



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Návrh robotizace CNC pracoviště

Automated CNC Workplace Design

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Roman ZEMÁNEK

Studijní program: (NVI) Výrobní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zemánek** Jméno: **Roman** Osobní číslo: **466640**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh robotizace CNC pracoviště

Název diplomové práce anglicky:

Automated CNC Workplace Design

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky automatizace výrobních procesů
2. Rešerše automatizačních prvků
3. Analýza současného stavu a stanovení okrajových podmínek
4. Návrh variant řešení
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navržených variant

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: **15.03.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **29.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci napsal samostatně a s použitím citované literatury.

V Praze dne 26.6.2022

Podpis:



Poděkování

Chtěl bych velmi poděkovat panu Ing. Jiřímu Kynclovi Ph.D. za odborné rady a připomínky k obsahové stránce mé diplomové práce a zároveň i cenné rady k vizuální stránce představení informací. Také bych rád poděkovat vedení firmy Bilsing Automation za přístup k zajímavému projektu a sdílení firemních dat. Stejně tak bych chtěl poděkovat zaměstnancům technologického a konstrukčního oddělení firmy za jejich čas vyhrazený pro informativní schůzky. Nakonec bych chtěl obzvláště poděkovat panu Robertu Beňáčkovi za pomoc s hledáním zajímavého a přínosného téma závěrečné práce.

Anotace

Obsahem této diplomové práce je návrh robotizace vybraného obráběcího pracoviště ve firmě Bilsing Automation. Na úvod je představena firma Bilsing Automation a její činnost v České republice. Dále je obsah práce věnován rešeršní a teoretické část, ve které je popsána problematika automatizace výrobních procesů, přístup k zavádění automatizace a popis prvků, které jsou používány k automatizaci činností spojených se samotným obráběcím procesem. Hlavní část práce je věnována analýze současného stavu a návrhu řešení robotizace CNC obráběcího pracoviště. Práce je zakončena technicko-ekonomickým hodnocením, díky kterému je vybrána nejvhodnější varianta.

Klíčová slova

Robotizace obráběcího pracoviště, automatizace, robotická manipulace, koncový efektor, robot, robotický manipulátor.

Annotation

The content of this diploma thesis is a design of a robotic machining cell in the company Bilsing Automation. First, the company Bilsing Automation and its branch in the Czech Republic are introduced. Furthermore, the diploma thesis contains a research and theoretical part, in which the issue of automation of production processes is described, the approach to the introduction of automation and the description of automation elements connected to the machining process. The main part of the work is the analysis of the current state and the design of the CNC machining workplace robotization solution. The thesis is concluded with a technical-economic evaluation, thanks to which the most suitable option is selected.

Keywords

Robotization of the machining workplace, Automation, Robotic manipulation, Effector, Robot, Robotic manipulator.

Obsah

1. Úvod	9
2. Představení společnosti Bilsing Automation	10
3. Automatizace výrobního systému	11
3.1. Dělení automatizace	14
3.1.1. Programovatelná automatizace	14
3.1.2. Pružná automatizace	15
3.1.3. Tvrdá automatizace	16
3.2. Volba stupně automatizace	17
3.3. Závěr	17
4. Automatizační prvky	18
4.1. Automatizace obráběcích strojů	18
4.1.1. Automatické polohování	19
4.1.2. Automatická výměna nástrojů	20
4.1.3. Automatická výměna obrobků	22
4.2. Průmyslové roboty a manipulátory	24
4.2.1. Dělení podle provedení a stupně řízení	25
4.2.2. Dělení podle stupně volnosti	27
4.2.3. Dělení podle kinematické struktury	27
4.2.4. Dělení podle typu pohonu	28
4.2.5. Dělení podle geometrie pracovního prostoru	28
4.3. Koncové efekторы	30
4.3.1. Struktura efektoru	31
4.3.2. Dělení efektorů	32
4.3.3. Mechanické manipulační efekторы	34
4.3.4. Vakuové manipulační efekторы	35
4.3.5. Magnetické manipulační efekторы	36
4.3.6. Speciální manipulační efekторы	37
4.4. Závěr	37
5. Zavádění automatizace	39
5.1. Princip USA	39
5.1.1. 1. Krok: Porozumění současnému stavu	39
5.1.2. 2. Krok: Zjednodušení procesu	39
5.1.3. 3. Krok: Automatizace procesu	39
5.2. Závěr	40
6. Analýza současného stavu v Bilsing Automation	41
6.1. Layout	41
6.2. Obráběcí centrum	42
6.3. Práce na stroji	43
6.4. Materiálový tok na pracovišti	44
6.5. Součástkové portfolio	45
6.6. Čas obrábění palety a čas upínání	46
6.7. Polotovary	48



6.8.	Přípravky	48
6.9.	Okrajové podmínky.....	49
6.9.1.	Závěr	50
7.	Návrh automatizace obráběcího pracoviště.....	52
7.1.	Koncepce automatizace	52
7.2.	Návrh variant.....	55
7.2.1.	Varianta 1	55
7.2.1.	Varianta 2	58
7.2.2.	Varianta 3	60
7.2.3.	Varianta 4	61
7.3.	Automatizace stroje AXA Vario.....	65
7.4.	Návrh koncového efektoru.....	66
7.5.	Závěr	70
8.	Technicko-ekonomické hodnocení	71
8.1.	Vyhodnocení	75
9.	Závěr.....	76
10.	Seznam použité literatury	78
11.	Seznam tabulek	81
12.	Seznam obrázků.....	82
13.	Seznam grafů	84

1. Úvod

V této diplomové práci se budu zabývat návrhem robotizace vybraného CNC pracoviště ve společnosti Bilsing Automation. Motivací firmy Bilsing Automation pro automatizaci jsou její cíle zvýšení výrobních kapacit, kontinuální zvyšování efektivity výroby a udržení konkurenční výhody. Dalšími z důvodů zavedení automatizace je zvýšení prestiže firmy díky automatizované výrobě. Firma si od automatizace slibuje automatický nebo poloautomatický chod výrobní buňky.

V první části práce se budu věnovat problematice spojené s automatizací. V této části popíšu automatizaci výrobních procesů a systémů a budu zde popisovat současný světový trend v zavádění automatizace. Dále vypíšu hlavní důvody tohoto zavádění a na závěr bude automatizace rozdělena podle kvantity výroby a počtu variací výrobků.

V následující části budu věnovat významnou část diplomové práce popisu automatizačních prvků spojených s procesem obrábění a přidruženými procesy. Budu zde popisovat prvky a funkce, které jsou implementovány přímo do obráběcích strojů ale i externí prvky, které slouží převážně k manipulaci s materiálem. Tam se zaměřím především na manipulátory a koncové efekty. Všechny tyto prvky rozdělím do kategorií podle charakteristických kritérií.

Závěr rešeršní části práce budu věnovat popisu systematického přístupu k zavádění automatizace na základě získaných poznatků vycházejících z úvodních analýz.

V hlavní části této diplomové práce se budu věnovat návrhu robotizovaného CNC pracoviště. Za tím účelem provedu analýzu současného stavu ve společnosti Bilsing Automation. Na základě výsledků této analýzy sestavím optimální koncept automatizovaného pracoviště. Podle konceptu budu vypracovávat návrhy variant pracoviště. Ke každé variantě sestavím nákladový model na její realizaci a jednotlivé varianty detailně popíšu. Dále zde vypracuji návrh potřebných konstrukčních celků a funkcí, které bude nutné realizovat, aby mohlo vzniknout automatizované pracoviště navržené v jednotlivých variantách.

Na závěr této práce provedu technicko-ekonomické hodnocení. Aby bylo možné sestavit toto hodnocení, provedu zde výběr a popis hodnotících kritérií a potřebné ekonomické výpočty. Varianty vzájemně porovnáám ve vícekritériální tabulce a na základě výsledků bodového ohodnocení vyberu nejlepší variantu, která bude dávat smysl pro společnost Bilsing Automation jak technicky, tak i ekonomicky.

2. Představení společnosti Bilsing Automation

Německá strojírenská společnost Bilsing Automation je světovým lídrem v oblasti manipulačních nástrojů EOAT (end of arm tooling) manipulování plechových součástí v karosářských aplikacích automobilového průmyslu, kde působí již 40 let. Dále jejich nástroje působí v oblasti manipulace s díly po vstřikování, balení, hydraulickém tváření a v aplikacích mimo automobilový průmysl. Nabízejí automatizovaná řešení lisoven pro robotický transfer press-to-press, lineární transfer, tříosé transferové lisy a příčné transferové lisy.

Tyto nástroje jsou založeny na inovativním modulárním systému, který poskytuje flexibilitu pro rychlou konfiguraci a zároveň šetří váhu díky použitím lehkých materiálů, jakými jsou uhlíková vlákna nebo vysoce pevné hliníkové slitiny.



Obr. 1 Ukázka produktu CARBON FIBER T-BEAM [1]

Počátek společnosti Bilsing sahá do roku 1982, kdy vyvíjeli a prodávali hydraulické roboty společností jako je Ford a Chrysler pod názvem Bilsing Robot Systeme. Na tyto roboty byl instalován první flexibilní hliníkový systém. V roce 1992 se společnost zaměřila na vývoj, výrobu a prodej flexibilních uchopovacích a manipulačních systémů pro automobilový průmysl a změnili si název na současný Bilsing Automation. V současné době je síť poboček umístěná v Evropě, Severní a Jižní Americe a v celém Tichomoří. [2]



Obr. 2 Pobočky Bilsing Automation [3]



Obr. 3 Česká pobočka Bilsing Automation [3]

Pobočka v České republice se specializuje na vývoj, konstrukci a výrobu systémů popsaných v této kapitole.

3. Automatizace výrobního systému

V této kapitole budu obecně popisovat automatizaci výrobních systémů, průmyslovou automatizaci, její definici, přínosy a rozšířením automatizace v dnešních době. Dále zde bude automatizace rozdělena a popsána podle vybraných kritérií.

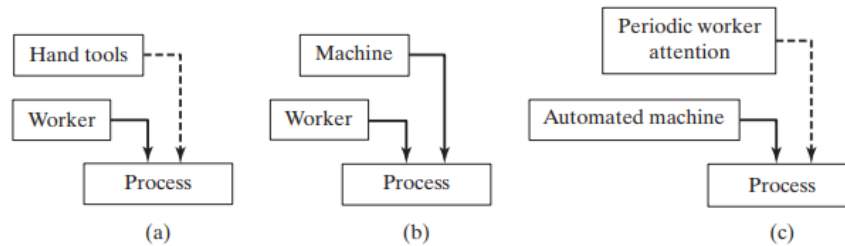
Výrobní systém lze definovat jako soubor technologických, časových, prostorových a organizačních hmotných zdrojů a pracovních sil s cílem přetvářet vstupy na výstupy. Hmotné zdroje mohou představovat materiál, energii, výrobní a pracovní prostředky. [4]

Forma výrobního systému a jeho technickoorganizačních úrovní závisí na řadě faktorů. Nejdůležitější z těchto faktorů jsou:

- Výrobek
- Výrobní, dopravní a kontrolní zařízení
- Technologie
- Pracovníci
- Energie
- Organizace

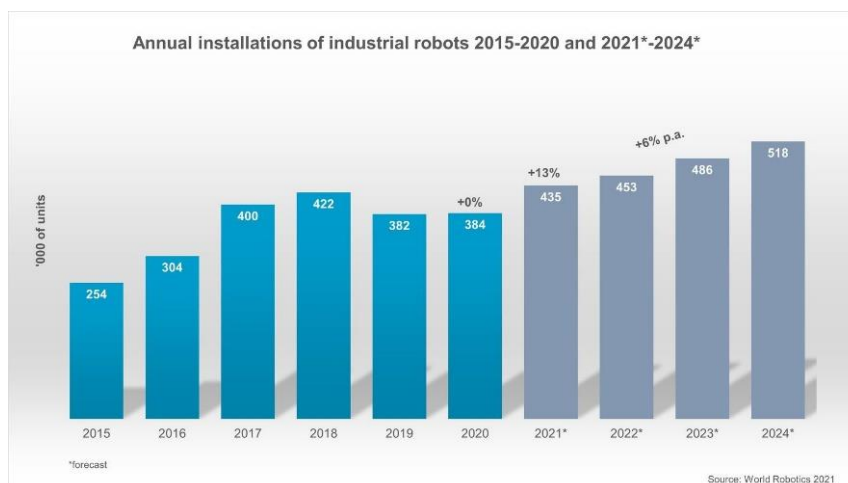
Automatizované procesy či automatizovaný systém lze definovat jako systém, ve kterém je proces prováděn bez přímé účasti pracovníka za použití stroje. Tento proces je dnes realizován za pomoci programu, který slouží jako list instrukcí a v kombinaci s řídicím systémem provede dané operace. Pro řízení takového systému je zapotřebí dodávat energii. [5]

Ne vždy lze jasně rozpoznat automatizovaný systém a rozlišit rozdíly mezi systémem pracovník-stroj a automatizovaným systémem, protože i systém pracovník-stroj může pracovat s určitým stupněm automatizace. Systém pracovník-stroj můžete vidět na Obr. 4 b). Pro zjednodušení identifikace automatizovaného systému lze definovat dvě úrovně automatizace, a to poloautomatickou a plně automatizovanou. V případě poloautomatické automatizace vykonává poloautomatický stroj část pracovního cyklu pod kontrolou řídicího systému a lidský pracovník se stará o stroj po zbytek cyklu tím, že vykonává jinou pracovní náplň v každém cyklu. Poloautomatický cyklus je znázorněn na Obr. 4 b). Na rozdíl od poloautomatického stroje se plně automatizovaný stroj odlišuje schopností pracovat delší dobu než jeden pracovní cyklus, bez zásahu lidského pracovníka. Tento systém je zobrazen na Obr. 4 c). Příkladem takového provozu může být například vstřikovací lis, na kterém běží výroba v automatickém cyklu a pracovní periodicky odebírá výlisky.



Obr. 4 Tři kategorie výrobních systémů: a) systém ruční práce, b) systém pracovník-stroj c) automatizovaný systém [5]

Automatizace pomocí průmyslových robotů a manipulátorů je dnes již neodlučitelnou součástí automatizace ve strojírenství a dalších odvětvích průmyslu. Tento vývoj nasazení robotizace dokládá i zpráva International Federation of Robotics - World Robotics 2021 reports, která udává, že celkový počet průmyslových robotů nasazených v továrnách po celém světě představuje přes 3 miliony kusů. Tento počet meziročně mezi lety 2019 a 2020 vzrostl o 0,5 % i navzdory celosvětové pandemii, přičemž v roce bylo dodáno 384 000 kusů. Současný počet pracujících robotů v továrnách je nejvyšší v celé historii. [6]



Obr. 5 Počet ročně instalovaných robotů [6]

V poslední době se častěji objevují výrobci, kteří mají dostatek práce a prostředků pro investici do nových technologií a strojů, ale trpí nedostatkem pracovních sil na rozšíření výroby o další stroje, či o další směnu. Tento fakt je způsoben dlouhodobým ekonomickým růstem. V důsledku toho je důležité zaměřit se na efektivní využívání strojů a pracovníků. [7]

Dle zdroje [7] bylo měřeními zjištěno, že stroje obsluhované operátorem mohou mít vysoké ztráty. Tyto ztráty jsou způsobeny běžným lidským chováním a potřebami operátora, jakými jsou obědová pauza, přestávka na WC, manipulace a tak podobně a ztráty způsobené nedostupností stroje, jako jsou údržba, poruchy a tak dále. V důsledku těchto ztrát může dojít až k dostupnosti stroje i operátora pouze 56 %. Tento aspekt se

dnes snaží podniky potlačit hned několika způsoby: efektivním plánováním výroby, zaváděním principů štíhlé výroby a automatizací procesů. Automatizací a robotizací se ve výrobě dosahuje několika velkých přínosů. U krátkých technologických operací se výrazně zvyšuje produktivita stroje a u dlouhých i krátkých operací umožňuje, aby více strojů obsluhoval pouze jeden operátor bez snížení výkonu výroby. Neméně důležitou výhodou automatizace je i nahrazování pracovníků při operacích v podmínkách nevhodných pro lidské zdraví. Nejčastějšími důvody pro zavádění automatizace tedy jsou [5] [8]:

1. Zvýšení produktivity práce.

Automatizací procesu se dosahuje odstranění plýtvání, které je způsobeno lidským faktorem. Odstraněním plýtvání se zvýší výkon za hodinu vynaložené práce.

