soustruhem nepřejíždí žádný jeřáb, ani tam nejsou žádné jiné technologie, takže je nad celým pracovištěm volný prostor až do výšky 4,5 metrů. Maximální možný prostor, který může automatické pracoviště zabírat je obdélník o rozměrech 6,1 a 2,5 metrů.



Obrázek 38: Náčrt současného rozvržení pracoviště

7.1 Varianta 1

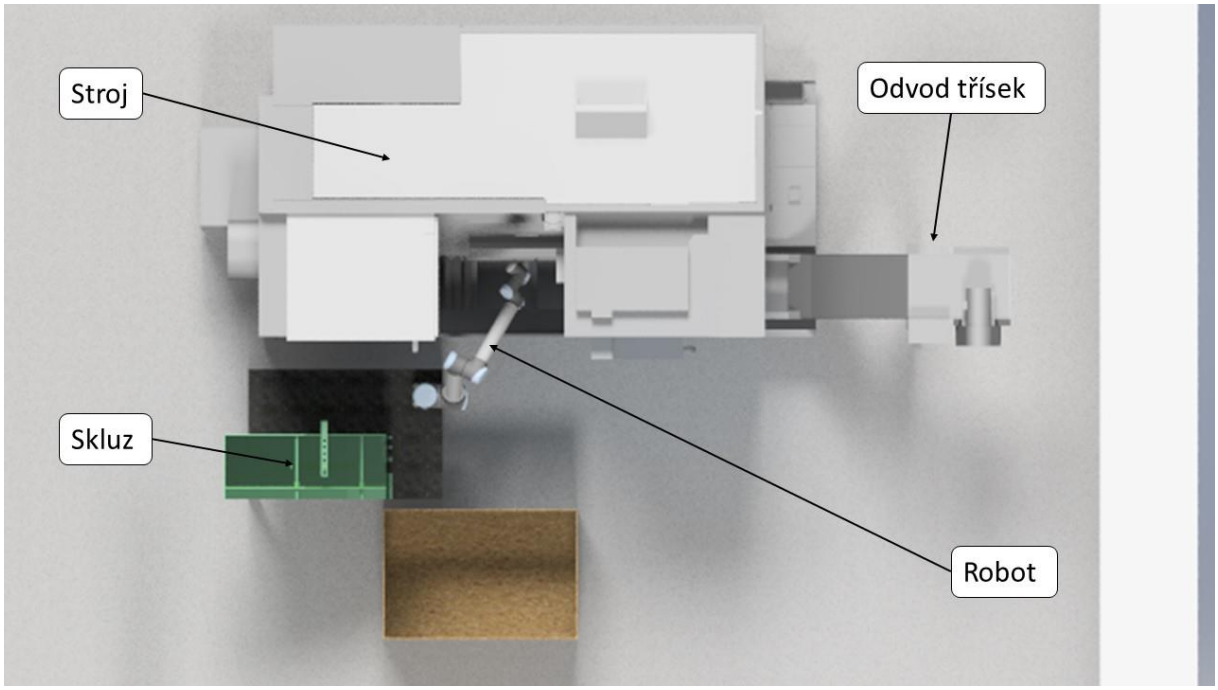
Pro první návrh budu uvažovat robota od firmy universal robot UR10. Robot je umístěn na pevném ocelovém stole před strojem, vlevo před prostorem, kam se odsouvají dveře. Robot je umístěn na rohu stolu nejblíže ke vstupu do stroje. Robot tak pohodlně dosáhne k hlavnímu vřetenu i k proti vřetenu. Zbytek stolu je volně přístupný od hlavní cesty, i proto může být dobře využit pro zásobování polotovary. Vzhledem k tomu že robot je kolaborativní, nemusí kolem něj být žádné klece ani optické závory. Přesto je vhodné znesnadnit přístup k robotovi pro ochranu robota samotného ale i obsluhy, aby se o robota neuhodila. Od cesty, kde se pořád pohybují lidé a vysokozdvižné vozíky je robot odstíněn stolem. Kolem stolu jsou umístěny palety nebo bedny na polotovary a hotové výrobky. Ty v podstatě vymezují prostor, kde se robot pohybuje.



Obrázek 39: Vizualizace 1. návrhu

V první variantě uvažuji zásobování polotovary pomocí skluzu. Skluz je navržen tak, aby byl snadno přestavitelný na libovolný průměr a délku kulatiny. Skládá se z pevného boku. Na bok je kolmo připevněna nakloněná rovina, po které se polotovary skulují až k zarážce u vrchu pevného boku jsou kulatiny, po kterých se posouvá druhý bok podle délky polotovaru. Nad oběma boky je vynesený čtyřhran s několika otvory. Podle délky polotovaru se vybere otvor přibližně nad středem polotovarů. V otvoru se pak pohybuje kulatina, na jejímž konci je lišta, která udržuje kulatiny na nakloněné rovině v jedné vrstvě. Vždy, když robot odebere polotovar, ostatní polotovary v zásobníku se po nakloněné rovině začnou pohybovat, dokud se nedovalí další polotovar až k zarážce. Takový zásobník je vhodný pouze pro kulaté polotovary, které jsou dlouhé alespoň jako je průměr polotovaru.

Pro polotovary s větším průměrem, než je délka je vhodný spíše nějaký rastr, do kterého je vhodné pokládat polotovary na čelo.



Obrázek 40: Půdorysný pohled na první návrh pracoviště s popisky

Pořizovací hodnota všech technologií pro sestavení tohoto pracoviště je velice nízká. Sestavení pracoviště je poměrně jednoduché, tudíž by bylo možné ho realizovat bez externí firmy. Z toho vyplývá, že je toto nejekonomičtější možná varianta. Vzhledem k tomu, že je robot kolaborativní pohybuje se poměrně pomalu. Omezená nosnost a aplikovaný skluz omezí portfolio vybraných výrobků. Z toho vyplývá, že tato varianta je poměrně málo efektivní. Díky tomu, že je robot kolaborativní a není zapotřebí žádné zabezpečení je pracoviště jen minimálně

zastavěno. Díky tomu je pracoviště stále téměř bez rozdílu využitelné jako neautomatizované. Díly, které pro automatizaci nejsou vhodné je na tomto pracovišti stále možné vyrábět.

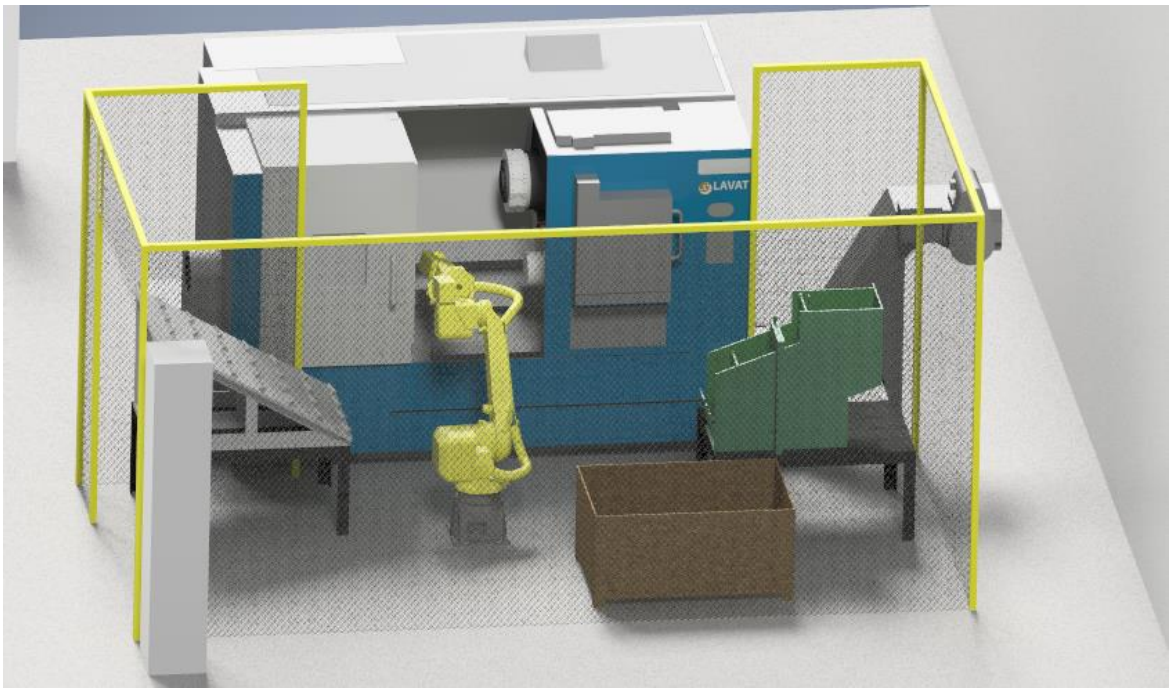
Tabulka 6: Rozpočet nákladů na pracoviště 1

Rozpočet nákladů na pracoviště 1	
Manipulátor	**650 000 Kč**
Příslušenství k robotovi	**80 000 Kč**
Software	**128 000 Kč**
Řídící jednotka	**62 000 Kč**
Bezpečnostní systém	**0 Kč**
Ostatní technologie	**26 000 Kč**
Konstrukce	**47 000 Kč**
Montáž a zprovoznění	**45 000 Kč**
Celkem	**1 038 000 Kč**

Jedná se tedy o automatizaci, která sice plně nesplňuje požadavky definované výše ale náklady na její realizaci jsou velice malé.