2. Snížení nákladů na pracovní sílu.

S ekonomickým růstem je trendem ve světových industrializovaných společnostech i zvyšování ceny práce. To má za následek, že vyšší investice do zavedení automatizace se stávají ekonomicky výhodnými v kratším časovém horizontu a je tedy výhodné nahradit lidskou práci strojem či programem.

3. Zmírnění dopadu nedostatku pracovních sil.

Jak již bylo dříve v této kapitole zmíněno, dochází k nedostatku pracovních sil, a to podnítilo rozvoj zavádění automatizace.

4. Odstranění rutinní manuální a administrativní práce.

Automatizací operací, které mají rutinní, únavný či nudný charakter lze zlepšit obecnou úroveň pracovních podmínek.

5. Zvýšení bezpečnosti pracovníků.

Pokud se v provozu pracovníci aktivně účastní operací, které jsou fyzicky velmi náročné, či jinak zdraví nebezpečné, tak zavedením automatizace do dané operace je možné pracovníka převést z aktivní účasti do monitorovací role nebo pracovníka úplně odstranit.

6. Zvýšení kvality produktu.

Automatizací procesu lze dosáhnout vyšší opakovatelnosti a přesnosti výroby.

7. Zkrácení dodací lhůty.

Zkrácením doby mezi objednávkou a dodáním produktu zákazníkovi poskytuje výrobci konkurenční výhodu a stejně tak zkrácení dodací lhůty snižuje zásoby rozpracovaných výrobků.

8. Provádění procesů, které nelze provádět ručně.

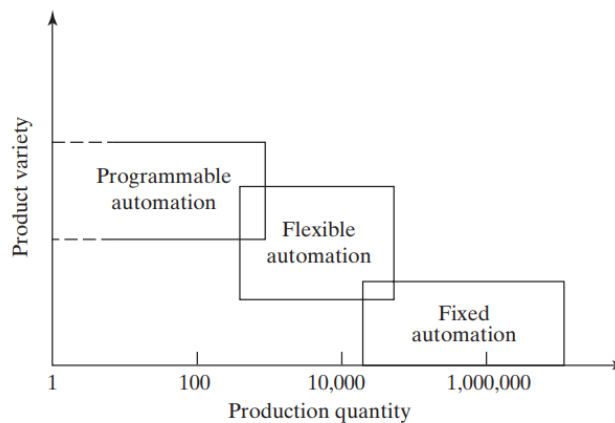
Některé operace nelze provádět bez použití počítačem řízeného stroje. Příkladem může být obrábění geometricky složitých matematicky definovaných povrchů nebo operace výroby integrovaných obvodů.

Díky kombinací těchto přínosů automatizace se často v dané společnosti projeví různé nehmotné následky, kterými může být kromě zlepšení kvality a zvýšení tržeb i lepší

pracovní vztahy se zaměstnanci a lepší image společnosti. To může mít za následek zvýšení atraktivit pro zaměstnance, zákazníky a širokou veřejnost.

3.1. Dělení automatizace

Vzhledem k rozšíření automatizace do mnoha procesů je zřejmé, že je provedena pomocí různých technologií a s různým stupněm automatizace daného procesu. Je tedy možné dělit automatizaci podle několika kritérií, která se posuzují při návrhu automatizovaného pracoviště nebo při zavádění automatizace do výrobního procesu. Nejdůležitějšími kritérii jsou kvantita výroby a počet variací produktů, které projdou výrobním systémem. Podle těchto kritérií můžeme volit mezi Tvrdou, Pružnou a Programovatelnou automatizací. [5] Přibližné meze pro volbu jsou vyznačeny na Obr. 6.



Obr. 6 Tři typy automatizace v závislosti na kvantitě výroby a variací výrobků [5]

Z obrázku je patrné, že druhy vhodné automatizace pro určité hodnoty počtu variací produktů a kvantity se vzájemně překrývají a nelze tedy určit pouze podle těchto dvou kritérií, který druh automatizace by byl pro daný proces nejvhodnější.

3.1.1. Programovatelná automatizace

Při použití programovatelné automatizace je výrobní zařízení schopno měnit pořadí operací tak, aby vyhovovalo vysokému počtu vyráběných produktů, které potřebují odlišnou konfiguraci zařízení. Proto se programovatelné automatické systémy používají v malosériové a středněsériové výrobě. Jedná se o předstupeň pružné automatizace, který se vyznačuje následujícími charakteristickými znaky:

1. Vysoká počáteční investice do univerzálního stroje a víceúčelového vybavení
2. Nižší výrobní rychlost ve srovnání s tvrdou automatizací
3. Vysoká flexibilita výroby

4. Výroba v dávkách

Po dokončení výrobní dávky je nutné změnit konfiguraci výrobního zařízení pro zahájení výroby nového výrobku. Při této změně se provede přeprogramování a fyzické přenastavení. Fyzické přenastavení zahrnuje výměnu nepotřebných nástrojů a přípravků za nové. Při změně konfigurace zařízení typicky stojí a dochází tedy ke ztrátám.



Obr. 7 NC frézka [9]

Příkladem programovatelné automatizace jsou NC obráběcí stroje, které jsou řízeny programem a vykonávají definované úkony. [5]

3.1.2. Pružná automatizace

Pružná automatizace je dalším krokem programovatelné automatizace. Pružný systém se vyznačuje schopností vyrábět produkty prakticky bez časových ztrát vznikajících při změně z jednoho produktu na druhý. To znamená, že nedochází ke ztrátám při změně nástrojů, přípravků a přeprogramování. Díky tomu může systém produkovat různé produkty v jednotkách kusů namísto dávek. Takováto pružnost výroby je možná díky nevýznamným rozdílům mezi díly, které jsou systémem vyráběny.

Pružná automatizace se vyznačuje především:

1. Vysokými počátečními investicemi do systému na míru
2. Kontinuální výroba variabilního produktového mixu
3. Nasazení ve středněsériové výrobě
4. Možnost zpracování různých produktů



Obr. 8 Pružná automatická výrobní linka [10]

Typickým příkladem pružné automatizace jsou flexibilní systémy, které provádějí obráběcí procesy. [5]

3.1.3. Tvrdá automatizace

Tvrdá automatizace je systém, ve kterém je pořadí automatizovaných operací pevně dáno konfigurací zařízení. Tento systém je realizován pomocí automatů nebo jednoúčelových strojů. Jednotlivé operace řazené v sekvenci jsou obvykle jednoduché a zahrnují jednoduchý lineární pohyb, rotační pohyb nebo kombinaci obou. Systém s tvrdou automatizací je konfigurován na výrobu jednoho typu výrobku ve velkých objemech. Dalšími charakteristickými vlastnostmi takového systému jsou:

1. Vysoká počáteční investice do zařízení zapříčiněná zakázkovou konstrukcí
2. Vysoká produktivita výroby
3. Zařízení není flexibilní pro výrobu s vysokou variabilitou dílů

Tvrdá automatizace se zavádí v případě, že existuje vysoká poptávka po daném výrobku. Poté tedy lze rozložit počáteční investici na velký počet kusů a minimalizovat tak jednotkové náklady ve srovnání s alternativními způsoby výroby. [5]



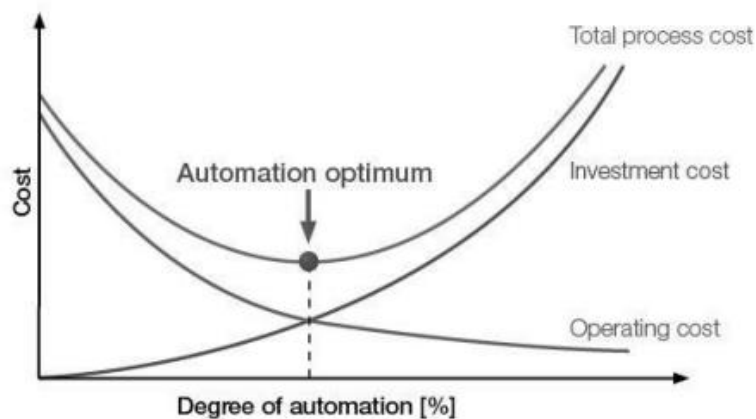
Obr. 9 Plně automatizovaná linka [11]

Příkladem tvrdé automatizace jsou jednoúčelové výrobní linky, které se skládají z automatů a jednoúčelových strojů.

3.2. Volba stupně automatizace

Zavádění automatizace do výrobních procesů je dnes nejčastěji motivováno snahou snížit náklady na vyrobenou jednotku. Nelze ovšem pominout i dlouhodobé cíle a strategie společnosti, kdy se automatizace zavádí s cílem inovovat výrobu, či produkt samotný a dosáhnout tak konkurenční výhody a vyšší atraktivity pro klienty, jak již bylo popsáno v dřívějších kapitolách.

Při zavádění automatizace je jedním z nejdůležitějších úkolů rozhodnout o správném stupni automatizace, který by měl zajišťovat dosažení cílů společnosti a zároveň vyhovovat i minimálním nákladům, které jsou s automatizací spojené. Podle zdroje [8] dnes společnosti často berou investice do automatizace jako něco drastického a výsledkem je buď žádná automatizace nebo úplné odstranění lidské síly z procesu. Tento postup není ideální, protože není nezbytně nutné volit mezi lidmi a stroji. Místo toho lze využít ideální kombinaci lidské práce a automatizovaných operací výrobního procesu. Pro dosažení ideálního stavu je nutné stanovit minimum nákladové funkce výrobního procesu. Do této funkce vstupují funkce počátečních investičních nákladů, provozních nákladů a celkových nákladů výrobního procesu.



Obr. 10 Optimální stupeň automatizace v závislosti na nákladech [8]

V praxi je velmi obtížné sestavit tuto funkci z důvodu velkého počtu měnících se vstupů týkajících se výrobního procesu. [8] Přibližná podoba nákladové funkce výrobního procesu je zobrazena na Obr. 10

3.3. Závěr

V kapitole 3 jsem provedl popis a rozdělení automatizace. Z popisu vyplývá, že není pouze jeden způsob automatizace pracovního procesu, ale existují různé stupně a typy automatizace. Proto je důležité zvolit nejvhodnější stupeň a typ pro požadovanou aplikaci a dosáhnout tak optimálního minima nákladové funkce výrobního procesu.

4. Automatizační prvky

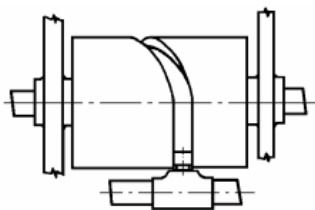
V této kapitole se zaměřím na automatizační prvky spojené s obráběcím procesem a k tomu přidružených procesů, kterými jsou procesy odehrávající se před obráběním a po obrábění. Těmito procesy jsou především manipulace s polotovarem a hotovým výrobkem. Proto se v této kapitole zaměřím na prvky spojené především s těmito operacemi. Automatizační prvky, které vstupují do těchto procesů, jsou hlavně průmyslové roboty a manipulátory, které jsou použity k automatizaci manipulace. Tyto prvky zde rozdělím a popíšu podle vybraných kritérií. Stejně tak se budu v této kapitole věnovat popisu koncových efektorů neboli EOAT (end of arm tooling), které jsou neodmyslitelnou součástí manipulátorů. Dále se budu zabývat i prvky a funkcemi v obráběcích strojích, které jsou vybaveny neodmyslitelnými automatizačními prvky, které přinášejí zvýšení produktivity stroje, zvýšení kvality a schopnost vyrábět tvarově složitě plochy.

4.1. Automatizace obráběcích strojů

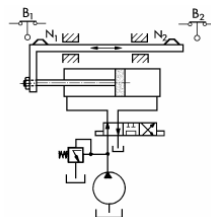
Dle zdroje [12] je obráběcí stroj „výrobní stroj, který umožňuje dát obrobku žádaný geometrický tvar a jakost povrchu oddělováním materiálu ve formě třísek řezným nástrojem“. Obráběcí stroje třídíme podle několika kritérií [13]:

1. Stroje pracující s nástroji s určitou geometrií
 - a. Hlavní pohyb rotační (soustruhy, frézky, vrtačky, vyvrtávačky...)
 - b. Hlavní pohyb přímočarý (hoblovky, obrážedky, protahovačky...)
2. Stroje pracující s nástroji s neurčitou geometrií
Mezi stroje, které pracují s nástroji s neurčitou geometrií patří brusky, honovačky, lapovačky
3. Pracovní rozsah
Podle pracovního rozsahu dělíme stroje na univerzální, speciální a jednoúčelové

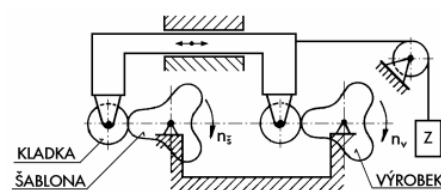
Automatizace obráběcích strojů začala pomocí mechanických, elektromechanických a elektrohydraulických automatizačních systémů, kdy se k řízení pohybu určité části stroje používaly systémy vačkové, narážkové a kopírovací. Příklady těchto systémů jsou zobrazeny na Obr. 11, Obr. 12, Obr. 13.



Obr. 11 Vačka bubnová oboustranná [13]



Obr. 12 Elektrohydraulický narážkový systém [13]



Obr. 13 Přímé mechanické kopírování s pozitivní šablonou [13]

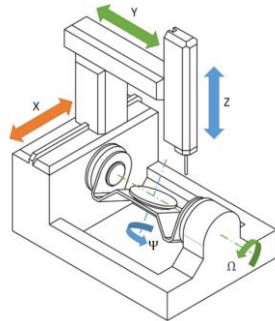
Další vývoj přišel s číslicovým řízením, kdy vznikly NC (Numeric Control) stroje. V padesátých letech dvacátého století s 1. generací NC strojů. Tyto stroje byly odvozeny od běžných do té doby používaných konvenčních strojů. 1. generace NC strojů měla relativně malé přizpůsobení pro číslicové řídicí systémy. Tyto stroje používaly k pracovním pohybům elektricky řízené hydromotory a následně elektricky řízené elektromotory. 2. generace NC strojů byla zavedena v 60. letech a stroje již byly konstruovány pro NC řízení a zvýšení produktivity práce. Proto byly vybaveny systémem pro automatickou výměnu nástrojů. V roce 1960 vzniklo první NC frézovací centrum od společnosti Kearney & Trecker a počátkem 60. let uvedla firma Siemens na trh své první číslicové řízení pro obráběcí stroje. Tento produkt dostal později název Sinumerik. Stejně tak se během 60. let začala soustředit firma HEIDENGEIN na automatizaci strojů. 3. generace NC strojů byla představena v 70. letech. Stroje byly doplněny o paměť a funkce umožňující editaci programu. V roce 1972 představila Japonská společnost FANUC první obráběcí CNC centrum založené na počítačovém číslicovém řízení. Stroje 3. generace byly uzpůsobeny pro nasazení do pružných výrobních systémů. CNC stroje jsou stroje, které jsou vybaveny řídicí jednotkou, která vysílá k motorům impulzy podle pokynů programu. Z toho je odvozen i název pro počítačem řízené stroje neboli CNC (Computer Numeric Control). 4. Generace NC strojů přišla v 80. letech. Zdokonalené CNC stroje měly řídicí systémy s mikropočítačovými strukturami na bázi CNC/PLC. Tyto stroje jsou vybaveny novými funkcemi, jako je adaptivní řízení řezného procesu, grafická simulace obrábění, adaptivní kontrola stroje a stejně tak nástroje. 5. generace NC strojů se uvažuje od 90. let až do současnosti. Vysokorychlostní obráběcí stroje doplněné servopohony, které pohání každou osu. Stroje jsou dále vybaveny vysokootáčkovými vřeteny, sensorikou, inteligentními servosystémy, diagnostikou a výkonnými řídicími systémy s vysokou rychlostí zpracování bloku a systémem Look Ahead. Look Ahead je systém predikce tvaru, který čte řídicí program dopředu a kontroluje rychlost řezných pohybů s ohledem na budoucí změnu dráhy podle obráběného povrchu. [12] [13] [14] [15]

Moderní CNC stroje zkracují jak hlavní, tak i vedlejší výrobní časy díky výkonnému pohonu, tuhé konstrukci a automatizaci jednotlivých vedlejších činností spojených s obráběním.

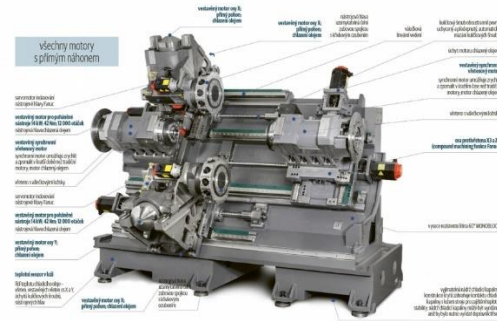
4.1.1. Automatické polohování

Pro obráběcí CNC stroje je automatizace všech pohybů nezbytnou součástí. Pohyby jsou vykonávány pomocí řízených servomotorů. Mezi tyto pohyby patří například jednotlivé pohyby rotačních i posuvných os, pootočení nástrojové hlavy nebo polohování vřetene. Motory zodpovědné za pohyby jsou řízeny počítačem, který dává motoru příkaz na vykonání určitého počtu otáček nebo natočení o určitý úhel, či jen příkaz vypnuto/zapnuto a určení, jakým směrem se má daný motor otáčet. O komplexnosti celého polohovacího systému rozhoduje koncepce a konstrukce stroje. To znamená, že například pro pětiosý

stroj, který je vidět na Obr. 14, bude zapotřebí komplexnější systém polohování, než po tříosý stroj. Komplexnost reálného systému je vidět na Obr. 15, kdy jsou vyznačeny a popsány všechny pohony sloužící pro automatické polohování řízené počítačem.



Obr. 14 Layout 5-tiosé frézky [16]



Obr. 15 Motory stroje CMZ [17]

U automatického polohování je velmi důležitá přesnost ustavení polohy, protože na tom závisí přesnost práce obráběcího stroje. Přesnost a opakovatelnost obráběcích strojů se pohybuje v řádu tisícín milimetrů v závislosti na technologii. [13] [18]

4.1.2. Automatická výměna nástrojů

S rostoucím trendem zrychlování a zefektivňování výrobních procesů u vysoce složitých a komplexních dílů, které vyžadují použití velkého množství nástrojů, se výrobci strojů zaměřili i na proces samotné výměny nástrojů. Řešením je plná automatizace celého procesu výměny nástrojů s vyloučením lidského zásahu, čímž se velmi redukuje neproduktivní čas spotřebovaný při výměně nástrojů. Automatické systémy by proto měly splňovat dvě hlavní podmínky a to, aby bylo možné uložit velké množství nástrojů do zásobníku a zkrátit čas potřebný k výměně nástrojů. [19]

Systémy automatické výměny nástrojů je možno rozdělit do dvou základních skupit: [13]

1. Zásobníky nástrojů, který přenáší obráběcí síly

Do této skupiny patří revolverové hlavy různých typů. V revolverové hlavě jsou nástroje upnuty přímo nebo pomocí univerzálních držáku do přesných pozic, ve kterých jsou seřizeny. Nástroje mohou být dle konstrukce hlavy umístěné na boku hlavy nebo na čelní ploše. Podle pohybu revolverové hlavy se nástroj dostává do pracovní, či nepracovní pozice. Pohyb je řízen podle řídicího programu. Tento typ systému se využívá především pro soustružnická centra.

Výhody systému jsou:

- Krátký čas výměny nástrojů
- Půdorys stroje se nezvětšuje s revolverovou hlavou
- Jednodušší konstrukce než u skladovacích zásobníků

Systém má ovšem i řadu nevýhod, mezi které patří:

- Omezený počet nástrojů z důvodu závislosti velikosti revolverové hlavy na počtu nástrojů (maximálně přibližně 16 nástrojů).
- Umístění revolverové hlavy v pracovním prostoru. Z toho vyplývá riziko kolize nástrojů a jejich upínačů s dalšími částmi stroje.
- Vyšší zátěž supportu stroje.
- Není možná výměna otupeného nástroje během chodu stroje.
- Osazení hlavy nástroji pro jiný typ obrobku je časově náročné.



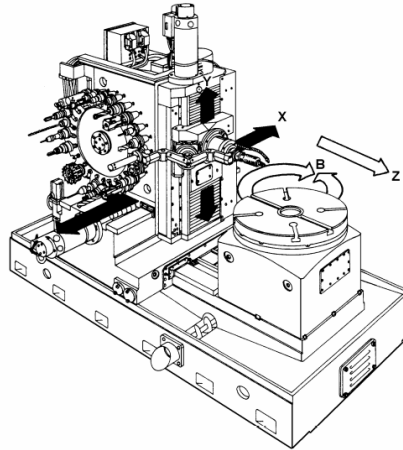
Obr. 16 Revolverová hlava s poháněnými nástroji [20]

2. Zásobník skladovací

Tento typ systému výměny nástrojů nepřenáší obráběcí síly a má funkci pouze skladovací. Systém tedy funguje jako externí zásobník nástrojů doplněný o manipulátor, který zajišťuje samotnou výměnu nástrojů a jejich umístění do pracovní polohy. Nástroje v zásobníku jsou označeny kódem, aby bylo možné jejich automatické vyhledávání.

Podle cesty, kterou vykoná nástroj mezi zásobníkem a vřetenem, je možné rozdělit systém výměny do čtyř skupit: [13]

- (a) Zásobník – Vřeteno
- (b) Zásobník – Podavač – Vřeteno Obr. 17
- (c) Zásobník s vyklápěním – Podavač – Vřeteno
- (d) Jiné systémy s dopravními manipulátory



Obr. 17 Systém automatické výměny nástrojů Zásobník – Podavač – Vřeteno [13]

Výhody tohoto systému jsou:

- (a) Velmi krátký čas výměny nástrojů
- (b) Velký počet nástrojů v zásobníku (Toolchanger od Cellro pojme až 800 nástrojů [21])
- (c) Zásobník nezatěžuje support ani vřeteník
- (d) Je možné provádět výměny otupených nástrojů v zásobníku za běhu stroje
- (e) V pracovním prostoru je pouze využívaný nástroj
- (f) Rychlá změna osazení stroje nástroji pro jiný obrobek

Nevýhody zásobníkového systému:

- (a) Zařízení jsou díky své konstrukci komplikované a dražší ve srovnání s revolverovou hlavou
- (b) Větší množství poruch
- (c) Zvětšení půdorysné plochy stroje

4.1.3. Automatická výměna obrobků

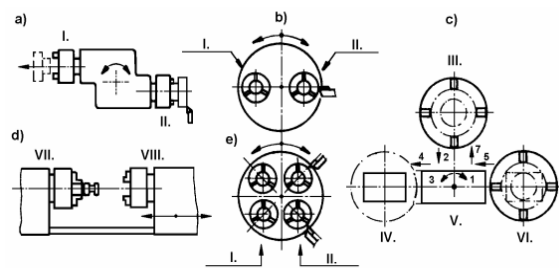
Stejně jako čas výměny nástroje, tak i čas výměny obrobku je vedlejší čas, který snižuje efektivní využívání obráběcího stroje a snižuje tak jeho výkon. Automatizační prvky pro provedení výměny obrobku se dají dělit do kategorií podle integrace a podle tvaru manipulovaného obrobku. Tvar obrobku může být rotační nebo nerotační. [13] Podle integrace zařízení lze rozdělit systémy na integrované do stroje a neintegrované. V této kapitole se budu věnovat integrovaným systémům. Neintegrované systémy budou popsány v kapitole o robotických manipulátorech.

1. Výměna rotačních součástí

U soustružených rotačních součástí je nejjednodušší podávat tyčový materiál ze zásobníku průchozím vřetenem do obráběcího prostoru. Příklad podavače tyčí od firmy Haas je vidět na Obr. 18. Materiál je přesně polohován, vysouván a upínán pomocí kleštiny. Některé stroje jsou schopny samočinné výměny upínacích kleštin. Ty jsou umístěny v zásobníku nástrojů. [13] Dalším způsobem urychlení výměny součásti je použití vícepolohových vřeteníků s nakládací a pracovní polohou. U těchto vřeteníků se dosáhne zkrácení času výměny tím, že celá výměna je prováděna v nakládací poloze a čas, kdy je stroj zastaven se rovná času výměny poloh. Tento systém je vidět na Obr. 19 a, b, e.



Obr. 18 Stroj s automatickým podavačem tyčí Haas [22]



Obr. 19 Principy dosažení zkrácení doby výměny obrobku [13]

Z důvodu požadavků obrábět rotační součásti na více upnutích z první a druhé strany se používají stroje se dvěma vřeteníky. U těchto strojů je možné obrábět dvě strany součásti najednou. Po obrobení první strany přebere druhý zrcadlově umístěný vřeteník součást a provede se obrobení druhé strany. Díky této konfiguraci stroje odpadá čas potřebný na otáčení součásti a zároveň se velmi zkrátí čas přepnutí. Toto řešení je schematicky znázorněno na Obr. 19 a reálný příklad pracovního prostoru dvojvřetenového soustruhu je znázorněn na Obr. 20.



Obr. 20 Pracovní prostor soustruhu CMZ TTS SERIES [23]

Pro manipulaci samotného dílu do a z pracovního prostoru stroje se potom používají mechanické manipulátory, které jsou buď integrované přímo ve stroji nebo stojí mimo stroj.

2. Výměna nerotačních součástí

Pro automatizaci výměny nerotačních součástí je vhodné použít mezičlánek mezi obrobkem a strojem. Jako tento mezičlánek slouží přípravy ve formě palet nebo palety osazené systémem upnutí polotovaru. Obě tyto varianty mají jednotný upínací systém. Paletový systém by měl splňovat následující požadavky: [13] [13]

- (a) Čas výměny palety musí být zkrácen na možné minimum
- (b) Dostatečná tuhost palety umožňující transport a dostatečně tuhé upnutí obrobků
- (c) Paleta musí být upnuta přesně a dostatečně tuze na pracovním stole
- (d) Vysoká živostnost palet
- (e) Systém výměny by měl být automatický
- (f) Paleta by měla být identifikovatelná

Paletový systém se vyskytuje v několika variantách. Buď jako systém se dvěma pracovními stoly, které jsou uspořádané v kruhu či přímce vedle sebe. Další variantou je systém s jedním pracovním stolem a dvěma stoly manipulačními nebo manipulačním otočným dvojstolem. Samotné palety jsou mezi stoly přepravovány pomocí dopravníků nebo manipulátorů.



Obr. 21 Tříosé obráběcí centrum s platovým systémem [24]

U všech systémů probíhá výměna palet na stejném principu. První paleta je po obrobení přesunuta z pracovního prostoru do pozice pro výměnu obrobku za polotovar a druhá paleta je přemístěna do pracovního prostoru, kde dojde k obrobení. Tento proces probíhá simultánně. Příklad stroje s paletovým systémem je na Obr. 21.

4.2. Průmyslové roboty a manipulátory

Obsahem této kapitoly je popis průmyslových robotů a manipulátorů a jejich dělení do jednotlivých kategorií podle kritérií, která jsou pro tyto zařízení stěžejní.

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, průmyslové roboty a manipulátory jsou dnes nedílnou součástí různých průmyslových aplikací. Jejich procentuální nasazení z pohledu jednotlivých technologických profesí je popsáno v Tabulka 1.

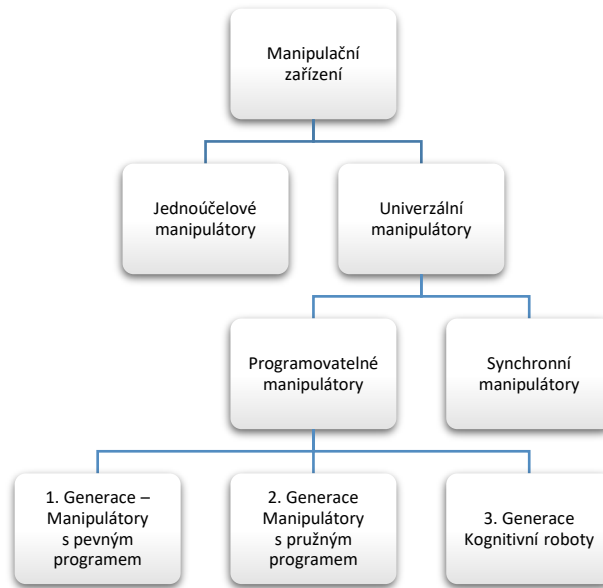
Tabulka 1 Nasazení průmyslových robotů a manipulátorů v průmyslu [13]

Oblast nasazení	%
Manipulace nástrojů, obrobků, palet na obráběcích strojích	52 %
Bodové odporové svařování karosérií a podvozků	15 %
Povrchové úpravy	12 %
Tlakové lití ková a plastických hmot	8 %
Manipulace u tvářecích strojů	7 %
Obloukové svařování s ochranou atmosférou	2 %
Montážní a měřicí práce	2 %
Odpichové roboty a těžké manipulátory v hutnictví	1 %
Jiné práce	1 %

Z tabulky je patrné, že počet robotů nasazených pro spolupráci s obráběcími stroji je převažující a počet nasazených robotů se meziročně stále zvyšuje. Za tímto trendem stojí snaha zvýšit konkurenceschopnost pomocí snížení ceny práce a zvýšení efektivity pracoviště. Vhodně zvoleným typem manipulátoru lze u obráběcích pracovištích nahradit většinu operací, které dříve prováděla obsluha a zároveň je možné čas jednotlivých operací zkrátit na nezbytně nutné minimum. [7] [13] Toho je docíleno díky vlastnostem robotických manipulátorů, kterými jsou rychlost, přesnost a výkon. [25]

4.2.1. Dělení podle provedení a stupně řízení

Jedním ze základních členění průmyslových robotů a manipulátoru je rozdělení do skupin podle jejich funkčního provedení a stupně řízení. Toto rozdělení je znázorněno na Obr. 22



Obr. 22 Rozdělení manipulátorů podle provedení a stupně řízení [25]