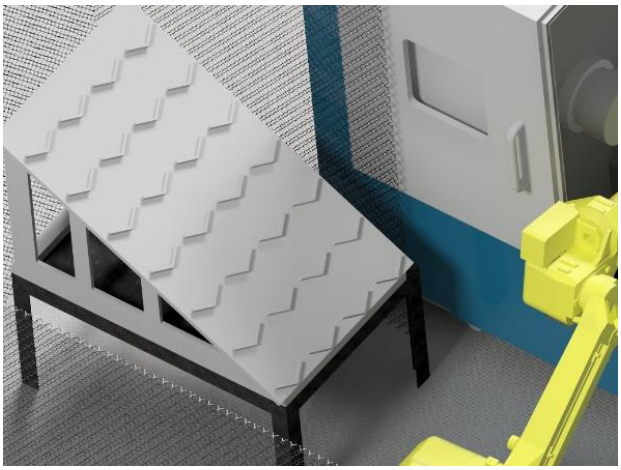
7.2 Varianta 2

Další varianta je podobná první variantě. Jen je místo kolaborativního robota UR10e použitý robot, který není určen pro spolupráci s člověkem. Konkrétně robot od firmy Fanuc typ M-20iA/35M. Tento robot je díky své nosnosti 35 kilogramů bez problému vhodný pro všechny vybrané výrobky. Zásadní rozdíl je v tom, že robot je nekolaborativní, a tudíž je zapotřebí zabezpečit robota tak, aby se k němu v pracovním režimu nemohl nikdo dostat. Kolem robota je tedy pevná zábrana ze žlutého pletiva. Robot má mnohem větší dosah a větší základnu, takže není umístěn na stole ale přímo na zemi. Mezi základnou robota a strojem je 90 cm mezera. Jestliže bude zapotřebí vyrábět výrobky bez použití automatizace, tak se robot odkloní na druhou stranu od stroje a obsluha může u stroje bez problému pracovat.



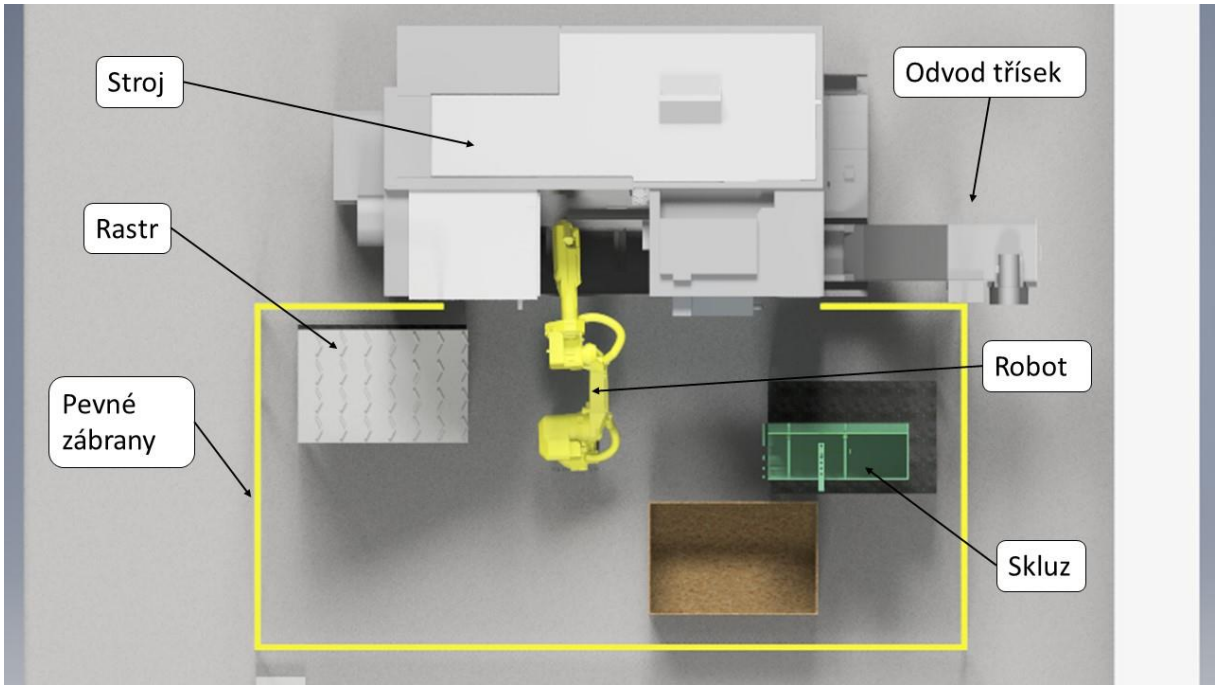
Obrázek 41: Vizualizace 2. návrhu

Pro zásobování se nabízí použít skluz i rastr, aby se pracoviště dalo zásobovat, pokud možno co nejvíce druhy polotovarů. Skluz navrhuji použít stejný, jako u návrhu první varianty. Je vhodný pouze pro válcové polotovary, které mají délku větší, než je průměr polotovaru. Pro polotovary, které mají délku menší, než je průměr polotovaru navrhuji použít rastr. Rastr by se skládal ze základny, a k ní na pevno přidělané šikmé desky. Na desce by byly v řadách zarážky ve tvaru šipek směřujících dolů po desce. Šipky by tak tvořily prizma, do kterého polotovar vlastní vahou zapadne, a tím je definována poloha každého polotovaru. Zarážky jsou od sebe tak daleko, aby se na ně dal umístit polotovar až do průměru 170 milimetrů. Zarážky jsou však 20 milimetrů vysoké. To znamená, že polotovary kratší než 30 milimetrů může být problém uchopit. Tento typ rastru je primárně vhodný pro válcové polotovary. Vzhledem k tomu, že rozevření prizma má úhel 120°, byl by tento typ rastru použitelný i pro přířezy z šestihranných tyčí. Na rastru by bylo dohromady 38 pozic pro polotovary, v sedmi řadách vždy čtyři v řadě. Nevýhodou je, že v případě malých polotovarů je na rastru velké množství nevyužité plochy, protože v každé pozici může být vždy jen jeden polotovar. Obrobené díly robot ze stroje odkládá zpět na volná místa v rastru.



Obrázek 42: Zásobník na polotovary v podobě rastru.

Obsluha pak musí vejít do pracovního prostoru robota a vyměnit obrobené díly za polotovary. Po dobu, kdy je obsluha v pracovním prostoru robota je nutné, aby byl robot nečinný. Jestliže je doby obrábění jednoho dílu dostatečně dlouhá, je možné doplnit zásobník polotovarů během toho, kdy stroj pracuje. Navíc díky dlouhé době obrábění vydrží zásoba polotovarů déle. Doba doplňování polotovarů je tedy zanedbatelná. Jestliže je čas obrábění jednoho dílu krátký, je třeba rastr často doplňovat. Kvůli tomu je pak robot i stroj často v nečinnosti. Čím častěji je se zásobník doplňuje, tím výrazněji se doba doplňování promítne jako ztrátová do celkového času.



Obrázek 43: Půdorysný pohled na druhý návrh pracoviště s popisky

Pro úsporu času doplňování polotovarů je možné použít kamerový systém pro monitorování pracoviště. Robot pak může částečně pracovat jako kolaborativní. Kamerový systém monitoruje polohu robota a zároveň polohu pracovníka. V případě, že by hrozilo nebezpečí kontaktu, robot se zastaví. Aby se robot stihl zastavit, je nutné, aby se pohyboval dostatečně pomalu. V praxi to může fungovat tak, že robot funguje ve standartním režimu a v případě, že obsluha otevře dveře od klece, aktivuje se kamerový systém a robot funguje jako kolaborativní. Obsluha pak může doplňovat zásobník a v moment, kdy robot odkládá obrobený díl do rastru a uchopuje polotovar, obsluha odstoupí do bezpečné vzdálenosti. Poté, co je robot mimo prostor zásobníku obsluha k němu opět může přistoupit. I v případě, že by obsluha neodstoupila nebo se jinak dostane do dráhy robota, robot se zastaví. Dokud obsluha neodstoupí robot nečinně stojí. Takový systém je však poměrně nákladný a na jeho seřízení je potřeba najmout externí firmu, což daný systém dále prodraží.

Tabulka 7: Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (F) a 2 (Y)

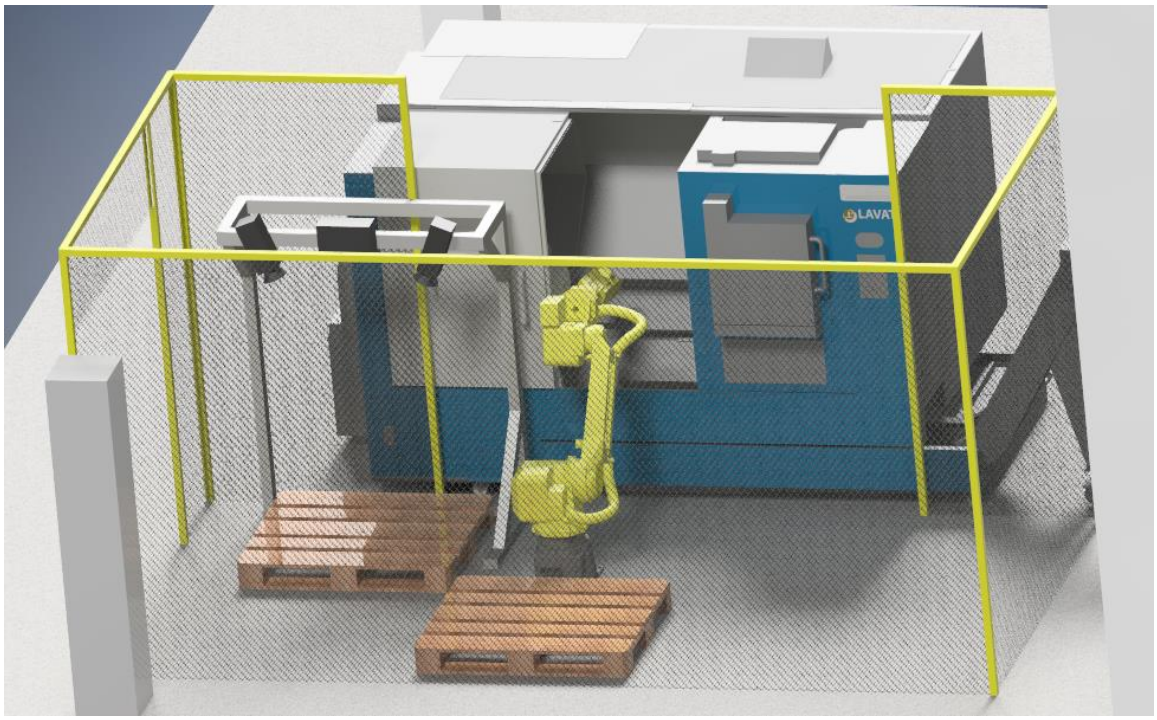
Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (F)	
Manipulátor	1 745 000 Kč
Příslušenství k robotovi	247 000 Kč
Software	375 000 Kč
Řídící jednotka	409 000 Kč
Bezpečnostní systém	280 000 Kč
Ostatní technologie	326 000 Kč
Konstrukce	603 000 Kč
Montáž a zprovoznění	316 000 Kč
Celkem	4 301 000 Kč

Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (Y)	
Manipulátor	985 000 Kč
Příslušenství k robotovi	189 000 Kč
Software	213 000 Kč
Řídící jednotka	230 000 Kč
Bezpečnostní systém	280 000 Kč
Ostatní technologie	326 000 Kč
Konstrukce	603 000 Kč
Montáž a zprovoznění	247 000 Kč
Celkem	3 073 000 Kč

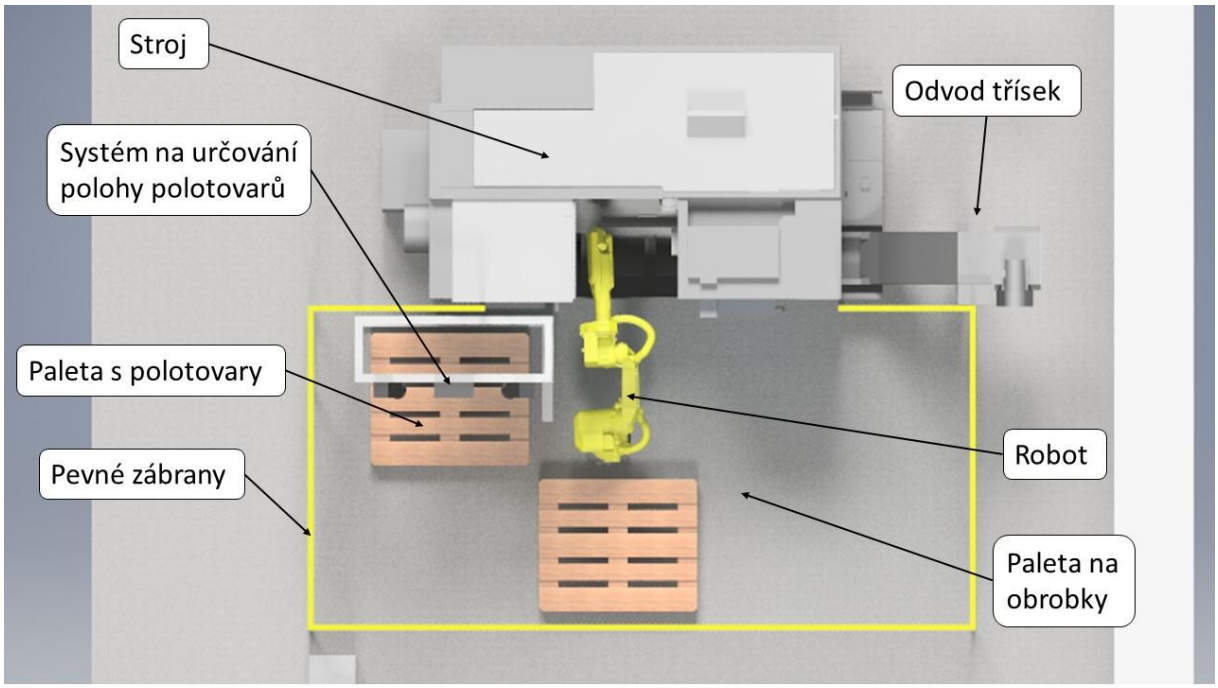
Robot od firmy Fanuc patří k nejdražším svého typu. Správné zabezpečení pracoviště vyžaduje velké množství čidel a senzorů a k nim řídící elektroniky. Ovládání celého automatického pracoviště tak bude i složitější. Pořízení pracoviště s robotem M20iA od firmy Fanuc bude výrazně nákladnější než předchozí varianta. Toto pracoviště však bude mnohem výkonnější nejen díky vyšší nosnosti robota, ale i díky tomu, že v běžném pracovním režimu bode pracovat mnohem rychleji. Rychlost pohybů klasického robota v běžném pracovním režimu je omezena pouze maximálním výkonem motorů a stiskem čelistí, které drží břemeno. Při pohybu břemenem vznikají setrvačné síly, které v některých případech vytahují břemeno z čelistí. Proto musí být při některých pohybech rychlost robota omezena. Hlavně jestliže robot přemisťuje polotovar s hmotností blížící se maximální nosnosti robota a koncového efektoru.

7.3 Varianta 3

Další návrh pracoviště je téměř totožný jako předchozí. Pro tento návrh je použitý stejný manipulátor, typ M-20iA/35M od firmy Fanuc. Hlavní změna je ve způsobu zásobování polotovary. Pro minimalizaci času přeprogramování pracoviště na jiný výrobek je zde použito automatické vyhledávání polotovarů. Zároveň je tímto systémem eliminován čas na přemístění polotovarů do zásobníků, protože pod kamerový systém se umístí paleta, na kterou se narovnají polotovary přímo při řezání polotovaru. Robot pak hotové výrobky vyjmuté ze stroje může rovnat na prázdnou paletu podle naprogramovaného rozmístění.



Obrázek 44: Vizualizace 3. návrhu



Obrázek 45: Půdorysný pohled na třetí návrh pracoviště s popisky

Kamerový systém je umístěn na konstrukci tak aby se pod něj vešla paleta s výrobky. Skládá se ze dvou kamer umístěných po stranách konstrukce a mezi nimi se nachází zařízení měřící vzdálenost. Software pak dokáže pomocí vyhodnocení obrazu ze dvou kamer určit polohu polotovaru v prostoru. Senzor na měření vzdálenosti pak upřesní polohu polotovaru ve vertikálním směru. Paleta na odkládání výrobků nemusí být monitorována, protože software předpokládá, že na začátku je paleta prázdná a zná výšku plochy, na kterou je výrobek pokládán a výšku výrobku. Z toho odvodí výšku odkládací plochy každé další vrstvy. Takto na sebe stohovat výrobky je možné jen u stohovatelných výrobků, mezi které není potřeba dávat proklad, není-li tomu tak, je nutné každou vrstvu polotovarů odebrat nebo na ní položit nějakou desku. Jedna z nevýhod kamerového systému je, že je poměrně náchylný na světelné podmínky. Je tak často nutné pracoviště vybavit přídavným světelný zdrojem, nebo naopak zastínit jiné výrazné nebo proměnlivé zdroje světla. Další nevýhodou jsou polotovary z materiálů jako je nerez nebo hliník. Mohou odrážet světlo a vznikají tak odlesky, které mohou vnést chybu do vyhodnocování obrazu.

Obrázek 46: Systém pro určení polohy polotovaru

Tato varianta automatizovaného pracoviště dosahuje maximální pružnosti automatizace. Všechny použité zařízení jsou však velice nákladné. Právě systém vyhledávání polotovarů velice zvedne náklady nejen kvůli poměrně drahým technologiím softwarům ale i kvůli poměrně složitému odladění systému.

Tabulka 8: Rozpočet nákladů na pracoviště 3 (F) a 3 (Y)

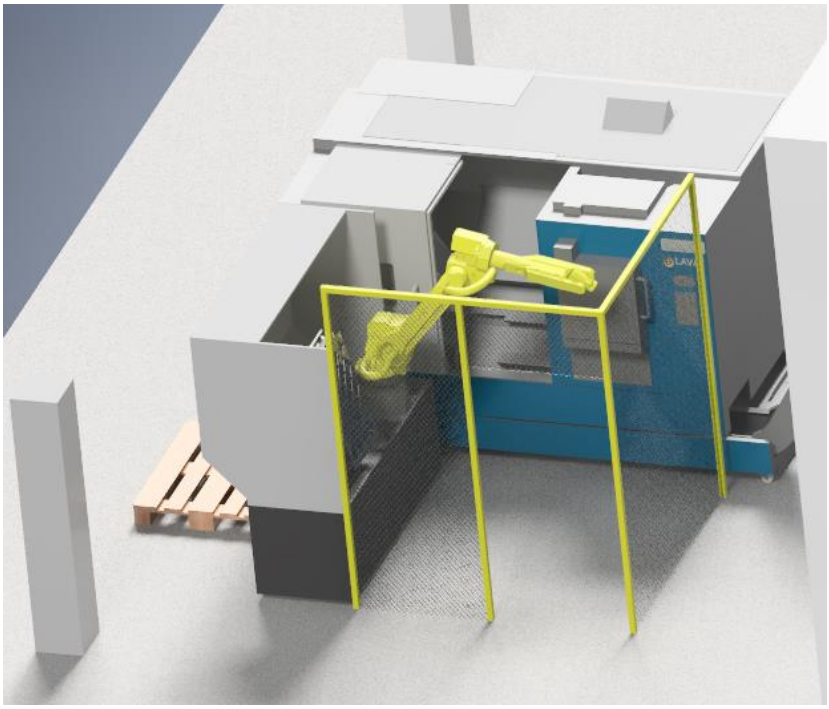
Rozpočet nákladů na pracoviště 3 (F)	
Manipulátor	1 745 000 Kč
Příslušenství k robotovi	247 000 Kč
Software	375 000 Kč
Řídící jednotka	409 000 Kč
Bezpečnostní systém	280 000 Kč
Ostatní technologie	658 000 Kč
Konstrukce	573 000 Kč
Montáž a zprovoznění	362 000 Kč
Celkem	4 649 000 Kč

Rozpočet nákladů na pracoviště 3 (Y)	
Manipulátor	985 000 Kč
Příslušenství k robotovi	189 000 Kč
Software	213 000 Kč
Řídící jednotka	230 000 Kč
Bezpečnostní systém	280 000 Kč
Ostatní technologie	658 000 Kč
Konstrukce	573 000 Kč
Montáž a zprovoznění	362 000 Kč
Celkem	3 490 000 Kč

Zároveň je tato varianta poměrně náročná na programování každého nového výrobku. Z toho vyplívá že poměrně výrazně stoupnou náklady na provoz celého pracoviště.