Jednoúčelové manipulátory - tyto manipulátory jsou součástí konkrétního stroje například ve formě podavače. Často nemají vlastní pohon a jejich pohyb je vyvozen v důsledku činností prováděných mechanismem stroje. Jejich funkčnost je definovaná jejich názvem. Jsou to často jednoduchá zařízení, jejichž funkce má sloužit jednomu účelu a závisí na typu manipulovaného objektu. Využívají se například pro výměnu nástrojů. [25] [26] [13]

Univerzální manipulátory – jsou na rozdíl od jednoúčelových manipulátorů nezávislé na obsluhovaném stroji díky své konstrukci, řízení a způsobu pohonu. Díky své univerzálnosti se přizpůsobí více pracovištím a rozdílným technologiím. Často jsou mobilní a mají větší rozsah manipulace. [13] [27] [25] [26]

Synchronní manipulátory – jsou manipulátory jejichž řízení je prováděno pracovníkem a nejsou schopny pracovat v automatickém režimu. Tato zařízení jsou přímo spojena s člověkem nebo stojí samostatně mimo pracovníka například v prostředí pro člověka nebezpečném. Jejich funkcí je zesilovat silové a pohybové působení operátora. [25] [26] [13]

Programovatelné manipulátory – jsou manipulátory, které jsou řízeny řídicím systémem a jsou funkcí nezávislé na zařízení, které obsluhují [25] [26] [13] [27]

Manipulátory s pevným programem – jsou to programovatelné manipulátory první generace. Jsou pevně naprogramované a jejich program se nemění během provádění operace. Je nezbytné přizpůsobit pracoviště pro jejich nasazení, a to především s důrazem na bezpečnost. [25] [26] [13] [27]

Manipulátory s pružným programem – jsou manipulátory druhé generace, které jsou řízeny adaptivně díky možnosti volby programu podle situace, ve které se robot nachází. Tato situace může být definována sledovanou veličinou, která je měřena pomocí senzorů, jako jsou například senzory pro měření síly a kroutícího momentu. Hlavní aplikace těchto robotů je do operací bodového a obloukového svařování, nástřiku barev. [25] [26] [13] [27]

Kognitivní roboty – jsou manipulátory třetí generace, které jsou řízeny pomocí systému s umělou inteligencí. Tento systém se adaptuje v závislosti na prostředí robota a sám vytváří program, který je generován na základě člověkem vložených algoritmů a vstupů ze senzorů. [25] [26] [13] [27]

4.2.2. Dělení podle stupně volnosti

Počet stupňů volnosti označuje počet směrů, kterými se může manipulátor posunout a počet os, podle kterých se může otočit. Obecně platí, že čím více stupňů volnosti robot má, tím více pohyblivý je a zvyšuje se jeho manipulační schopnost, a s tím roste i cena. Roboty můžeme podle stupňů volnosti rozdělit do tří kategorií:

Univerzální robot – je robot, který má šest stupňů volnosti v kartézském souřadnicovém systému. [26]

Redundantní robot – je robot s více než šesti stupni volnosti. Tyto roboty se využívají pro svou vyšší volnost pohybu k obcházení překážek nebo aplikacím ve stísněných prostorech. [26]

Deficitní robot – je robot s méně než šesti stupni volnosti, které slouží k montáží nebo balení výrobků. Typickým představitelem této skupiny jsou roboty SCARA se třemi až čtyřmi stupni volnosti. [26]

4.2.3. Dělení podle kinematické struktury

Kinematická struktura je určena kinematickým řetězcem a vypovídá o konstrukčním provedení samotného robota. Kinematická struktura tak ovlivňuje základní vlastnosti. Podle kinematické struktury můžeme rozdělit roboty do tří kategorií:

Sériové roboty – jsou roboti s otevřeným kinematickým řetězcem. Stavba těchto robotů je tvořena pomocí řetězce vzájemně propojených ramen. Tyto klouby jsou ovládány pomocí motorů. Jejich konstrukce má často šest kloubů a tedy šest stupňů volnosti, proto je konstrukce relativně jednoduchá a je snadné ovládní a řízení. Nevýhodou je vyšší hmotnost konstrukce, která způsobuje nižší rychlost. Další nevýhodou je nízká tuhost a menší polohovací přesnost. [26] [25]

Paralelní roboty – jsou roboti s uzavřeným kinematickým řetězcem. Konstrukce je spojena ze závěsů, které jsou kloubově uchyceny. Tato konstrukce přináší vyšší tuhost a přesnost polohování. Nevýhodou je možnost kolize vzpěr a vyšší nároky na řízení. [25] [26]

Hybridní roboty – jsou kombinací paralelních a sériových robotů. Tato kombinace spojuje výhody obou variant.

4.2.4. Dělení podle typu pohonu

V průběhu vývoje se objevilo několik konstrukčních řešení manipulátorů s různými typy pohonů. Pohony uvádí mechanismus do rotačního nebo posuvného pohybu. K vyvození pohybu lze použít následující druhy pohonů.

Elektrické pohony – v současné době převažují konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů s elektrickými pohony. [26]

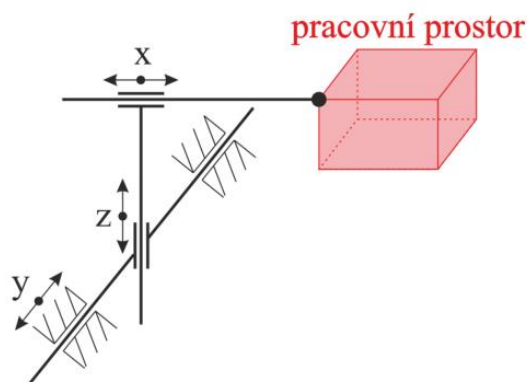
Hydraulické pohony – jsou využívány pro aplikace, kde jsou vysoké požadavky na nosnost. V takové konstrukci jsou použity nejčastěji hydraulické válce, do kterých vstupuje hydraulická kapalina. Hydraulické válce jsou schopny vyvinout vysoké síly při nižší hmotnosti konstrukce ve srovnání s elektrickými pohony. [26]

Pneumatické pohony – jsou využívány pro aplikace, kde jsou vysoké požadavky na rychlost pohybu. Té je dosaženo pomocí použití pneumatických válců, do kterých je přiveden stlačený vzduch. Nevýhodou použití pneumatického pohonu jsou relativně nízké síly, kterými může pohon působit. Využívá se tedy k manipulaci lehkých dílů vysokou rychlostí. [26]

4.2.5. Dělení podle geometrie pracovního prostoru

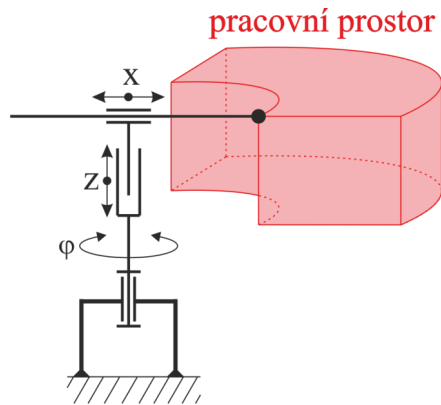
Pracovní prostor je prostor, který je ohraničen maximálním dosahem koncového bodu pohybového systému při využitích všech možných kombinací pohyblivých částí. Geometrie pracovního prostoru je tedy závislá na konstrukci a kinematické struktuře stroje. Dělí se do následujících kategorií. [26] [13]

Kartézský pracovní prostor – pravoúhlý pracovní prostor. Příkladem stroje pracujícím v kartézském pracujícím prostoru je tříosý manipulátor, který se pohybuje přímočaře v osách XYZ.



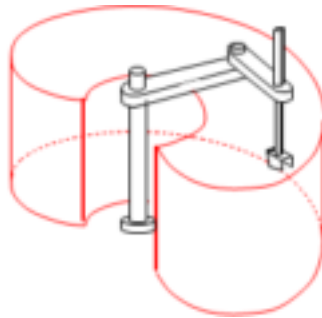
Obr. 23 Kartézský pracovní prostor [25]

Cylindrický pracovní prostor – pracovní prostor ve tvaru válce. V tomto pracovním prostoru pracují například tříosé manipulátory s otočným středovým sloupem.



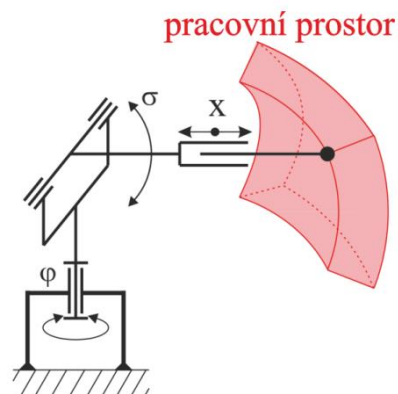
Obr. 24 Cylindrický pracovní prostor [25]

SCARA pracovní prostor – je speciální provedení cylindrického pracovního prostoru, který může mít více plošný tvar disku. Tento tvar je dán pohybem ramen robota v prostoru mezikruží a pohyb v třetím směru je uskutečněn pouze koncovým členem s efektozem. V případě manipulátoru SCARA se čtyřmi stupni volnosti dojde přidáním čtvrté osy ke zdeformování cylindrického prostoru. Výsledný tvar je znázorněn na Obr. 25.



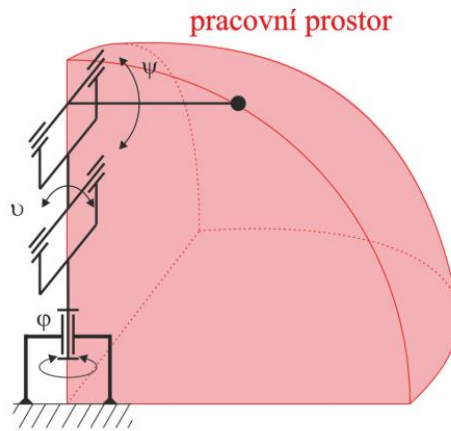
Obr. 25 SCARA pracovní prostor [28]

Sférický pracovní prostor – pracovní prostor má tvar kulového prstence, tedy prostoru mezi dvěma kulovitými tělesy, které jsou ohraničeny maximálním dosahem manipulátoru z různých směrů. Maximální dosah je omezen konstrukcí stroje.



Obr. 26 Sférický pracovní prostor [25]

Angulární pracovní prostor – je prostor obecného tvaru, který je vytvořen vzájemně spojenými rameny průmyslových robotů. Vnější obálka prostoru připomíná sférický pracovní prostor a je omezena maximálním úhlem natočení jednotlivých článků konstrukce.



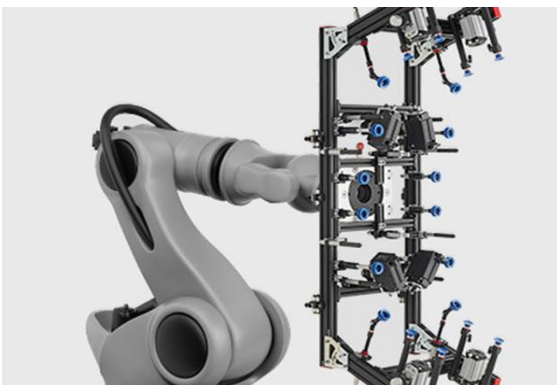
Obr. 27 Angulární souřadnicový systém [25]

4.3. Koncové efekторы

V této kapitole se budu věnovat popisu koncových efektorů. Obsahem je popis samotného významu efektorů a jejich dělení. Dále zaměřím obsah vzhledem k tématu diplomové práce na efekty určené k manipulaci.

Koncové efekty nebo, jak je lze nalézt v literatuře pod dalšími názvy, efekty, end effectors a EOAT jsou zařízení, kterými je zakončen pohybový systém průmyslových robotů a manipulátorů. Tyto zařízení umožňují robotům a manipulátorům splnit konkrétní úkoly. [5] [13] [26] V případě aplikací ve výrobě jde především o úkoly: [13]

1. Vkládání objektů do pracovního prostoru a následné vyjímání a odkládání objektů
2. Manipulace mezi operacemi
3. Technologické operace
4. Kontrolní operace



Obr. 28 Příklad konstrukce efektoru [28]

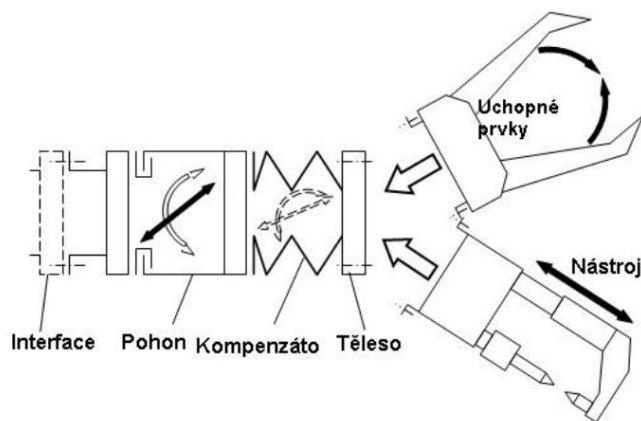


Obr. 29 Paralelní chapadlo Schunk SGC [29]

Efektory jsou z důvodu komplexnosti aplikací, pro které jsou použity, buď konstruovány speciálně pro danou operaci nebo se používají unifikovaná sériově vyráběná zařízení. Mezi výrobce těchto zařízení patří například společnost Schunk.

4.3.1. Struktura efektoru

Struktura efektoru nám dává informace o základních stavebních prvcích efektoru z pohledu funkce. Těmito stavebními prvky jsou interface, pohon, kompenzátor a přípojné těleso, na které je možno připojit specifický nástroj či úchopný prvek.



Obr. 30 Obecná struktura efektoru [26]

Interface – tento prvek zajišťuje připojení a komunikaci s koncovou částí robota. Aby si obě části parametry i tvary odpovídaly, jsou předepsány normou ISO. To zajišťuje přesné a tuhé, energetické, informační spojení efektoru s robotem. Při návrhu efektoru je důležité vzít v úvahu, zda charakter úkolu robota bude vyžadovat občasnou nebo častou výměnu efektoru. V případě častých výměn je vhodné výměny provádět automaticky pomocí automatického výměnného systému. [26] Příklad tohoto systému je na Obr. 31.