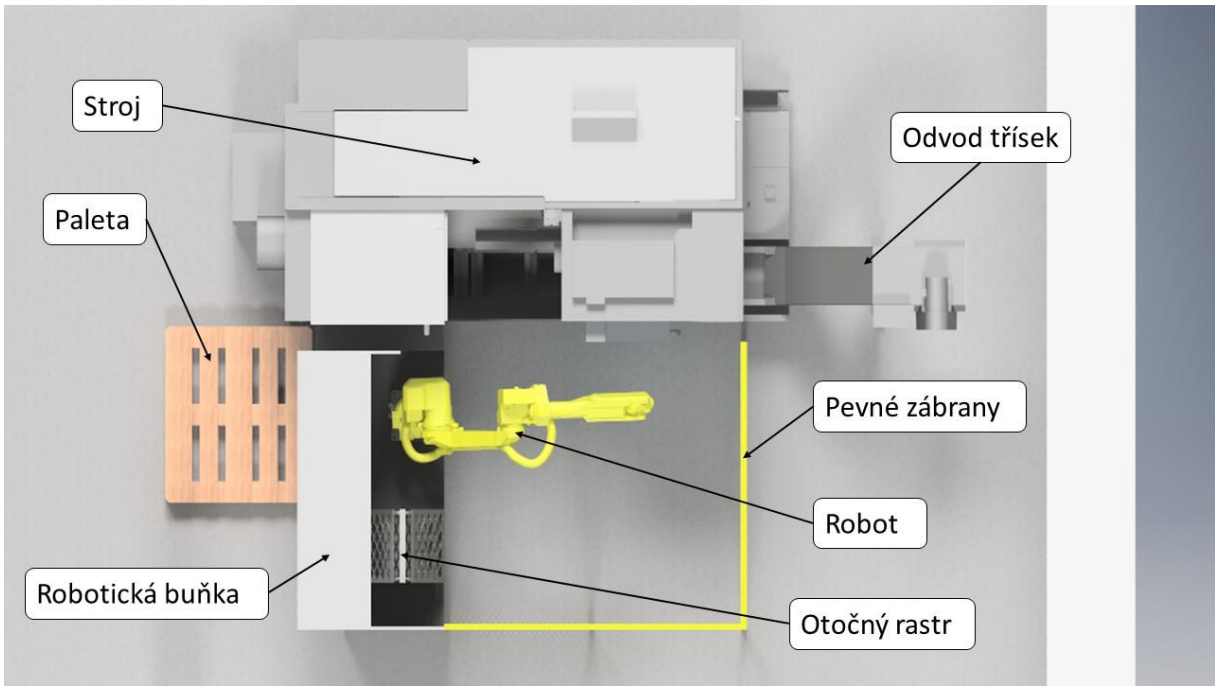
7.4 Varianta 4

Další varianta automatizace je s použitím robotické buňky od firmy Tecnotrade. U tohoto pracoviště je opět využitý robot od firmy Fanuc. Tato buňka v sobě zahrnuje i řešení dodávání polotovarů do pracovního prostoru stroje. Buňka by byla postavená u stroje nalevo hned vedle vstupu do pracovního prostoru stroje. Buňka tak bude natočena zády k hlavní cestě a odtud se budou doplňovat polotovary do robotické buňky.



Obrázek 47: Vizualizace 4. návrhu

Zásobování polotovary je v robotické buňce řešeno pomocí otočného stolu. Na otočném stole jsou dva proti sobě skloněné rastry. Systém pak pracuje tak, že do jednoho rastru se narovnají polotovary. Otočný stůl se otočí, čímž se rastry vymění. Robot pak postupně vkládá polotovary do stroje a obrobené díly vkládá zpět na volná místa do rastru. Mezitím se do druhého rastru naskládají další polotovary. Poté co jsou obrobené všechny polotovary z prvního rastru rastry se opět vymění. Z prvního rastru se hotové výrobky přendají na paletu, vloží se do něj opět další polotovary. Tento postup se pak opakuje.



Obrázek 48: Půdorysný pohled na čtvrtý návrh pracoviště s popisky

Tento návrh automatizace pracoviště pomocí robotické buňky je poměrně jednoduše proveditelný. Robotická buňka v sobě má téměř všechny technologie potřebné pro realizaci automatizace pracoviště. Robotická buňka svou konstrukcí zamezí přístup na pracoviště od hlavní cesty, zbylé dvě strany se zajistí pomocí plotu. Tím, že jsou všechny technologie umístěny v robotické buňce stačí, když je zabezpečen poměrně malý prostor před vstupem do stroje, ve kterém se pohybuje robotická ruka. Nevýhoda tohoto uspořádání je v tom, že ke stroji je pak poměrně stísněný přístup, protože mezi robotickou buňkou a sousedním strojem je průchod jen šedesát centimetrů. Navíc tento systém zásobování polotovarů by nevyhovoval výrobkům typu deska, které mají velký průměr a malou délku. Aby se mohla automatizace uplatnit i na tyto výrobky, bylo by za potřebí vytvořit v prostoru stroje další systém zásobování polotovary.

Tabulka 9: Rozpočet nákladů na pracoviště 4

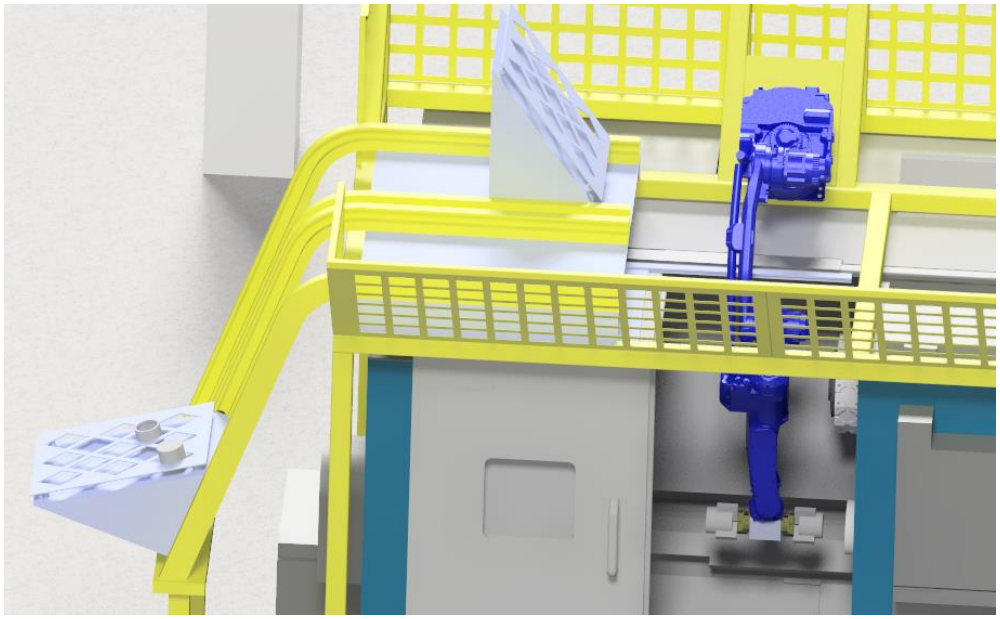
Rozpočet nákladů na pracoviště 4	
Robotická buňka	**2 146 000 Kč**
Příslušenství k robotovi	**247 000 Kč**
Software	**375 000 Kč**
Řídící jednotka	**0 Kč**
Bezpečnostní systém	**20 000 Kč**
Ostatní technologie	**86 000 Kč**
Konstrukce	**334 000 Kč**
Montáž a zprovoznění	**467 000 Kč**
Celkem	**3 675 000 Kč**

7.5 Varianta 5

Pátý návrh byl vytvořen ve spolupráci s firmou, která má s automatizací obsluhy obráběcích strojů dlouholeté zkušenosti. Na první pohled patrná největší odlišnost od ostatních variant je, že kolem obráběcího stroje je konstrukce, která drží platformu nad strojem. Na této platformě je robot MOTOMAN GP25 od firmy Yaskawa. Tento robot má nosnost 25 kilogramů. Pro tento návrh je možné použít také robota od firmy Fanuc. Naopak robot od firmy Yaskawa je možné použít pro druhý a třetí návrh. Robot je umístěn šikmo směrem do pracovního prostoru stroje tak, aby se tam lépe dostal. Díky tomu, že se robot pohybuje jen nad strojem a v prostoru stroje nemusí být žádné zabezpečení. Kolem platformy nad strojem je zabezpečení z důvodu, kdyby z rastru nebo z efektoru z nějakého důvodu vypadl polotovar nebo obrobený výrobek.