Obr. 31 Systém výměny Schunk SWS-001 [29]

1 – Pohon, 2 – Uzamykatelný mechanismus, 3 – Pouzdro, 4 – Středící a montážní část,
5 – Průchod elektrického vedení, 6 – Průchod vzduchu

Pohon – pohon slouží k vyvození pohybu čelistí u uchopovacích efektorů, nebo k vyvození pohybu samotného efektoru (doplňkový stupeň volnosti). [26]

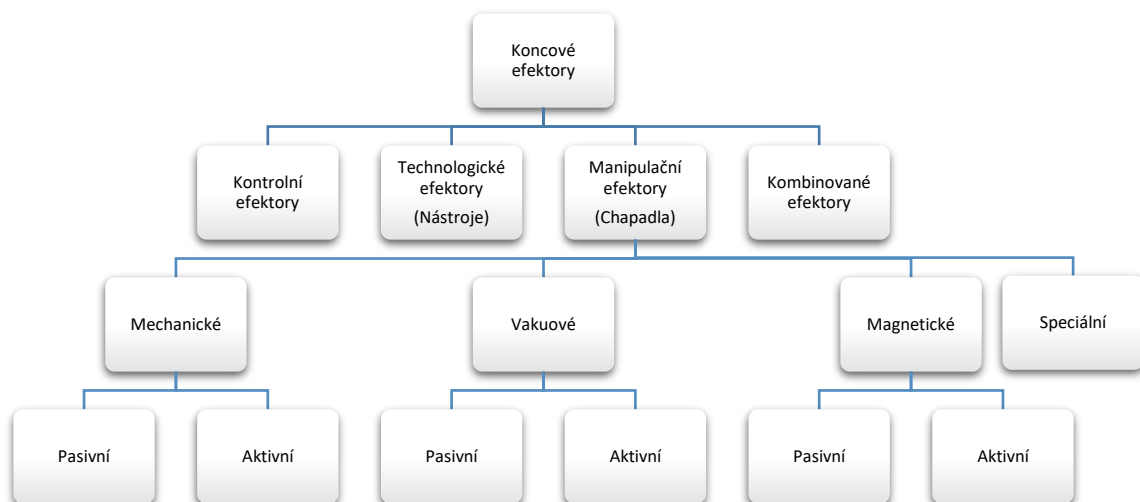
Kompenzátor – část struktury, která slouží k eliminaci nepřesností vzniklých při kontaktu efektoru a manipulovaného objektu. Principem funkce kompenzátoru je využití poddajnosti jeho konstrukce. Tím je dosaženo přizpůsobení pozice úchopných prvků vůči plochám na manipulovaném objektu. Použití kompenzátoru není velmi časté z důvodu snížení tuhosti konstrukce. [26]

Těleso efektoru – je stavební prvek, který zásadně rozhoduje o požadované tuhosti a přesnosti efektoru a slouží k propojení ostatních stavebních prvků. [26]

Úchopové a technologické prvky efektoru – jsou různé rozdílné prvky, které mají vykonávat požadovanou činnost. [26]

4.3.2. Dělení efektorů

Z důvodu úkolů, které mají koncové efekторы plnit, se dají efekторы rozdělit do základních kategorií, kterými jsou nástroje neboli technologické efekторы a Manipulační efekторы (grippery) nebo jak je lze nalézt v české literatuře „chapadla“, dále kontrolní a kombinované efekторы.



Obr. 32 Dělení koncových efektorů

Nástroje jsou koncové efekторы pro průmyslovou výrobu a kontrolu součástí. Mezi tyto nástroje pro průmyslovou výrobu patří například hlavice používané pro dělení materiálu, obrábění, spojování, povrchové úpravy a hlavice pro kontrolu součástí. Robot při těchto aplikacích často neřídí pouze relativní polohu nástroje vůči pracovní oblasti, ale také musí řídit činnost nástroje. Z tohoto důvodu musí být robot schopen přenášet signály do

nástroje. V některých případech je nutné použít větší množství nástrojů a robot tedy musí být schopen rychlé výměny nástrojů. Toho je dosahováno pomocí různých prostředků. Koncové efekторы mají pro tyto případy systémy rychlé výměny s uzamykacím systémem. To umožňuje rychlé odepnutí a upevnění různých nástrojů používaných během pracovního cyklu. [5] [30]

Chapadla neboli manipulační efekторы jsou koncové efekторы, které jsou používané k uchopení a manipulaci předmětů během pracovního cyklu. Vzhledem k velkému počtu variací dílů, které mohou být manipulovány musí být většina chapadel navržena či volena na míru. Rozhodujícími parametry jsou hmotnost, velikost, tvar a materiál předmětu. Z toho důvodu existuje několik typů chapadel použitých v průmyslu. [5] [26] [13]

1. Mechanická chapadla skládající se ze dvou či více prstů sloužících k uchopení.
2. Vakuové efekторы, které k uchopení využívají přísavky.
3. Magnetické zařízení pro uchopení železných dílů
4. Speciální zařízení, ke kterým mohou patřit adhezivní zařízení, která používají lepicí látku k přichycení pružného materiálu nebo jednoduchá mechanická zařízení, kterými jsou háky a lopatky.

Stejně jako u automatizačních prvků obráběcích strojů je i u chapadel kladen důraz na co nejefektivnější provoz z hlediska času, ceny samotného zařízení a zpětné vazby na své okolí. To přináší řadu inovací do manipulačních efektorů. Jednou z těchto inovací je použití dvojitého chapadla, které se skládá ze dvou chapadel v jenom koncovém efektoru určeném pro zakládání polotovarů a vyndávání dílů. S jedním chapadlem by robot musel provést pohyb do stroje a ze stroje dvakrát. Jednou aby vyndal hotový díl a podruhé aby založil nový polotovar. S dvojitým chapadlem robot uchopí další díl, zatímco stroj stále zpracovává předchozí díl. Po dokončení cyklu stroje robot sáhne do pracovního prostoru a volným chapadlem vyjme hotový díl a dalším chapadlem s již připraveným polotovarem založí polotovar. Tím se zkracuje doba potřebná pro výměnu dílu. Další inovací je použití vyměnitelných prstů, které lze použít na jednom chapadlovém mechanismu. Pro manipulaci s křehkými součástmi lze využít prsty se senzorickou zpětnou vazbou, kdy chapadlo poskytuje informace o přítomnosti manipulovaného dílu nebo je mechanismus schopen omezit sílu působící na manipulovaný díl. [5]

Dalším významným kritériem při dělení efektorů je rozdělení na pasivní a aktivní úchopové prvky. Pasivní úchopové prvky na rozdíl od aktivních samy o sobě neumožňují ovládat úchopnou sílu. Hlavice efektorů, které obsahují pouze pasivní prvky pak nazýváme pasivní úchopné hlavice. Pokud hlavice obsahují pouze aktivní prvky nebo kombinaci aktivních a pasivních prvků, pak tyto hlavice nazýváme aktivní úchopné hlavice. [13] Příklad těchto úchopových prvků a jejich pohonů je v Tabulka 2.

Tabulka 2 Klasifikace úchopových prvků z pohledu typu úchopového prvku [26]

Typ efektoru	Typ prvku	Úchopové prvky a pohony
Mechanické	Pasivní	S pevnými a stavitelnými ÚP
		S pružnými ÚP
		Speciální (suchý zip, lepidlo, aj.)
	Aktivní	S Hydromotorem
		S pneumatickým motorem
		S elektromotorem
S elektromagnetem		
Magnetické	Pasivní	S permanentními magnety
	Aktivní	S elektromagnety
Vakuové	Pasivní	Přísavky
	Aktivní	S vývěvou
		S ejektorem

Z tabulky je patrné, že u efektorů je možné využívat široké spektrum prvků pro uchopení předmětu.

4.3.3. Mechanické manipulační efektor

Mechanické efektor jsou efektor, které vyvozují mechanické síly na manipulovaný objekt a díky tomu je možné objekt přemístit. Mezi nejjednodušší mechanické efektor patří hlavice osazené různými typy tvarových lůžek, čepů, háku, vidlic a tak dále. Tyto hlavice označujeme za pasivní. Další často využívanou variantou pasivních mechanických efektorů jsou jednoúčelové podavače s prizmatickými lůžky. U této aplikace je síla, která přitlačuje objekt k pevným podpěrám, vyvozena vlastní tíhou objektu. Akční členy chapadel, které se používají k uchopení předmětu se mění v závislosti na manipulovaném dílu.



Obr. 33 Příklad aktivních mechanických efektorů [31]

Aktivní mechanické efekторы neboli mechanická chapadla jsou osazena pohyblivými částmi, které je možné aktivně ovládat. K uchopení objektu tak dochází podobným způsobem jako u lidské ruky, tedy vyvozením síly na objekt. Pohyb úchopových prstů nebo čelistí může být vyvozen od pohonu s rotačním nebo posuvným pohybem.

4.3.4. Vakuové manipulační efekторы

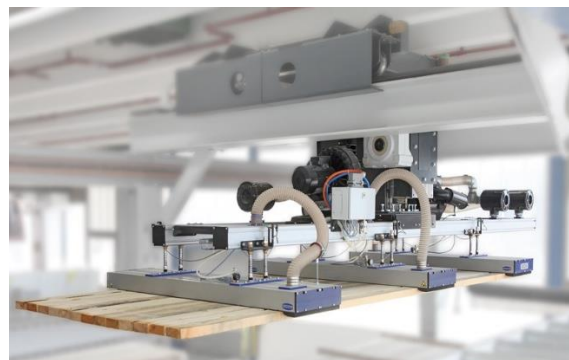
Jak vyplývá z názvu, vakuové manipulační efekторы využívají k manipulaci s objekty pasivní nebo aktivní pneumatické prvky, které jsou schopny vytvořit vakuum.

V případě pasivních prvků dochází k vyvození úchopné síly po přitlačení přísavky k povrchu objektu. Dojde k deformaci samotné přísavky a k vytlačení vzduchu z prostoru mezi přísavkou a manipulovaným objektem a tím vzniká podtlak, který díky konstrukci přísavky přetrvává i po odeznění přitlačné síly. Následné uvolnění objektu z přísavky se provádí pomocí stržení objektu. Toto stržení je vyvozené buď zpětným pohybem nebo zachycením objektu o jiné zařízení. Ke stržení dojde ve chvíli, kdy síla vyvozená protipohybem nebo zachycením je vyšší než přísavná síla. [26] [13]

U aktivních prvků dochází k řízenému vytváření podtlaku v určitou chvíli při styku s objektem. Ve styku s objektem je většinou přísavka nebo přísavná lišta, ve které je podtlak vytvářen pomocí ejektoru nebo pomocí vývěvy. Ejektor je zařízení fungující na principu Venturiho trubice, kde je vakuum vytvářeno pomocí přívodu stlačeného vzduchu, který sebou při průchodu trubicí strhává okolní částice vzduchu a vytváří vakuum. Ve snaze urychlit celý pracovní cyklus, je odpojení manipulovaného objektu od efektoru urychleno vpuštěním stlačeného vzduchu do přísavky nebo lišty. Tím dojde k okamžité eliminaci podtlaku a objekt se uvolní. [26] [13]



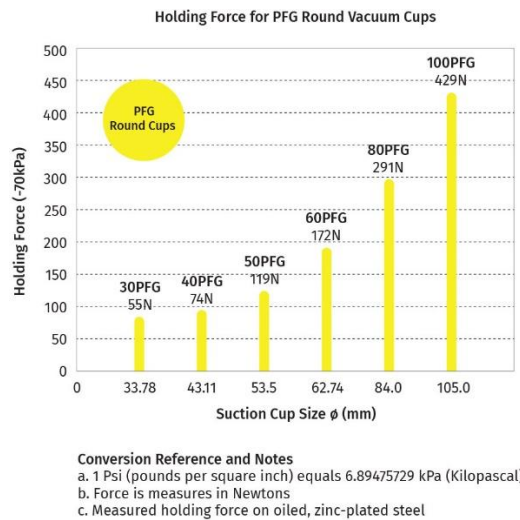
Obr. 34 Příklad přísavky s ejektorem od firmy Bilsing Automation [32]



Obr. 35 Příklad přísavné lišty od firmy SCHMALZ [33]

Obecné podmínky pro správnou funkci vakuových efektorů jsou neznečištěný a nepřiliš nerovný povrch manipulovaného předmětu. Stejně tak u pasivních prvků by neměl být manipulovaný materiál příliš porézní, aby bylo možné udržet podtlak pro dostatečně dlouhou dobu nutnou pro přemístění objektu. U aktivních prvků je možné manipulovat i

porézni předměty, skrz které dochází k sání vzduchu, ale stále se udrží dostatečně velký podtlak pod přísavným členem efektoru.



Obr. 36 Závislost přísavné síly na velikosti přísavky [34]

Velikost vyvozené přísavné síly závisí na velikosti plochy pod přísavným prvkem, která je ve styku s objektem a také na velikosti vytvořeného podtlaku. To je vidět na Obr. 36.

4.3.5. Magnetické manipulační efektor

Magnetické efektor se využívají k uchopení feromagnetických objektů pomocí pasivních prvků, kterými jsou permanentní magnety nebo pomocí aktivních prvků, kterými jsou elektromagnety. Pasivní efektor jsou díky své konstrukci, která nevyžaduje přívod energie, vhodné aplikovat do prostředí s nebezpečnou atmosférou, kde hrozí nebezpečí výbuchu. Jejich nevýhodou je ovšem potřeba přídavných zařízení, která slouží k uvolnění manipulovaného objektu. Aktivní efektor, které využívají programově ovládané elektromagnety, nejsou doplněny těmito uvolňovacími zařízeními, ale i u nich vznikají nevýhody použití elektromagnetů. Nevýhody se mohou projevit u menších objektů, u kterých dojde k vytvoření zbytkového magnetismu. Pro zaručení spolehlivého odložení objektu a jeho odmagnetování se tak v případě potřeby zařadí přídavné obvody do soustavy elektromagnetů, které krátkodobě působí nízkým napětím opačné polarity. [26]

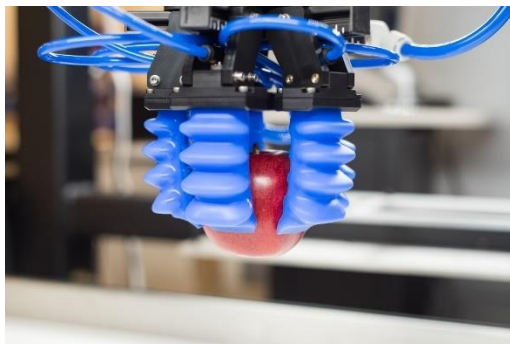


Obr. 37 Aktivní magnetický efektor [35]

Nevýhodou magnetických efektorů je zachycování drobných magnetických předmětů na magnetech. To má za následek nepřesnost polohování uchopeného předmětu. [13]

4.3.6. Speciální manipulační efekty

Efekty tohoto typu jsou přizpůsobeny konkrétní aplikaci a skládají se z konstrukčně neobvyklých prvků, kterými jsou například vícečlánkové adaptivní úchopové prvky.



Obr. 38 Příklad speciálního adaptivního efektoru [36]

Tyto úchopové nebo jiné speciální prvky jsou často pojmenovány přímo společností, která dané řešení vytvoří.

4.4. Závěr

Při zavádění manipulátorů do výrobních a přidružených procesů neexistuje pouze jedna možnost výběru. Stejně tomu je i při volbě typu koncového efektoru, který bude vykonávat požadovaný úkol. Výběr ideální konfigurace manipulátoru a efektoru je komplexní proces. Pro výběr je tedy nutné stanovit vhodná kritéria, kterými může být například morfologie manipulátoru, počet stupňů volnosti, plocha a výška pracovního prostoru, hmotnost manipulované součásti a vlastní hmotnost efektoru, možnost



komunikace a řízení, požadovaná rychlost pohybů a tak dále. V závislosti na zvoleném manipulátoru a efektoru je nutné přizpůsobit bezpečnost pracoviště.

5. Zavádění automatizace

Při zavádění automatizace do výrobních systémů a procesů by měl být i samotný proces zavádění a realizace co nejvíce efektivní a opírat se o data, aby nedocházelo k zavádění zbytečně drahých řešení do procesů, které ani nejsou vhodné pro automatizaci. Ověřenou strategií, jak dosáhnout úspěšného zavádění automatizace, je řídit se principem USA.