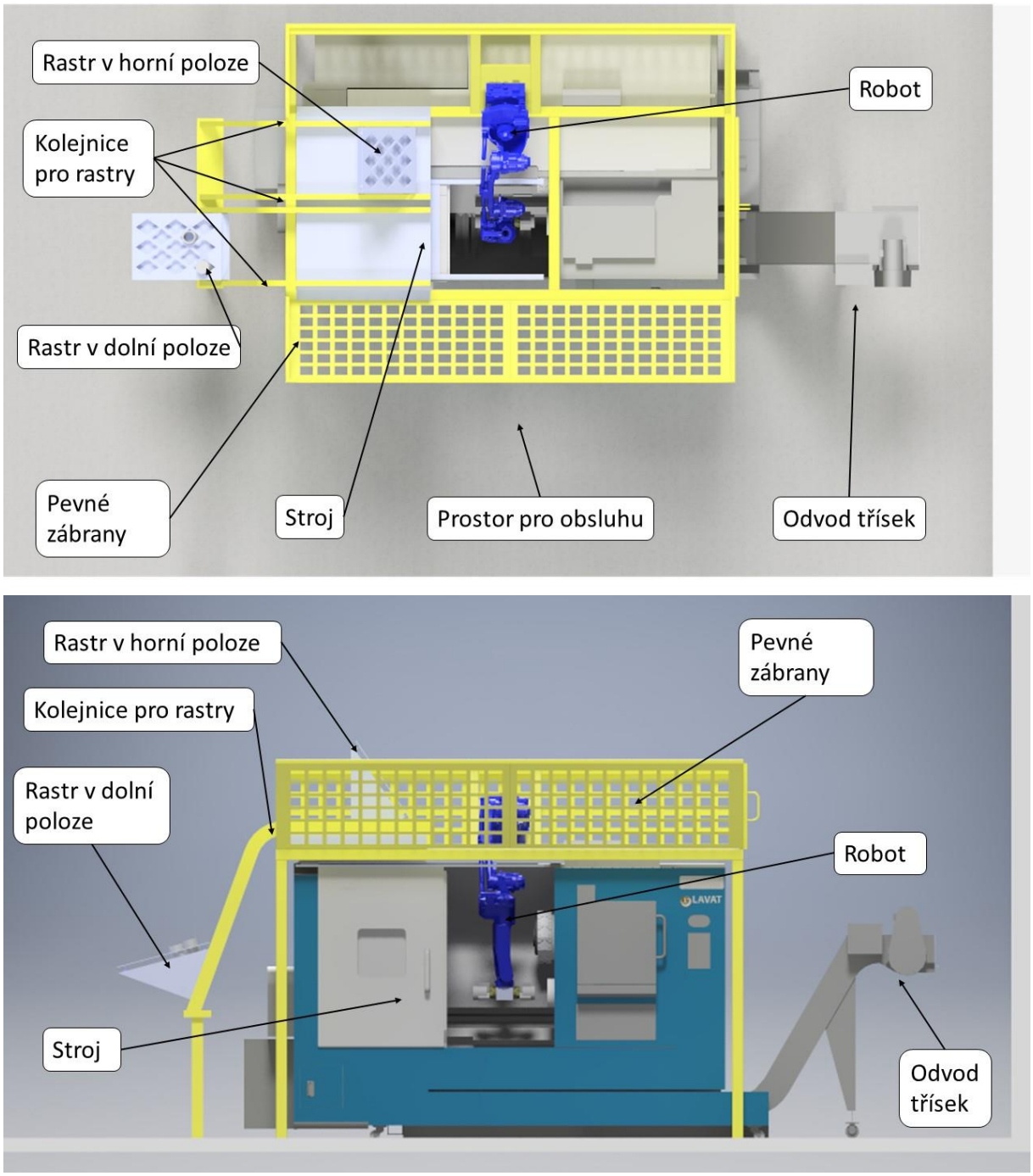
Obrázek 49: Vizualizace 5. návrhu

Přísun polotovarů k robotické paži je zajištěn pomocí dvou rastrů inspirovaných rastrem v robotické buňce v předešlém návrhu. Rastry jsou také šikmé. Jejich sklon však není tak strmý, díky čemuž je použitelný i pro kratší polotovary typu deska. Rastr je tedy nakloněná rovina, na níž se připevní deska s otvory kosočtvercového tvaru. Desku je možné připevnit přes různé distance a je možné jich takto připevnit na rastr více, díky čemuž se může rastr přizpůsobit různým délkám polotovarů. Rastry se plní vedle stroje a po kolejnicích jsou poté vytaženy na platformu k robotickému ramenu. Rastr je vytahován pomocí řetězového dopravníku hnaného krokovým motorem. Na začátku výroby se naplní oba rastry polotovary a vytáhnou se na platformu. V momentě, kdy se jeden rastr vyprázdní, sjede opět z platformy. Z rastru se vyjmou hotové výrobky a opět se do něj naskládají polotovary. Rastr se vytáhne opět na platformu. Takto se oba rastry střídavě doplňují, a je tak možný téměř nepřetržitý provoz. V některých případech se obrobený výrobek výrazně liší od polotovaru a není tak možné ho vložit zpět do stejného rastru. Pro tyto výrobky je možné jeden rast přizpůsobit pro polotovary a druhý pro obrobené výrobky. Rastry se pak vytahují a spouštějí současně.



Obrázek 50: Zásobování polotovary pomocí rastrů na kolejnicích

Toto rozvržení zabere minimálně prostoru kolem stroje. Naprostá většina konstrukce se nachází v prostoru nad strojem. Tento prostor by stejně nebyl nijak využitelný, proto se dá prostor před strojem využít například pro odkládání palet s polotovary a s hotovými výrobky nebo pro police na odkládání nástrojů a ostatního příslušenství pro obsluhu pracoviště. Díky tomu, že automatizace pracoviště téměř nijak neomezí prostor před strojem, je možné kdykoliv toto pracoviště využít i s lidskou obsluhou. To je ideální pro případ, že by v budoucnu výrazně ubyla poptávka na díly vhodné pro automatizaci.



Obrázek 51: Půdorysný a nárysný pohled na pátý návrh pracoviště s popisky

Presto že je součástí této varianta poměrně složitá konstrukce kolem celého stroje, není tato varianta zdaleka nejnákladnější. Náklady na, i takto složitou konstrukci jsou téměř zanedbatelné, v porovnání s náklady na pořízení manipulátoru a ostatních technologií. Výraznou položkou celkových nákladů je systém na přísun polotovarů, který je poměrně složitý, protože je potřeba dostat polotovary nad stroj k manipulátoru.

Tabulka 10: Rozpočet nákladů na pracoviště 5 (F) a 5 (Y)

Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (F)	
Manipulátor	1 745 000 Kč
Příslušenství k robotovi	247 000 Kč
Software	375 000 Kč
Řídící jednotka	409 000 Kč
Bezpečnostní systém	144 000 Kč
Ostatní technologie	456 000 Kč
Konstrukce	437 000 Kč
Montáž a zprovoznění	323 000 Kč
Celkem	4 136 000 Kč

Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (Y)	
Manipulátor	985 000 Kč
Příslušenství k robotovi	189 000 Kč
Software	213 000 Kč
Řídící jednotka	230 000 Kč
Bezpečnostní systém	144 000 Kč
Ostatní technologie	456 000 Kč
Konstrukce	437 000 Kč
Montáž a zprovoznění	247 000 Kč
Celkem	2 901 000 Kč

Mezi variantami jsou poměrně velké rozdíly, které se výrazně promítají do nákladů na pořízení jednotlivých variant. Se stoupajícími náklady však stoupá efektivita jednotlivých variant, tudíž je zachován stále podobný poměr nákladů a efektivity. Nejméně nákladná je první varianta s manipulátorem od firmy Universal robot. Naopak nejvyšší efektivitu a s tím spjaté i nevyšší náklady jsou u varianty tři. Třetí varianta v sobě obsahuje velmi nákladné technologie především jestliže se využije robot od firmy Fanuc.

8 Technicko-ekonomické zhodnocení

Tato kapitola je věnována výběru vhodného návrhu automatizace pracoviště. Výběr varianty je závislý na několika kritériích, proto v úvodu definuji tato kritéria. Jednotlivým kritériím přidělím váhu podle toho, jak jsou důležitá. Dále určím stupnici jejich hodnocení. Pomocí zvolené stupnice ohodnotím jednotlivá kritéria u každé varianty rozvržení pracoviště. Výsledkem tohoto zhodnocení bude vybrané pracoviště s ideálním poměrem mezi výší nákladů a splněním všech zadaných požadavků.

Technickoekonomické zhodnocení v sobě zahrnuje zhodnocení z pohledu několika parametrů jak ekonomického, tak i technického charakteru. Jeden z nejdůležitějších je výše nákladů na vznik daného pracoviště. Další kritéria jsou spíše technického charakteru, důležité technické kritérium je univerzálnost pracoviště. Jinak řečeno, kolik z vybraných výrobků je možné pomocí automatizovaného procesu obrábět. Další je, do jaké míry automatizace omezí prostor kolem stroje, a naopak kolik místa zbyde pro jiné využití. Důležité je také zhodnotit kontinuálnost přísunu polotovarů k robotovi, případně více práce s tím spjaté. Poslední a neméně důležité je zhodnocení kvality robotického manipulátoru. Rychlost a přesnost s jakou se umí robot pohybovat.

Podle každého kritéria přiřadím ke každé variantě body od jedné do deseti. Deset znamená, že dané kritérium splňuje nejlépe, a naopak jedna znamená, že ho splňuje nejméně. Body jednotlivým variantám přidělím na základě popisu jednotlivých variant. Jediné kritérium, které mu jde přidělit body na základe výpočtu je návratnost investice. U tohoto kritéria si zvolím jako nejlepší návratnost tři roky, to odpovídá deseti bodům. Jako nejhorší návratnost pak zvolím osm let, to odpovídá jednomu bodu. Ostatním kritériím přidělím body podle objektivního ohodnocení. U variant 2,3,5 beru v úvahu, že je možné požít buď manipulátor od firmy Fanuc i Yaskawa. To se však projeví pouze u dvou kritérií, u nákladů a kvality robota. Každému kritériu přidělím váhu v podobě koeficientu podle toho, jak důležité je dané kritérium pro rozhodování. Součet koeficientů se rovná jedné.

Zhodnocení variant provedu pomocí tabulky. Do prvního sloupce tabulky vypíšu jednotlivá kritéria, do druhého váhy jednotlivých kritérií. Následujících osm sloupců představuje jednotlivé varianty, pět variant a u 2., 3. a 5. varianty uvažuji dva různé manipulátory. Tyto varianty odliším písmenem v závorce (F) u Robota od Fanucu a (Y) u robota od Yaskawa.

8.1 Ekonomické hodnocení

Ve spolupráci s technology ve firmě Lavat určím roční úsporu nákladů na provoz pracoviště, vzhledem k tomu že ostatní náklady jsou poměrně malé budu uvažovat pouze mzdy programátorů a obsluhy pracoviště. Z nákladů na vznik pracoviště a roční úspory vypočítám návratnost investice u každé varianty. Návratnost vypočítám pomocí vzorečku na výpočet doby návratnosti.

$$t = \frac{Celková\ investice}{Průměrné\ roční\ úspory}$$

Kde t = Doba návratnosti, C_0 = Počáteční investice, øCF = Průměrné roční úspory.

8.1.1 Návratnost investice do 1. varianty

Programování a seřizování technologií požitých pro první návrh je poměrně snadné, a proto to zabere poměrně málo času navíc. Náklady na čas programátora strávený programováním odpovídají přibližně 5 000 Kč měsíčně. Naopak automatizace uspoří čas na obsluhy stroje který může být věnován jinému pracovišti nebo nemusí být zaplacen, pracoviště produkuje výrobky i nějakou dobu po konci pracovní doby. U tohoto návrhu činí úspora přibližně 20 000 Kč měsíčně. Roční úspory činí přibližně 180 000Kč

Tabulka 11: Roční úspory varianty 1

Roční úspory varianty 1	
programátor měsíčně	- 5 000 Kč
obsluha měsíčně	20 000 Kč
celkem za rok	180 000 Kč

$$t_1 = \frac{1\ 038\ 000}{180\ 000} = 5{,}77\ roků$$

Přesto že náklady na tento návrh automatizace jsou minimální je návratnost investice téměř šest let. To je způsobeno tím, že je méně efektivní a není využitelné pro všechny výrobky, a tudíž bude i poměrně významnou dobu neaktivní.

8.1.2 Návratnost investice do 2. varianty

U této varianty je navrhnutý složitější tip manipulátoru a univerzálnější způsob dodávání polotovarů. Programování a seřizování technologií požitých pro tento návrh je složitější, a proto

to zabere přibližně dvojnásobek času. Náklady na čas programátora strávený programováním odpovídá přibližně 10 000 Kč měsíčně. Automatizace uspoří hodně času obsluze stroje takto automatizované pracoviště může pracovat i celou následující směnu jen s minimální asistencí. Díky tomu je úspora na mzdě obsluhy až 60 000 Kč. Roční úspora pak dosahuje přibližně 600 000 Kč.

Tabulka 12: Roční úspory varianty 2

Roční úspory varianty 2	
programátor měsíčně	- 10 000 Kč
obsluha měsíčně	60 000 Kč
celkem za rok	600 000 Kč

$$t_{2(F)} = \frac{4\,301\,000}{600\,000} = 7{,}17\ rok\text{ů}$$

$$t_{2(Y)} = \frac{3\,073\,000}{600\,000} = 5{,}76\ rok\text{ů}$$

Tato varianta je použitelná s robotem od firmy Fanuc i s robotem od Yaskawa. V obou případech je úspora stejná ale počáteční náklady se poměrně výrazně liší z toho důvodu se liší i doba návratnosti. U varianty s robotem Fanuc je návratnost přes sedm let a s robotem Yaskawa necelých šest.

8.1.3 Návratnost investice do 3. varianty

Tato varianta je složena s velice složitých technologií, které jsou sice velice samostatné ale je poměrně složité je naprogramovat. Proto je částka odpovídající času programování a seřizování požitých technologií 15 000Kč za měsíc. Naproti tomu jsou technologie samostatnější a je minimalizovaný čas obsluhy na minimum a pracoviště může pracovat i na dvousměnný provoz jen s minimální obsluhou je úspora až 80 000 Kč měsíčně. Roční úspora pak činí až 780 000 Kč.

Tabulka 13: Roční úspory varianty 3

Roční úspory varianty 3	
programátor měsíčně	- 15 000 Kč
obsluha měsíčně	80 000 Kč
celkem za rok	780 000 Kč

$$t_{3(F)} = \frac{4\ 649\ 000}{780\ 000} = 5{,}96\ rok\text{ů}$$

$$t_{3(Y)} = \frac{3\ 490\ 000}{780\ 000} = 4{,}47\ rok\text{ů}$$

Stejně jako předchozí návrh je tento použitelný s robotem od firmy Fanuc i s robotem od Yaskawa. A také je v obou případech úspora stejná ale počáteční náklady se poměrně výrazně liší a proto se liší i doba návratnosti. I přesto že jsou náklady v obou případech této varianty vyšší, než u předchozí je návratnost kratší, protože úspory jsou větší. U varianty s robotem Fanuc je návratnost šest let a s robotem Yaskawa necelých čtyři a půl roku.

8.1.4 Návratnost investice do 4. varianty

Tato varianta se od ostatních výrazně liší tím že hlavní technologie použité pro automatizaci jsou součástí robotické buňky. Díky tomu že buňka je zhotovena přesně pro účely, pro které je i použita je poměrně snadné ji naprogramovat. Proto je částka odpovídající času programování a seřizování robotické buňky pouhých 5 000 Kč měsíčně. Ale právě kvůli tomu že robotickou buňku nelze přesně přizpůsobit přesně danému portfoliu výrobku je úspora o něco nižší a činí 60 000 Kč měsíčně. Roční úspora pak činí až 660 000 Kč.

Tabulka 14: Roční úspory varianty 4

Roční úspory varianty 4	
programátor měsíčně	- 5 000 Kč
obsluha měsíčně	60 000 Kč
celkem za rok	660 000 Kč

$$t_4 = \frac{3\ 675\ 000}{660\ 000} = 5{,}57\ rok\text{ů}$$

Vzhledem k tomu že je tato robotická buňka dodávaná pouze s robotem od firmy Fanuc není možné použít jiný manipulátor. Náklady i úspora této varianty automatizace jsou vzhledem k ostatním variantám průměrné proto i doba návratnosti je průměrná, a to něco málo přes pět a půl roku.

8.1.5 Návratnost investice do 5. varianty

Tato varianta je výrazně odlišná od všech předchozích, protože se naprostá většina technologií použitých pro automatizaci nachází nad obráběcím strojem. Jinak je automatizace podobá druhé variantě. Proto je částka odpovídající času programování a seřizování požitých technologií totožná s druhou variantou a tudíž 10 000Kč za měsíc. Odlišné umístění technologií však sebou nese několik výhod pro obsluhu, a proto je úspora o něco vyšší a to 70 000 Kč měsíčně. Roční úspora pak činí až 780 000 Kč.

Tabulka 15: Roční úspory varianty 5

Roční úspory varianty 5	
programátor měsíčně	- 10 000 Kč
obsluha měsíčně	70 000 Kč
celkem za rok	720 000 Kč

$$t_{3(F)} = \frac{4\ 649\ 000}{720\ 000} = 5{,}75\ rok\text{ů}$$

$$t_{3(Y)} = \frac{3\ 490\ 000}{720\ 000} = 4{,}03\ rok\text{ů}$$

Stejně jako druhý a třetí návrh je tento použitelný s robotem od firmy Fanuc i s robotem od Yaskawa. A také je v obou případech úspora stejná ale počáteční náklady se poměrně výrazně liší a proto se liší i doba návratnosti. Přesto že je konstrukce držící technologie nad strojem poměrně nákladná je mnohem jednoduší realizovat bezpečnostní systém, díky tomu jsou náklady na vznik pracoviště o troch nižší. A současně úspora je výší díky čemu je návratnost u varianty s robotem Fanuc necelých šest let a s robotem Yaskawa dokonce nejkratší návratnosti ze všech návrhů, a to pouhé čtyři roky.

8.2 Technické zhodnocení

Technická kritéria jsou univerzálnost, prostor, přísun polotovarů a kvalita robota. K těmto technickým kritériím přidělím body podle odborného zhodnocení ve spolupráci s technology z Lavatu. Hodnocení bude vycházet ze zkušeností a porovnání i s jinými technologiemi.