5.1. Princip USA

Tato metoda je prověřenou strategií zavádění automatizace. Samotný princip je intuitivní a jeho výsledkem může být buď na základě analýzy implementované správné řešení automatizace nebo rozhodnutí o nevhodnosti daného výrobního procesu pro automatizaci. Samotné pojmenování USA je akronymem postup kroků této metody, tedy 1. Porozumění současnému procesu (Understand the existing process), 2. Zjednodušení procesu (Simplify the process), 3. Automatizace procesu (Automate the process). Postup při užití této tříkrokové metody popíši v následujících kapitolách. [5]

5.1.1. 1. Krok: Porozumění současnému stavu

První krok se zaměřuje na analýzu současného stavu výrobního procesu a jejím cílem je pochopit všechny detaily daného procesu. Příkladem detailů může být: Co je vstup a co je výstup, co vše se stane mezi vstupem a výstupem, počet kroků v procesu, co je v procesu využíváno za stroje a nástroje, jakou hodnotu proces přidává, jaké jsou následné operace atd. K samotné analýze se využívají různé nástroje a metody průmyslového inženýrství v závislosti na tom, o jaký proces se jedná. Dále mohou být užitečné i matematické modely, které definují vztahy mezi vstupními parametry a výstupními proměnnými. Tyto informace mohou být cenné při identifikaci toho, jaké výstupní proměnné je třeba měřit pro účely zpětné vazby a při formulování algoritmů pro automatické řízení procesu. [5]

5.1.2. 2. Krok: Zjednodušení procesu

Po plném porozumění existujícímu procesu následuje jeho zjednodušení. Tento krok je velmi důležitý z hlediska finální ceny za automatizaci, a to díky odstranění nepotřebných kroků, které nemusí být automatizovány a není tedy třeba vytvářet velmi komplexní řešení. Hledání způsobu, jak co nejvíce zjednodušit proces často zahrnuje kontrolní seznam otázek. Těmito otázkami může být například: Je používána nejvhodnější technologie? Je tento krok nutný? Je možné tyto kroky odstranit bez změny kvality procesu?... [5]

5.1.3. 3. Krok: Automatizace procesu

Posledním krokem je již úvaha o automatizaci výrobního procesu, který byl upraven do nejjednodušší možné podoby. [5]

5.2. Závěr

Aby nedocházelo ke zbytečnému mrhání finančními zdroji organizace, je důležité přistupovat k zavádění automatizace systematiky a řídit se daty. Díky tomu je možné omezit investice do automatizace na nezbytně nutné a zajistit tak realizaci technologicky i finančně nejvhodnější varianty pro danou aplikaci.

6. Analýza současného stavu v Bilsing Automation

V této kapitole se budu věnovat analýze současného stavu ve firmě Bilsing Automation. Budu zde popisovat současný stav jednotlivých procesů, celků a prvků, které mohou mít vliv na návrh budoucího robotizovaného pracoviště.



Obr. 39 Postup provádění analýzy

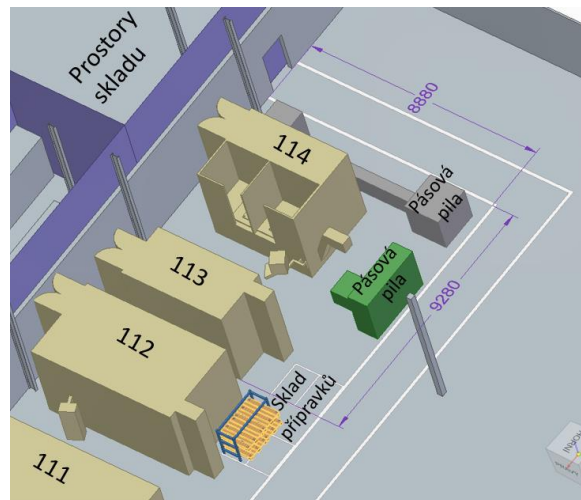
Pro analýzu jsem zvolil systém analýzy shora-dolů, při kterém jsem zkoumal současný stav od komplexních a větších celků až k celkům menším. Dále budu definovat a popisovat okrajové podmínky. Výsledky této analýzy budou sloužit v dalších kapitolách jako vstupy pro návrh optimálního konceptu robotizovaného a automatizovaného CNC pracoviště.

6.1. Layout

Zaměstnanci technologické přípravy výroby bylo ve firmě Bilsing Automation vybráno pro automatizaci pracoviště 114. Dále mi byl poskytnut layout výrobní haly a skladů z roku 2020. Layout nebyl přesný, proto jsem během následujících návštěv výrobní haly provedl potřebná měření pracoviště 114 a jeho okolí pomocí svinovacího metru a optických měřidel. Dále jsem doplnil layout o potřebné detaily a změnil rozmístění jednotlivých strojů tak, aby odpovídalo realitě. Skutečný současný layout je znázorněn ve formě 3D modelu na Obr. 42 a na Obr. 40 je v layoutu vyznačeno pracoviště 114 červeným obdélníkem.



Obr. 40 Současný layout výrobní haly Bilsing Automation



Obr. 41 Současný layout okolí pracoviště 114

Z důvodů nové organizace výrobní haly budou pásové pily přesunuty do skladu, kde pro ně bude vytvořeno nové místo a nová betonová podlaha. Dále bude úplně odstraněno staré obráběcí centrum z pracoviště 113. Po provedení všech těchto změn vznikne pro automatizované pracoviště prostor o délce 9,28 m a šířce 8,88 m. Přibližná velikost plochy pro vytvoření automatizovaného pracoviště je tedy 82,4 m². Tento prostor by ovšem neměl být zabrán zcela pouze automatizovaným obráběcím pracovištěm 114 z důvodu další možnosti rozšiřování výroby o nové obráběcí centra.

6.2. Obráběcí centrum

Na pracovišti 114 stojí stroj AXA Vario. AXA Vario je vertikální obráběcí centrum vybavené naklápěcím stolem DrillMatic. Jedná se o CNC frézovací a vrtací centrum, které je optimalizované pro obrábění středních součástí, vyžadujících zvýšenou tuhost stroje. Výrobce tohoto centra je AXA Entwicklungs- und Maschinenbau GmbH. Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tabulka 3.

Tabulka 3 Technické parametry AXA Vario

Vřeteno	60-600 ot/min
Posuv	10 000/ 25 000 mm/min
Stůl	2 030 x 650 mm (rozdělen přepážkou na 2 x 1000 mm)
Pracovní rozsah	Osa X – 1 760 mm Osa Y – 600 mm Osa Z – 600 mm
Zásobník	22 nástrojů
Datové rozhraní	RS232
Řídicí systém	Heidenhain TNC410M



Obr. 42 Obráběcí centrum AXA Vario

Pracovní stůl ve stroji je sice rozdělen na dvě poloviny o délce 1000 mm, ale vstup do tohoto prostoru je omezen velikostí posuvných dveří. Tyto dveře mají rozdílný rozměr. Šířka levých dveří je přibližně rovna 700 mm a šířka pravých dveří je přibližně rovna 850 mm. Přípravky, které se používají pro výrobu na stroji mají půdorysný rozměr 930 x 500 mm a je tedy nutné je při manipulaci otáčet a naklánět, aby bylo možné přípravek umístit a upnout do stroje.

6.3. Práce na stroji

Stůl obráběcího centra je rozdělen na dvě poloviny a lze tedy obrábět v jedné části, zatímco za přepážkou v druhé části stroje je možné uvolnit obrobek a upnout polotovary. Polotovary jsou ve formě výkovků z důvodu odstranění obráběcích operací vnějších ploch a snížení ceny výroby. Po obrábění operátor ručně otevře dveře oddělující obráběcí prostor od okolí, očistí stlačeným vzduchem přípravek od špon s emulzí a pomocí rázového utahováku provede uvolnění dílů z přípravku a následné založení nových dílů. Pracovní prostor s nově nabitým přípravkem je uzavřen a po dokončení obráběcích operací na druhé polovině stolu oddělné přepážkou operátor nastaví nový program, vřeteník přejde do pracovního prostoru nově nabitého přípravku a spustí se obrábění. Po dokončení výrobní zakázky následuje přetypování stroje na nový výrobek. Toto přetypování zabere přibližně dvě hodiny, během kterých proběhne výměna přípravků, výměna nástrojů, nastavení nových programů a nastavení nulového bodu. Samotná výměna upínacích přípravků ve stroji zabere přibližně 30 minut.

Při výměně nástrojů není možné vložit novou sadu nástrojů do zásobníku za běhu stroje a provádí se proto při přetypování stroje na nový výrobek. Výměnu nástrojů provádí operátor z přední strany stroje proti vřeteníku. Nástroje jsou na pracoviště dopravovány pomocí vozíků.



Obr. 43 Zásobník nástrojů



Obr. 44 Vozík pro transport nástrojů na pracoviště

Obráběcí operace na stroji tedy probíhají kontinuálně bez nutnosti zastavení stroje za účelem výměny obráběných dílů a stroj je zastaven pouze v případě přetypování na nový výrobek.

6.4. Materiálový tok na pracovišti

Materiál je na pracoviště dopravován ze skladu v plastových přepravkách KLT o rozměru 600x400x147 mm. Přepravky jsou naskládány na sebe a přemísťovány pomocí vozíku. Počet polotovarů v přepravkách je závislý na velikosti výrobní dávky. Ojedinele je, v případě velikých výrobních dávek, na pracoviště dovezena plechová přepravka o rozměrech 800x580x525 mm.



Obr. 45 Pracoviště 114

Na Obr. 45 jsou vidět oba druhy přepravek, které se na pracovišti 114 vyskytují. V levé části obrázku je šedá plechová přepravka a pravé části jsou vidět u stroje AXA naskládané plastové přepravky na manipulačním vozíku.

Dále je třeba z pracoviště odstraňovat špony vzniklé při obrábění. Stroj AXA Vario je vybaven pásovým dopravníkem špon. Tento dopravník směřuje směrem k logistické cestě a špony jsou dopravovány do manipulačních vozíků.



Obr. 46 Dopravník špon a manipulační vozík

Vozíky jsou po naplnění vyměněny za prázdné a naplněné vozíky jsou odvezeny operátorem.

6.5. Součástkové portfolio

Ve výrobním závodě společnosti Bilsing Automation v České republice se vyrábějí komponenty modulárního systému, ze kterého se skládají finální koncové nástroje, které společnost prodává. Výrobní portfolio se tedy skládá z kovovýroby, vstřikování plastů a dokončujících operací. Pro automatizaci bylo vybráno oddělením technické přípravy výroby vertikální obráběcí centrum, proto se při analýze součástkového portfolia zaměřím pouze na díly, které se vyrábějí na tomto stroji, nebo by bylo možné tyto součásti vyrábět na pracovišti 114 a zároveň je jich vyrobeno více než 1 800 ks ročně. Po konzultaci s technologií byla sestavena tabulka těchto dílů.

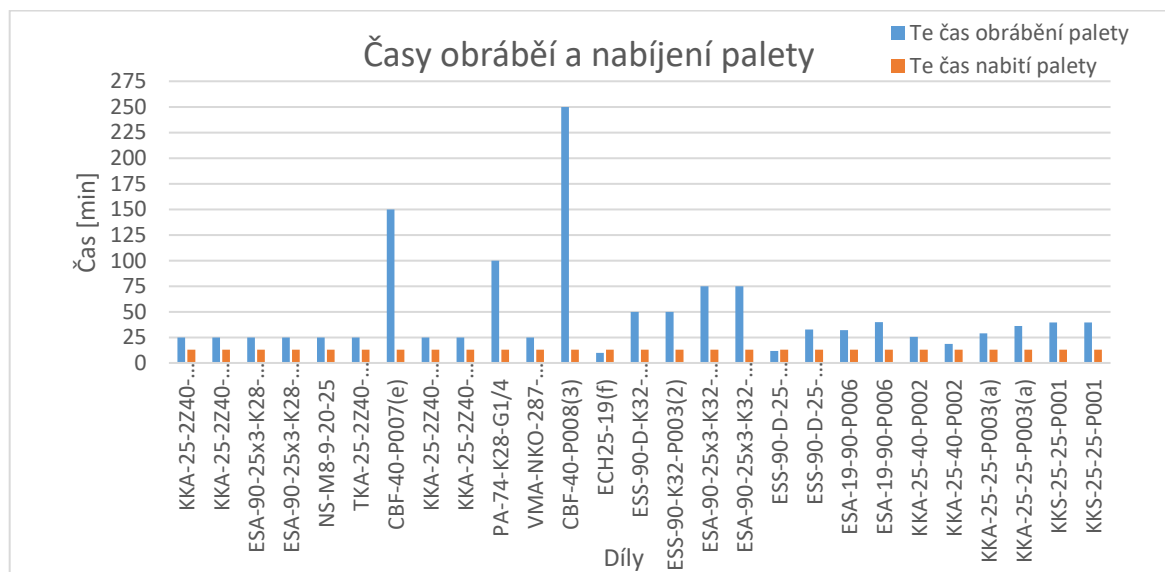
Tabulka 4 Vybrané díly pro AXA Vario

Vybrané díly	
KKA-25-2Z40-P032(b)	CBF-40-P008(3)
KKA-25-2Z40-P033(a)	ECH25-19(f)
ESA-90-25x3-K28-P011(1)	ESS-90-D-K32-P001(2)
ESA-90-25x3-K28-P012(1)	ESS-90-K32-P003(2)
NS-M8-9-20-25	ESA-90-25x3-K32-P012(1)
TKA-25-2Z40-P004(a)	ESA-90-25x3-K32-P011(1)
CBF-40-P007(e)	<u>ESS-90-D-25-P001(e)</u>
KKA-25-2Z40-P030(1)	<u>ESA-19-90-P006</u>
KKA-25-2Z40-P031(1)	<u>KKA-25-40-P002</u>
PA-74-K28-G1/4	<u>KKA-25-25-P003(a)</u>
VMA-NKO-287-BM-P006(d)	<u>KKS-25-25-P001</u>

Tyto díly pro automatizované pracoviště 114 byly vybrány z výrobního portfolia společnosti na základě počtu vyrobených kusů za roky 2019 až 2021. Nejvyšší počet kusů za rok je u těchto dílů až 25 000. Zároveň bylo vybráno 5 dílů pro ověření konceptu automatizace. Jsou to díly: ESS-90-D-25-P001(e), ESA-19-90-P006, KKA-25-40-P002, KKA-25-25-P003(a), KKS-25-25-P001. U těchto dílů jsou již odladěné a otestované přípravky a programy pro vybraný stroj. Tyto díly jsou v tabulce podtrženy.

6.6. Čas obrábění palety a čas upínání

Díly, které jsou vybrány pro možnost výroby na stroji AXA Vario nebo jsou na stroji již vyráběny, mají rozdílný čas upínání a obrábění. Hodnoty těchto časů jsou znázorněny pro lepší orientaci ve Graf 1. Pokud vypočítám průměrné hodnoty těchto časů, tak výsledkem je 48 minut pro průměrný čas výroby jedné palety a 15 minut je průměrný čas nabíjení upínacích přípravků.

Graf 1 Čas obrábění a nabíjení palet


Nabíjení a vyprázdnění upínacího přípravku v současném stavu probíhá ve stroji, proto lze předpokládat, že se při tomto procesu vytváří plýtvání času operátora z důvodu chybějícího ergonomického uspořádání pracoviště. Proto jsem provedl analýzu videozáznamu této operace a vyhodnotil jsem pomocí metody paper kaizen časy, díky kterým jsem určil, které činnosti v tomto procesu přidávají hodnotu, které nepřidávají, ale jsou nutné, a které jsou plýtváním času operátora.