Univerzálnost vyjadřuje, jaký podíl z portfolia vybraných výrobků lze danou automatizací produkovat a zároveň náročnost změny výrobku. Nejuniverzálnější varianta je varianta 3, s optickým vyhledáváním polotovarů. Díky tomu je možné připravit jednoduše

jakékoliv polotovary. Při změně výrobku je třeba mimo programu přenastavit pouze stroj, ale to u každé varianty, a efektor.pro to téhle variantě náleží 9 bobů. Naopak pouhé 3 body obdrží varianta 1 a to převážně z toho důvodu že není schopna pokrýt veškeré vybrané výrobky.

Prostor je kritérium, podle kterého se hodnotí kolik prostoru technologie pro automatizaci zaberou a do jaké míry lze na pracovišti pracovat jako na neautomatizovaném. Absolutně nejlépe, na 10 bodů, toto kritérium splňuje varianta 5. Veškeré technologie se nacházejí nad strojem, a proto je prostor před strojem volný. Proti tomu varianta 3 zabírá téměř celí prostor před strojem, a proto jí jsou přiděleny jen 3 body.

Přísun polotovarů je ukazatel kontinuálnosti přísunu polotovarů a současně toho do jaké míry zaměstnává přísun polotovarů obsluhu. Nejsnadněji se doplňují polotovary u varianty 3 kde díky optickému systému stačí pouze vyměnit paletu což zabere jen velmi málo času, je tedy této variantě přiděleno 9 bodů. U varianty 2 trvá doplňování polotovarů delší dobu a pracoviště v tu dobu neprodukuje žádné výrobky to u varianty 1 může manipulátor pracovat i při doplňování polotovarů ale systém je omezen pouze na některé tvary polotovarů. Z těchto důvodů přidělím variantám 1 a 2 pouze 5 bodů

Kvalita je zhodnocení přesnosti, tuhosti a zároveň i spolehlivosti robota. Robotické manipulátory od firmy Fanuc patří mezi ty nejlepší které je možné na trhu najít pro to jim náleží 10 bodů. Manipulátor značky Yaskawa dosahuje také vysoké kvality, proto mu přidělím 8 bodů. U robotického manipulátoru UR10e odpovídá kvalita a spolehlivost pořizovací ceně která je velmi nízká pro to mu náleží jen 5 bodů.

8.3 Celkové zhodnocení

Celkové technickoekonomické zhodnocení provedu pomocí tabulky. V prvním sloupci jsou vypsaná kritéria, podle kterých jednotlivé varianty automatizace porovnávám v druhém jejich váhy. V každém následujícím sloupci jsou vypsané body přidělené jednotlivým návrhům automatizace. Ve spodním řádku je pak výsledné bodové hodnocení jednotlivých variant.

Tabulka 16: Výběr varianty automatizace procesu obrábění

Výběr varianty automatizace procesu obrábění									
		Varianty							
Kritéria	Váhy	1.	2. (F)	2. (y)	3. (F)	3. (y)	4.	5.(F)	5. (y)
Návratnost	0,32	4,5	1,6	5,7	4	7	4,8	4,5	8
Univerzálnost	0,15	3	4	4	9	9	7	8	8
Prostor	0,15	7	6	6	3	3	6	10	10
Přísun polotovarů	0,2	5	5	5	9	9	7	8	8
Kvalita	0,18	4	10	8	10	8	10	10	8
Výsledné body		4,66	4,812	5,764	6,68	7,28	6,686	7,54	**8,3**

Největší váhu jsem přidělil jedinému ekonomickému kritériu, a to návratnosti investice. návratnosti investice vychází z počátečních nákladů a úspor které investice přinese. Další parametry jsou spíše technického charakteru. Z nich jsem dal největší váhu přísunu polotovarů, protože reprezentuje, do jaké míry je pracoviště schopné samostatného provozu. Jednotlivé varianty jsem obodoval podle všech kritérií. U každé varianty jsem sečetl přidělené body vynásobené koeficientem určující důležitost. Varianta s nejvyšším bodovým ohodnocením je pro Lavat nejvhodnější z pohledu poměru nákladů na pořízení a efektivity pracoviště. Nejvyšší bodové ohodnocení má pátá varianta s robotem od firmy Yaskawa.

9 Závěr

Ve své diplomová práci jsem se zabýval automatizací v procesu obrábění ve firmě Lavat a.s. Na začátku práce jsem se zabýval rozborem automatizace od jejích počátků až po současnost. Dále jsem uvedl základní dělením automatizace podle různých kritérií jako je míra automatizace, pružnost automatizace a podobně. Významná část práce byla věnována popisu automatizace v procesu obrábění. Konkrétně zde byly popsány možnosti automatizace procesu obrábění, se zaměřením na automatizaci obsluhy počítačem řízených obráběcích strojů. Byly zde popsány možnosti, jak usnadnit práci lidské obsluze stroje nebo dokonce jak zastat veškerou její práci. Značná část je také věnována podrobným popisům robotických manipulátorů. Bylo zde uvedeno rozdělení manipulátorů podle určení, tvaru pracovního prostoru, kinematické struktury a dalších parametrů. Poté byly popsány možnosti využití robotického manipulátoru. Podle výše uvedených informací byl určen charakter portfolia výroků vhodný pro automatizaci procesu obrábění na vybraném pracovišti v Lavatu a.s. Automatizována bude hlavně výměna polotovaru za hotový výrobek ve stroji a automatizace musí být schopna pružně reagovat na změnu výrobku.

Hlavní část této diplomové práce byla věnována návrhu automatizace daného pracoviště. První krok, který byl proveden byla analýza výrobního portfolia daného pracoviště. Na začátku analýzy byly vybrány výrobky, které je výhodné vyrábět na automatizovaném pracovišti, z hlediska vyráběného množství výrobků, vhodnosti geometrie a materiálu a dalších kritérií. Podle vybraných výrobků byly určeny parametry pro výběr vhodných technologií pro automatizaci pracoviště. Další parametry vyplynuly z analýzy současného stavu pracoviště, které má být automatizováno. Hlavním předmětem této analýzy byl stroj, který se na tomto pracovišti nachází a prostor kolem něj. Na základě určených parametrů bylo vybráno několik technologií vhodné pro automatizaci obsluhy CNC soustruhu. Pro vybrané technologie bylo navrženo několik variant realizace automatizace daného pracoviště. Každá varianta obsahuje popis rozestavění pracoviště, způsob funkce daného pracoviště a počáteční náklady na dané pracoviště.

Závěrečná část práce se pak zaměřila na výběr nejvhodnější navržené varianty. Výběr byl proveden pomocí technicko-ekonomického zhodnocení všech navržených variant automatizace pracoviště. Před začátkem hodnocení byla stanovena kritéria, která jsou pro rozhodování důležitá. Jednotlivým kritériím byl přidělen koeficient důležitosti. Jednotlivé návrhy automatizace pracoviště byly hodnoceny pomocí přiděleni bodů. Počty bodů byly následně vynásobeny koeficientem důležitosti a následně sečteny. Výsledky hodnocení byly

mezi sebou porovnány, a tak se vybrala nejlepší varianta pracoviště. Takto vybrané pracoviště dosahuje nejlepšího poměru nákladů a efektivity pracoviště. Jako nejlepší návrh automatizace pracoviště se ukázal návrh číslo 5 s robotem od firmy Yaskawa. Je to návrh, kde se většina technologií nachází na platformě nad strojem a polotovary se vyzdvihují na platformu k manipulátoru pomocí pojízdných rastrů.

10 Zdroje

[1] Úspěchy a historie | LAVAT a.s. - Laboratory and Vacuum Technique. LAVAT a.s. - Laboratory and Vacuum Technique [online]. Copyright © Copyright 2015 LAVAT a.s. Všechna práva vyhrazena. [cit. 01.07.2019]. Dostupné z: http://www.lavat.cz/uspechy-a-historieSchnell G. (Hrsg) : Bussysteme in der Automatisierungstechnik, VieWeg Verl.,Braunschweig, 1994, ISBN 3–528–06569–9

[2] ADAMEC, Jaromír. *Technologie automatizovaných výrob*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2006. ISBN isbn80-248-0871-4.

[3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN isbn978-80-248-2941-8.

[4] ŠVARC, Ivan. Základy automatizace. Brno: VUTBR, 2002.

[5] Historický vývoj automatizace? Poznejte 12 zásadních dat | FactoryAutomation.cz. FactoryAutomation.cz | Časopis o automatizaci a robotice [online]. Copyright © [cit. 04.02.2019]. Dostupné z: https://factoryautomation.cz/historicky-vyvoj-automatizace-poznejte-12-zasadnich-dat/

[6] [online]. Copyright ©I [cit. 04.02.2019]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/!podklady/ARO_prorok/Automatizace%20v%C3%BDrobn%C3%ADch%20proces%C5%AF.pdf

[7] [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: https://www.gamee.cz/207-gamee/21264-20pametove-medium-derne-pasky

[8] [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: http://www.dvornikova.cz/pocitace2.html#top

[9] Automatizace obsluhy obráběcích strojů 150629 Vyšlo v MM : 2015 / 6, 03.06.2015 v rubrice Trendy / Obrábění, Strana 58

[10] Zásobník tyčí. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 08.05.2019]. Dostupné z: https://www.haascnc.com/cs/machines/lathes/bar-feeder.html

[11] Automatizace obsluhy obráběcích strojů. Úvod [online]. Copyright © 2019 www.cnckonstrukce.cz [cit. 08.05.2019]. Dostupné z: http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/automatizace-obsluhy-obrabecich-stroju-11927.html

[12] Přehled sortimentu robotů FANUC - Fanuc. Object moved [online]. Dostupné z: https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-sortimentu-robot%C5%AF

[13] Save on SanDisk Flash Drives, microSD and SD cards today only | Android Central. Android Central | Android Forums, News, Reviews, Help & Android Wallpapers [online]. Dostupné z: https://www.androidcentral.com/thrifter-uk-save-sandisk-flash-drives-microsd-and-sd-cards-today-only