Tabulka 5 Paper kaizen

Časový okamžik	Činnost	Čas [s]	Přidávající hodnotu	Nepřidávající hodnotu	Plýtvání
0:00:00	Start				
0:00:05	Uchopení momentového klíče	5		2	3
0:01:22	Povolování přípravku momentovým klíčem	77		77	
0:01:26	Odložení momentového klíče	4		2	2
0:01:28	Uchopení rázového utahováku	2		1	1
0:02:51	Povolování přípravku rázovým utahovákem	83		83	
0:02:56	Odložení rázového utahováku	5		2	3
0:03:03	Příprava prázdné přepravky na obrobky	7			7
0:03:12	Uvolnění obrobků z první řady přípravku	9		9	
0:03:31	Přendání obrobků do přepravky	19		10	9
0:03:39	Uvolnění obrobků z druhé řady přípravku	8		9	
0:03:55	Přendání obrobků do přepravky	16		10	6
0:04:02	Uvolnění obrobků z třetí řady přípravku	7		7	
0:04:14	Přendání obrobků do přepravky	12		10	2
0:04:22	Uvolnění obrobků z čtvrté řady přípravku	8		8	
0:04:40	Přendání obrobků do přepravky	18		10	8
0:04:47	Odložení přepravky a uchopení tlakové pistole	7		2	5
0:05:43	Čištění přípravku od špon	56		50	6
0:05:56	Odložení tlakové pistole	13		3	10
0:06:11	Vizuální kontrola přípravku	15		15	
0:11:40	Zakládání polotovaru do přípravku	329		301	28
0:11:45	Uchopení rázového utahováku	5		2	3
0:13:10	Utahování rázovým utahovákem	85		85	
0:13:15	Odložení rázového utahováku	5		2	3
0:13:21	Uchopení momentového klíče	6		2	4
0:14:43	Utahování momentovým klíčem	82		82	

0:14:48	Dodatečné očištění	5			5
0:14:57	Odložení momentového klíče a bedny s polotovary	9		2	7
Suma času		897	0	786	112
Procentuální podíl			0 %	88 %	12 %

Z analýzy je patrné, že v procesu nabití a vyprázdnění je 112 sekund plýtvání, které je způsobeno nevhodným rozvržením pracoviště a organizačními chybami. Proto lze předpokládat, že v případě vykonávání nabíjení a vyprázdnění na ergonomicky uzpůsobeném pracovišti a s dobrou organizací vykonávané činnosti, zabere tento proces pouze přibližně 13 minut místo 15 minut.

6.7. Polotovary

Díly vyráběné na stroji AXA Vario vstupují do obráběcího procesu jako polotovary ve formě hliníkových nebo ocelových výkovků. Tyto výkovky mají obecný tvar a jsou tedy tvarově složité a jejich konstrukce není uzpůsobena pro automatické upínání nebo univerzální upínací systémy. Jeden ze zástupců těchto polotovarů je vyobrazen na Obr. 47.



Obr. 47 Polotovary dílu KKA-25-25

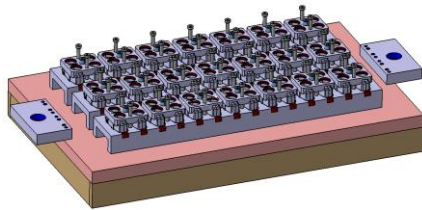
Z důvodu složitosti tvaru polotovaru jsou tedy polotovary obráběny ve speciálních upínacích přípravcích.

6.8. Přípravky

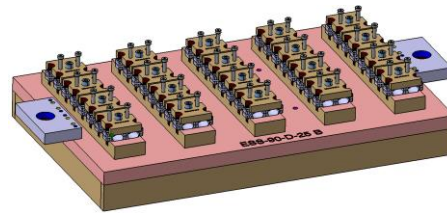
V současné době jsou na stroji AXA Vario obráběny díly v různých upínacích přípravcích. Pro příklad zde uvedu přípravky pro obráběcí operace dílu ESS-90-25. Tento díl je jeden z vhodných dílů pro automatizaci na stroji AXA Vario.

Pro ESS-90-25 jsou na stroji AXA Vario použity dva přípravky pro technologickou operaci 5 a 10. V operaci 5 se provede vrtání otvorů $\varnothing 25$ v přípravku A. Díly se po této operaci přeupnou do přípravku B a provede se vrtání děr $\varnothing 15$ a $\varnothing 9$, předvrtání a řezání závitu M8 a frézování. Tyto přípravky po osazení díly mají hmotnost přibližně 92 kg. Pro snazší manipulaci jsou na přípravek připevněny manipulační plechy s válcovou dírou. Při

demontáži přípravku ze stroje se do děr zaháknou háky upevněné na řetězy a přípravek je pomocí elektrického paletového vozíku vyzdvižen ze stroje a odvezen do skladu přípravků.



Obr. 48 Přípravek A pro díl ESS-90-25



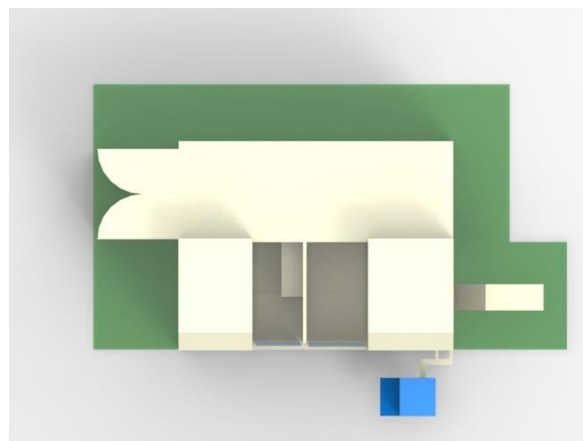
Obr. 49 Přípravek B pro díl ESS-90-25

Nové přípravky jsou následně do stroje upnuty pomocí upínací paletové stanice Schunk VERO-S NSE.

6.9. Okrajové podmínky

V této kapitole uvedu všechny okrajové podmínky, které vstupují do procesu návrhu robotizovaného obráběcího pracoviště.

Hlavními okrajovými podmínkami jsou prostor dostupný pro návrh a robotizovaného pracoviště. Tento prostor je roven 82,4 m², ale pracoviště by mělo optimálně zabírat méně prostoru. Dále je nutné počítat s obráběcím strojem a prostorem nutným okolo tohoto stroje, ale bylo možné provádět údržbu stroje, výměnu nástrojů a odvážet vozíky se šponami. Z toho důvodu jsem naměřil a definoval potřebný prostor, který by měl být okolo stroje zachován. Tento prostor je vyznačen na Obr. 50 zelenou barvou.



Obr. 50 Prostor okolo AXA Vario

Dále je nutné zanést do návrhu i manipulátor, který bude použit pro robotizaci. Společnost Bilsign Automation disponuje nevyužitým průmyslovým robotem KUKA KR 240-2, který by chtěli použít pro účely automatizace pracoviště 114. KUKA KR 240-2 je průmyslový robot s šesti stupni volnosti. Řada KR 240-2 disponuje výkonnými motory a tuhými převodovkami, díky čemuž má užitečné zatížení 270 kg, dosah 2 700 mm a přesnost s opakovatelností $\pm 0,06$ mm. Robot je díky své konstrukci nákladově efektivní. KUKA

garantuje 40 000 hodin nepřetržitého provozu. Tato životnost je zaručena díky bezřemenové konstrukci, kde je přenos pohybu zajištěn pomocí čelního ozubení.



Obr. 51 Manipulační rozsah KUKA KR 240-2 [37]

Tabulka 6 Parametry KUKA KR 240-2 [38]

Maximální dosah	2 700 mm
Jmenovité užitečné zatížení	240 kg
Maximální celkové zatížení	640 kg
Počet stupňů volnosti	6
Montážní poloha	Podlaha, Strop
Opakovatelnost umístění	±0,06 mm
Váha	1 267 kg

Další okrajovou podmínkou je velikost výrobních dávek. Současná velikost výrobních dávek je proměnlivá v rámci celého roku podle potřeby odbytu. Velikost se u všech typů dílů, které se vyrábějí na pracovišti 114 liší, ale osciluje okolo hodnoty 500 ks. Zároveň ale z rozhovorů se zaměstnanci společnosti vyplynulo, že je snaha zmenšovat skladové zásoby na nezbytné minimum a na skladech držet pouze část nejobrátkovějších dílů. Z toho důvodu by mohla být zmenšena velikost výrobních dávek při správné konfiguraci pracoviště, které by umožňovalo efektivní využití času operátora a stroje.

6.9.1. Závěr

Z analýzy současného stavu výroby na pracovišti 114 vychází několik okrajových podmínek, které by měly být brány v úvahu při návrhu automatizace na pracovišti. Jednou ze základních okrajových podmínek je dostupný prostor pro návrh nového pracoviště. Toto pracoviště se musí vejít do prostoru o maximální ploše 82,4 m², ale zároveň by mělo být, pokud možno co nejmenší, aby bylo možné zbylý dostupný prostor využít v budoucnu i na vytvoření dalšího pracoviště než pouze automatizované pracoviště 114. Okolo dostupného prostoru vede vyznačená cesta, do které nesmí pracoviště zasahovat.

Další z faktorů, které musí být zařazeny do návrhu, je samotné obráběcí centrum AXA. Pracovní prostor tohoto stroje je rozdělen na dvě části a je tedy nutné uvažovat do návrhu současné pracovní postupy práce na tomto stroji. Prostor okolo stroje je také nutno respektovat z důvodu možnosti servisu, údržby a manipulace s vozíkem na špony

Z důvodu výroby dílů ve speciálních upínacích přípravcích je nutné vzít do úvahy manipulaci s těmito přípravky, které v osazeném stavu váží přibližně 92 kg. Stejně tak je nutné zvážit i manipulaci s nástroji při přetypování stroje na nový výrobek, a tedy umožnit seřizovači pohodlný přístup do místa výměny nástrojů.

Na pracoviště bude nutné dopravovat přepravky s polotovary a odvážet přepravky s vyrobenými díly. Z důvodu možného automatizovaného provozu je nutné vyřešit uložení vyrobených dílů do doby, než je obsluha opět odstraní.

Do návrhů pracoviště je vhodné zapracovat robot KUKA, který je v současné době ve společnosti Bilsing Automation nevyužit.

7. Návrh automatizace obráběcího pracoviště

V této kapitole popíši možný koncepční návrh automatizovaného pracoviště a tento návrh přepracuji do několika variant finální podoby automatizovaného pracoviště. Pro jednotlivé varianty sestavím přibližný nákladový model na základě odhadu a poptávky cen jednotlivých komponent a služeb. Odhady provedu na základě konzultace se zaměstnanci společnosti Bilsing Automation a s firmami, které dodávají jednotlivé cely, které vstupují do kalkulací variant.

7.1. Koncepce automatizace

Koncepci automatizace pracoviště lze sestavit s pomocí různých přístupů k jednotlivým systémům pracoviště, které budou mít vliv na finální podobu a funkčnost pracoviště. Pro usnadnění návrhu pracoviště provedu funkční dekompozici a následně sestavím morfologickou tabulku dekomponovaných funkcí, na základě které vyberu nejlepší konfiguraci automatizovaného pracoviště. Podle této konfigurace poté bude proveden 3D návrh několika variant pracoviště v CAD systému.

Při návrhu je nejprve nutno stanovit, jaký je nejvhodnější typ automatizace, který by měl být pro daný proces navržen. Jak bylo zmíněno v dřívějších kapitolách, pracoviště může být navrženo za účelem tvrdé nebo flexibilní automatizace. Tvrdá automatizace je vhodná použít v případě, že se na daném pracovišti vyrábí veliké výrobní dávky malého počtu typů dílů a není tedy nutné často přestavovat automatické systém za účelem přetypování pracoviště na jiný výrobek. Naopak pružnou automatizaci je vhodné použít pro aplikace, kde je potřeba vyrábět vysoké množství typů výrobků v menších výrobních dávkách. Vzhledem k širokému spektru součástek, které se vyrábějí v dávkách není vhodné zavést ve společnosti Bilsing Automation tvrdou automatizaci. Návrh automatizace tedy bude zaměřený na pružné řešení automatizace.

Dalším ze základních přístupů při návrhu pracoviště je stanovit systém pro přípravu polotovarů a odkládání obrobků. Z povahy funkce automatizace je důležité mít polotovary a obrobky umístěny v přesně určené poloze, ze které je může robotické rameno odebrat. Poloha může být buď fixní nebo proměnná.

Pro proměnnou polohu polotovarů, které mohou být nasypány v bedně nebo položeny na paletě, se používají systémy automatického vyhledávání objektů. Tyto systémy jsou kombinací kamerových systémů a senzorů pro měření vzdálenosti. Tento systém je nejpružnějším provedením systému ukládání/odebírání polotovarů či obrobků, ale zároveň je tento systém velmi nákladný a vyžaduje kvalitní světelné podmínky pro zajištění opakovatelnosti. Dále se u tohoto systému může vyskytovat problém s odrazem světla u lesklých hliníkových dílů. Systém v takovém případě nedokáže díly přesně detekovat.

Fixní poloha výrobků odpovídá vždy definované poloze v pracovním prostoru a je určená konstrukcí zásobníku polotovarů. Tyto zásobníky lze realizovat několika způsoby. Jedním z nejjednodušších způsobů je realizovat zásobník jako skluz, kde se budou polotovary postupně sesouvat po nakloněné rovině díky působení vlastní tíhové síly.

Dalším způsobem je použití poháněného pásového dopravníku s koncovými senzory. Pásový dopravník pak lze využít i pro dopravu hotových výrobků z pracoviště.

Konstrukce odlišná svou funkcí od skluzů a dopravních pásů je zásobník s rastrem. Rastr je plocha s pravidelně rozmístěnými ukládacími buňkami. Tyto buňky mají většinou tvar, který zajistí vystředění polotovaru do přesné polohy, která je vůči robotu neměnná. Tvar pro uložení polotovaru může být čtyřhranný otvor nebo otvor a zářez odpovídající tvaru polotovaru. Samotný rast je poté nejčastěji v šikmé poloze, aby docházelo k vystředění dílů jejich vlastní vahou. Po vyčerpání zásoby je rastr doplněn nebo dojde k výměně celého rastru v pracovním prostoru. Rastrové zásobníky je nejvhodnější používat pro tvarově jednoduché polotovary, které nevyžadují speciální tvar rastru pro každý vyráběný díl. Tyto polotovary jsou například krychle, kvádry nebo válce.

Mezi fixní systém ukládání polotovarů se řadí i zásobník palet. Tyto palety jsou osazeny polotovary a mohou být skladovány v regálech, kde mají svou pevnou polohu a robotický manipulátor pouze mění palety ve stroji.

Neméně důležitý je i systém zabezpečení pracoviště v případě použití průmyslových robotů. Zabezpečení by se nemuselo řešit pouze v případě, kdy by byl na pracoviště umístěn kolaborativní robot, který by nemanipuloval s ostrými předměty, ale při použití průmyslových robotů je důležité zajistit bezpečnost pracovníků. Nejjednodušším způsobem je oddělit pracoviště od zbytku výrobních prostor pomocí bezpečnostního oplocení. Do prostor pak může být vstup umožněn pouze za nečinnosti robota. Toho lze docílit pomocí senzorů na zámcích vstupních dveří, které při otevření dveří ukončí činnost robota. V případě pracoviště s otevřeným vstupem z důvodu manipulace materiálu na a z pracoviště lze tento vstup osadit světelnými závorami, které rozliší materiál od člověka a v případě zásobování pracoviště pouze materiálem skrze plot se neukončí činnost robota, protože bezpečnostní systém bude vědět, díky světelným závorám se systémem mutingu, že na pracoviště vstupuje pouze materiál a ne člověk. Dalším způsobem je monitorování celého pracoviště pomocí kamerového systému nebo laserového scanneru, který vyhodnocuje vzdálenost člověka od robota a v případě přiblížování obsluhy k pracovnímu prostoru robota dochází k jeho postupnému zpomalování nebo úplnému zastavení v závislosti na vzdálenosti obsluhy od robota a nastavení celého systému. Nevýhodou kamerového systému jsou vyšší pořizovací náklady a u systému využívajícího laser scanner je důležité, aby ve směru laserového paprsku nebyly žádné překážky. Tyto překážky omezují rozsah snímaného pole.