[14] Děrná páska – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Brn%C3%A1_p%C3%A1ska

[15] 3.8. ONROBOT. Novinky [online]. Dostupné z: https://www.exactec.com/index.php/komponenty/9-detail/93-3-8-onrobot

[16] UR10e | DREAMlandRobots. Oficiální distributor robotů Universal Robots a MiR [online]. Copyright © 2019 DREAMland spol. s r.o. [cit. 12.06.2019]. Dostupné z: https://dreamland-robots.cz/produkty/ur10e/

[17] GP25 - YASKAWA Europe GmbH. Česká republika - Yaskawa Europe GmbH [online]. Copyright © 2019 YASKAWA Europe GmbH [cit. 16.06.2019]. Dostupné z: https://www.cz.yaskawa.eu.com/cs/produkty/roboty/motoman-roboty/podrobnosti-o-produktu/product/gp25/

[18] ELUC. ELUC [online]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221

[19] MESING, spol. s r.o.. MESING, spol. s r.o. [online]. Dostupné z: http://www.mesing.cz/?page=dilenska-meridla&lang=cz

[20] [online]. Copyright © [cit. 27.06.2019]. Dostupné z: http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/51Robotika/71KognitivniRobotika.pdf

[21] Robotic screwing unit / with automatic feed - Flowdrill Screwdriving Joining System RSF25 - WEBER Schraubautomaten GmbH - Videos. DirectIndustry - The online industrial exhibition: sensors, automation, motors, pumps, materials handling, packaging, etc. [online]. Copyright © 2019 [cit. 27.06.2019]. Dostupné z: http://www.directindustry.com/prod/weber-schraubautomaten-gmbh/product-15617-433833.html

[22] Uchopovací systémy. [online]. Copyright © Autorská práva 2019 SCHUNK GmbH [cit. 27.06.2019]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/egm/

[23] KOLÍBAL, Zdeněk. Průmyslové roboty II: Konstrukce výstupních hlavic a periferií. 1. vyd. Brno: VUT, 1993. 165 s. ISBN 80-214-0533-3.

[24] VG10 VACUUM GRIPPER | OnRobot. Redirecting to https://onrobot.com/en [online]. Dostupné z: https://onrobot.com/en/products/vg10-vacuum-gripper

[25] Data poskytnuté z firmy Lavat a.s.

[26] Automatica v Mnichově překonala očekávání. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 29.06.2019]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/automatica-v-mnichove-prekonala-ocekavani.html

[27] A professional CNC and Manual lathe manufacturer, with expertise in providing solutions to different applications. | High Energy Technology. A professional CNC and Manual lathe manufacturer, with expertise in providing solutions to different applications. | High Energy Technology [online]. Copyright © 2019 [cit. 12.07.2019]. Dostupné z: http://www.annnyang.com/en/product/Conventional-Lathes/dy-410g_510g.html

[28] VERTICAL CENTER SMART 430A. Welcome to Mazak [online]. Copyright © 2015 Yamazaki Mazak UK Ltd. All Rights Reserved. [cit. 12.07.2019]. Dostupné z: https://www.mazakeu.cz/cs/machines/vertical-center-smart-430a/

[29] Detail | Viking Mašek. Viking Masek – packaging machines [online]. Dostupné z: https://www.masek.cz/cs/pripadove-studie/detail/cartoning-line-for-multiple-machines-1/

[30] Výměna nástrojů: AXA Maschinenbau Schöppingen. [online]. Dostupné z: https://www.axa-maschinenbau.de/cs/produkty/portalova-obrabeci-centra/upfz/vymena-nastroju/

[31] Měřicí technika ve strojírenství. Home [online]. Copyright © 2019 www.digitovarna.cz [cit. 13.07.2019]. Dostupné z: http://www.digitovarna.cz/clanek-84/merici-technika-ve-strojirenstvi.html

[32] Mít sondu nestačí. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 13.07.2019]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/mit-sondu-nestaci.html

[33] FSI FÓRUM • Obsah [online]. Copyright © [cit. 13.07.2019]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Roboty%20a%20pru%C5%BEn%C3%A9%20v%C3%BDrobn%C3%AD%20syst%C3%A9my.pdf

[34] Boston Dynamics is changing your idea of what robots can do. | Boston Dynamics. Boston Dynamics is changing your idea of what robots can do. | Boston Dynamics [online]. Copyright © 2019 Boston Dynamics [cit. 13.07.2019]. Dostupné z: https://www.bostondynamics.com/

[35] ROBOTICKÁ BUŇKA | TECNOTRADE obráběcí stroje s.r.o.. Tecnotrade obráběcí stroje s.r.o. [online]. Copyright © 2014 Tecnotrade obráběcí stroje s.r.o. [cit. 19.07.2019]. Dostupné z: http://www.tecnotrade.cz/roboticka-bunka-robotec-apc/

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Firma Lavat a.s.....3
Obrázek 2: Posloupnost lidské práce, mechanizace a automatizace [4] 7
Obrázek 3: Děrný pásek [15].....7
Obrázek 4: diskety flash disk, SD karty [14].....8
Obrázek 5: Dělení automatizace [4].....9
Obrázek 6: Konvenční soustruh [27] 10
Obrázek 7: CNC obráběcí stroj [28] 11
Obrázek 8: Plně automatizovaná linka [29] 11
Obrázek 9: Rozdělení činností při obrábění, které lze automatizovat [3] 14
Obrázek 10: Příklad pracovních os a stroje s deseti osami [19] 15
Obrázek 11: Automatická výměna nástroje pomocí jednoduchého manipulátoru [30] 15
Obrázek 12: Automatický podavač tyčí [11].....18
Obrázek 13: Výměna palety ve stroji [12] 19
Obrázek 14: Jednoúčelové měřící zařízení [20] 20
Obrázek 15: Souřadnicový měřící stroj [31] 21
Obrázek 16: Měřicí sonda na pozici nástroje [32] 22
Obrázek 17: Dělení robotických manipulátorů [9] 24
Obrázek 18: Robotický manipulátor ze sedmy osami [12] 26
Obrázek 19: Sériový robot [12] 27
Obrázek 20: Paralelní roboti [12] 28
Obrázek 21: hybridní konstrukce robota pro vyšší nosnost [12].....28
Obrázek 22: Konstrukce robotů se sférickým, cylindrickým a s kartézským pracovním prostorem [33].....30
Obrázek 23: Příklad Angulárního pracovního prostoru [16].....31
Obrázek 24: Robot humanoidního tipu a čtyřnohý robot [34] 32
Obrázek 25: Dělení efektorů [21] 33
Obrázek 26: Aktivní magnetický efektor od firmy Schunk [23] 35
Obrázek 27: Aktivní podtlakový efektor [25] 36
Obrázek 28: Aktivní mechanické uchopovací hlavice [23] 38
Obrázek 29: Výběr nejvhodnějších výrobků pro automatizovanou výrobu.....40
Obrázek 30: Příruba 1 6743 00 1021 [26].....43
Obrázek 31: Robotická paže od firmy SCHUNK [28] 44

Obrázek 32: Definice parametrů robota 47
Obrázek 33: Robot UR10e [17] 48
Obrázek 34: Robot M-20iA/35[13] 49
Obrázek 35: Robotická buňka Tecnotrade [35] 51
Obrázek 36: Robot Yaskawa GP25[18] 52
Obrázek 37:Varianty automatizace 55
Obrázek 38: Náčrt současného rozvržení pracoviště 56
Obrázek 39: Vizualizace 1. návrhu 56
Obrázek 40: Půdorysný pohled na první návrh pracoviště s popisky 57
Obrázek 41: Vizualizace 2. návrhu 59
Obrázek 42: Zásobník na polotovary v podobě rastru. 60
Obrázek 43: Půdorysný pohled na druhý návrh pracoviště s popisky 60
Obrázek 44: Vizualizace 3. návrhu 62
Obrázek 45: Půdorysný pohled na třetí návrh pracoviště s popisky 63
Obrázek 46: Systém pro určení polohy polotovaru 64
Obrázek 47: Vizualizace 4. návrhu 65
Obrázek 48: Půdorysný pohled na čtvrtý návrh pracoviště s popisky 66
Obrázek 49: Vizualizace 5. návrhu 68
Obrázek 50: Zásobování polotovary pomocí rastrů na kolejnicích 69
Obrázek 51: Půdorysný a nárysný pohled na pátý návrh pracoviště s popisky 70

12 Seznam tabulek

Tabulka 1:Tabulka vybraných součástí pro automatizované pracoviště [26] 42
Tabulka 2: Základní parametry manipulátoru UR10e [17] 49
Tabulka 3: Základní parametry manipulátoru M-20iA/35M [13] 50
Tabulka 4: Základní parametry robotické buňky [35] 51
Tabulka 5: Základní parametry manipulátoru Motoman GP25 [18] 53
Tabulka 6: Rozpočet nákladů na pracoviště 1 58
Tabulka 7: Rozpočet nákladů na pracoviště 2 (F) a 2 (Y).....61
Tabulka 8: Rozpočet nákladů na pracoviště 3 (F) a 3 (Y).....64
Tabulka 9: Rozpočet nákladů na pracoviště 4 67
Tabulka 10: Rozpočet nákladů na pracoviště 5 (F) a 5 (Y).....71
Tabulka 11: Roční úspory varianty 1 73
Tabulka 12: Roční úspory varianty 2 74
Tabulka 13: Roční úspory varianty 3 74
Tabulka 14: Roční úspory varianty 4 75
Tabulka 15: Roční úspory varianty 5 76
Tabulka 16: Výběr varianty automatizace procesu obrábění 78