Dalším důležitým celkem je systém manipulace materiálu. Dělení a možnosti toho systému byly popsány v kapitolách o průmyslových robotech a koncových efektoch. Pro aplikaci ve společnosti Bilsing by se nejvíce hodilo použití robota se šesti stupni volnosti osazeného koncovým efektem.

Založení samotných polotovarů do obráběcího stroje a jejich následné obrobení je možné provádět po jednotlivých kusech nebo po několika kusech umístěných v přípravcích. Použití přípravků je vhodné především u frézování, kde je možné obrobit stejnou geometrii

na několika kusech jedním nástrojem bez nutnosti opakované výměny nástroje mezi operacemi. Tím se ušetří čas, který by byl nutný pro výměnu nástrojů při obrábění po jenom kuse.

Na základě výše zmíněných možností provedení jednotlivých funkcí a systémů pracoviště jsem sestavil morfologickou tabulku dekomponovaných funkcí. V této tabulce jsme vybrali nejvhodnější možná řešení pro automatizované pracoviště 114. Tento výběr jsem provedl na základě zjištěných okrajových podmínek, konzultací se zaměstnanci společnosti Bilsing Automation a informací z rešeršní části této práce.

Tabulka 7 Morfologická tabulka dekomponovaných funkcí

Funkce	Možnost 1	Možnost 2	Možnost 3	Možnost 4
Typ automatizace	Tvrdá automatizace	Pružná automatizace		
Zabezpečení prostoru	Oplocení s magnetickými zámky	Kamerovým systémem	Laser scanner	Světelná závora
Umístění vstupního materiálu	Flexibilní	Fixní		
Forma uložení vstupního materiálu	Skuz	Dopravník	Rastr	Zásobník palet
Zakládání materiálu	Jednotlivé kusy	Upínací přípravky		
Manipulátor	Jednouúčelový tříosý manipulátor	Univerzální průmyslový robot	Kolaborativní průmyslový robot	
Koncový efektor	Mechanický	Vakuový	Magnetický	Speciální

Na základě Tabulka 7 jsem navrhl koncept, podle kterého budou vytvořeny varianty pracovišť. Koncept je založen na použití průmyslového robota KUKA KR 240-2, který by manipuloval s celými paletami osazenými polotovary a zakládal je do stroje. Manipulace by byla prováděna díky mechanickému koncovému efektoru, který uchopí palety za čep na jejich přední straně. Robot bude palety po vyndání ze stroje odkládat na definovaný prostor. Po odložení obrobenej palety by robot uchopil připravenou naplněnou nebo nenaplněnou paletu a založil do pracovního prostoru. Tento sled operací by se opakoval i v druhé polovině pracovního prostoru. Palety budou uloženy ve skladovém regálu, který se bude nacházet uvnitř pracoviště. Pro zajištění polohy palety v regálu bude paleta odkládána na čtyři kovové trny. Tyto trny budou v každé paletové pozici v regálu. Aby nedocházelo

k vynášení špon a emulze z pracovního prostoru, bude do zásobníku nástrojů ve stroji přidána čistící vrtule pro odstranění špon. Roztočením vrtule po konci obráběcích operací dojde k očištění palet pomocí proudu vzduchu. Paleta by byla následně při vyjmutí nakloněna, aby došlo k odkapaní přebytečné emulze. Celé pracoviště bude oplocené a vstup do něj bude možný pouze skrze vstupní dveře osazené zámkem se senzorem. Pro dopravu přípravků na pracoviště bude sloužit otvor v pletivu, který bude snímán světelnými závory.

7.2. Návrh variant

Na základě koncepčního návrhu z předchozí kapitoly budu v této části diplomové práce zpracovávat návrh několika variant uspořádání robotizovaného pracoviště. Koncepce jednotlivých variant bude mít tuto podobu:

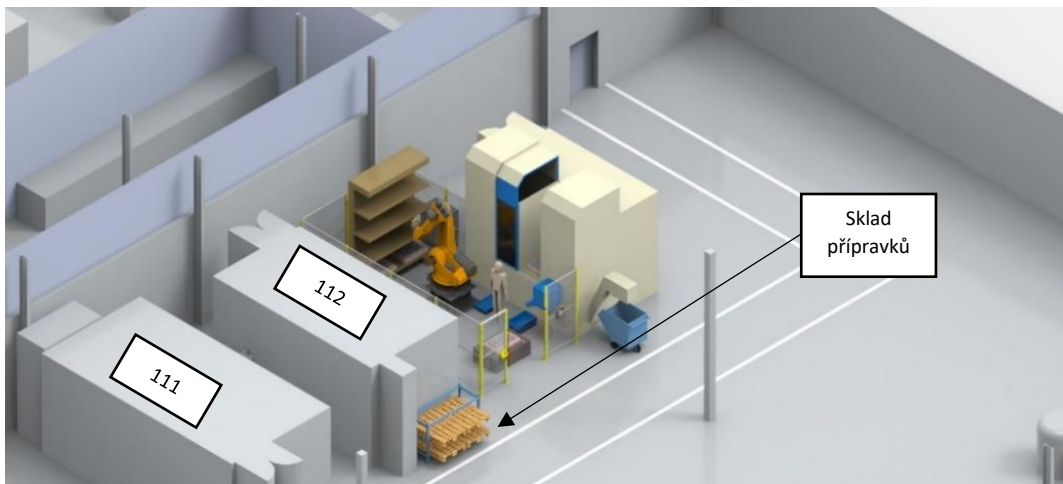
Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
<ul style="list-style-type: none"> • Pracovní prostor stroje je obsluhován stále operátorem • Robot slouží pro výměnu palet 	<ul style="list-style-type: none"> • Operátor provádí vyprazdňování a nabíjení přípravků/palet mimo pracovní prostor stroje • Robot provádí výměnu obrobených a neobrobených palet ve stroji. 	<ul style="list-style-type: none"> • Stejný princip jako u varianty 2 se změnou uspořádání pracoviště 	<ul style="list-style-type: none"> • Operátor provádí vyprazdňování a nabíjení přípravků/palet mimo pracovní prostor stroje na zdvojeném ergonomicky uzpůsobeném pracovišti a • Robot provádí výměnu obrobených a neobrobených palet ve stroji.

Obr. 52 Navrhované varianty

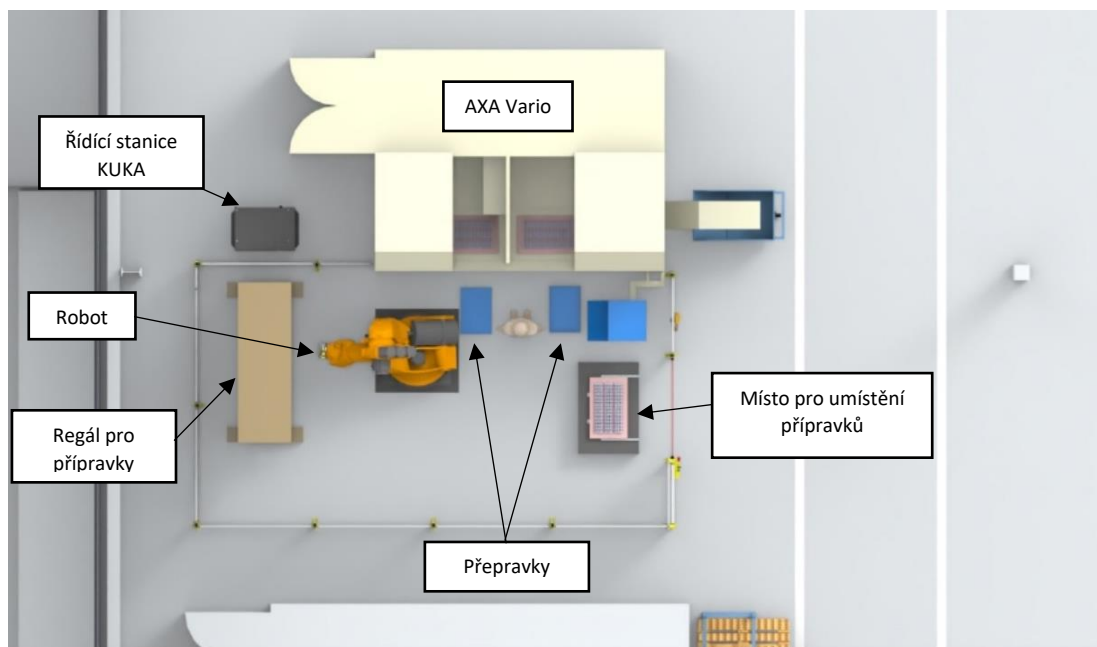
Detailnější popis těchto čtyř variant i s obrázky je v následujících kapitolách u každé varianty.

7.2.1. Varianta 1

V první variantě je robot KUKA KR 240-2 umístěn na ocelovém svařeném podstavci vysokém 500 mm a je umístěn před obráběcím centrem po levé straně. Umístění robotického ramena zabezpečuje dosah ramena do obou polovin pracovního prostoru, regálu, který slouží jako zásobník přípravků a stejně tak je v dosahu místo pro zakládání nových/starých přípravků.



Obr. 53 ISO pohled varianta 1

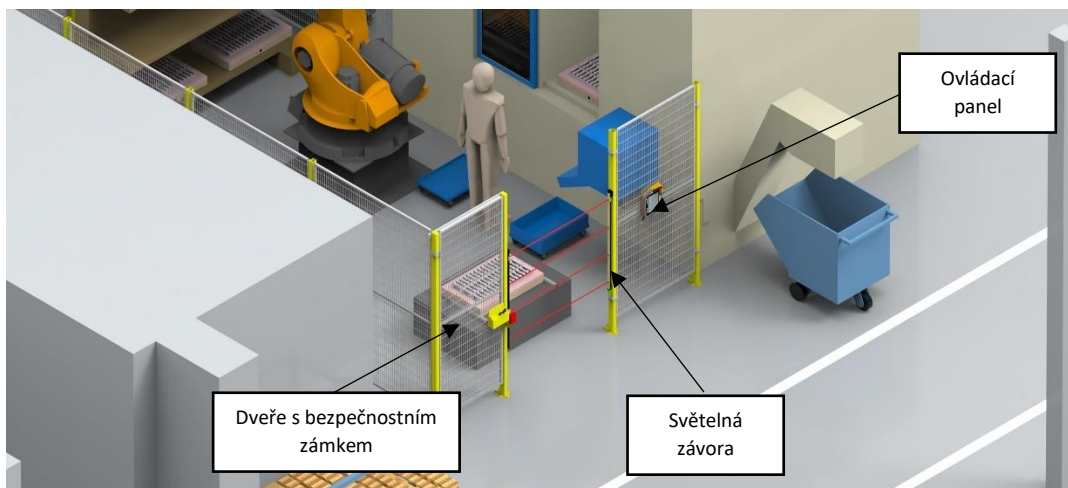


Obr. 54 Půdorys varianta 1

Pracoviště je stále obsluhováno operátorem, pro kterého bylo zachováno místo před obráběcím centrem. Operátor bude provádět výměnu polotovarů a hotových dílů v přípravcích přímo ve stroji, kdy po dokončení obráběcích operací v jedné z polovin obráběcího prostoru provede očištění přípravku od špon pomocí stlačeného vzduchu a následně provede výměnu polotovarů a hotových výrobků. Polotovary a hotové výrobky jsou umístěny v přepravkách, které má operátor po pravé i levé straně. Přepravky jsou umístěny na pojízdných vozících a je tedy možné s nimi manipulovat.

Při výměně přípravků ve stroji AXA Vario operátor opustí vnitřní prostor pracoviště a pokyn k výměně zadá na ovládacím panelu robota. Robot potom vyjme staré přípravky ze stroje a odloží do regálu a z regálu odebere nové přípravky a založí do stroje. Do regálu je možné uložit 8 přípravků. Při potřebě výměny přípravků v pozicích v regálu budou přípravky

z regálu odkládány na místo určené pro zakládání nových a starých přípravků. Z tohoto místa bude přípravek odstraněn pomocí paletového vozíku a nahrazen novým přípravkem. Při založení přípravku je důležité přípravek přesně vycentrovat, aby mohl být opět odebrán robotem. Pro zajištění vycentrování přípravku při zakládání paletovým vozíkem bude využito navádění přípravku pomocí vodících lišt až na doraz a přípravek se položí na čtyři kuželové otvory, do kterých zapadnou čepy na spodní straně přípravku, které se využívají pro upnutí přípravku na stroji v upínacím systému Schunk. Přípravky, které nebudou využívány na pracovišti, budou uloženy ve stávajícím skladu přípravků na pracovišti 112.



Obr. 55 Detail varianta 1

Aby byla dodržena bezpečnost na pracovišti při automatickém chodu robotického ramene, je pracoviště oploceno panely společnosti Troax a vstup do něj je možný pouze přes dveře s bezpečnostním zámekem Troax PLd, který je osazen senzorem. Díky tomu je možné sledování vstupu na pracoviště a odstavení robota v případě vniknutí na pracoviště. Dalším bezpečnostním prvkem je světelná závora společnosti Sick. Závora má funkci mutingu a je tedy možné nastavit rozlišení lidí od materiálu, který vstupuje na pracoviště. Díky tomu je možné zakládat nové přípravky na pracoviště a nepřerušit tak provoz robota.

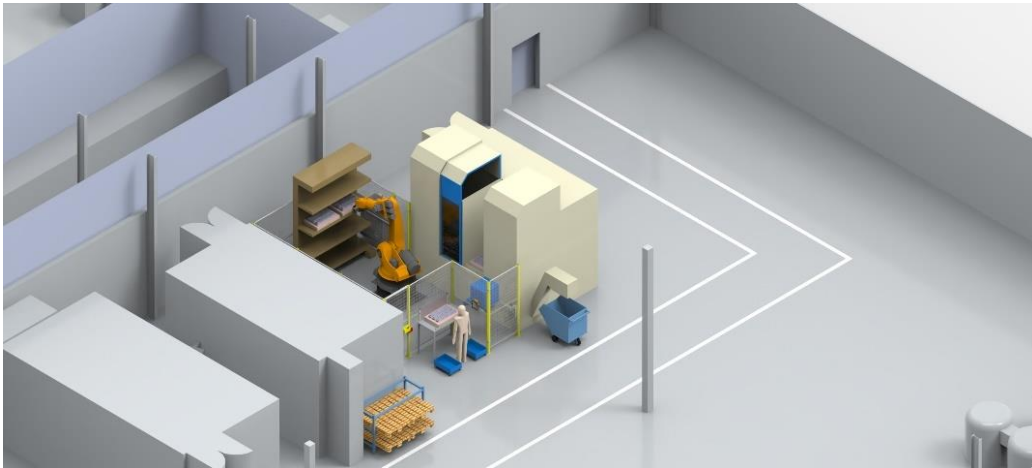
Tabulka 8 Náklady na variantu 1

Náklady na automatizaci pracoviště 114 – Varianta 1	
Manipulátor + příslušenství	990 000 Kč
Koncový efektor	67 000 Kč
Paletová spojka 10x	90 000 Kč
Oplocení	42 800 Kč
Bezpečnostní systém	36 900 Kč
Konstrukce a výroba	5 000 Kč
Montáž + oživení	50 000 Kč
Celkem	1 281 680 Kč

Náklady na realizaci této varianty jsou 1 281 680 Kč.

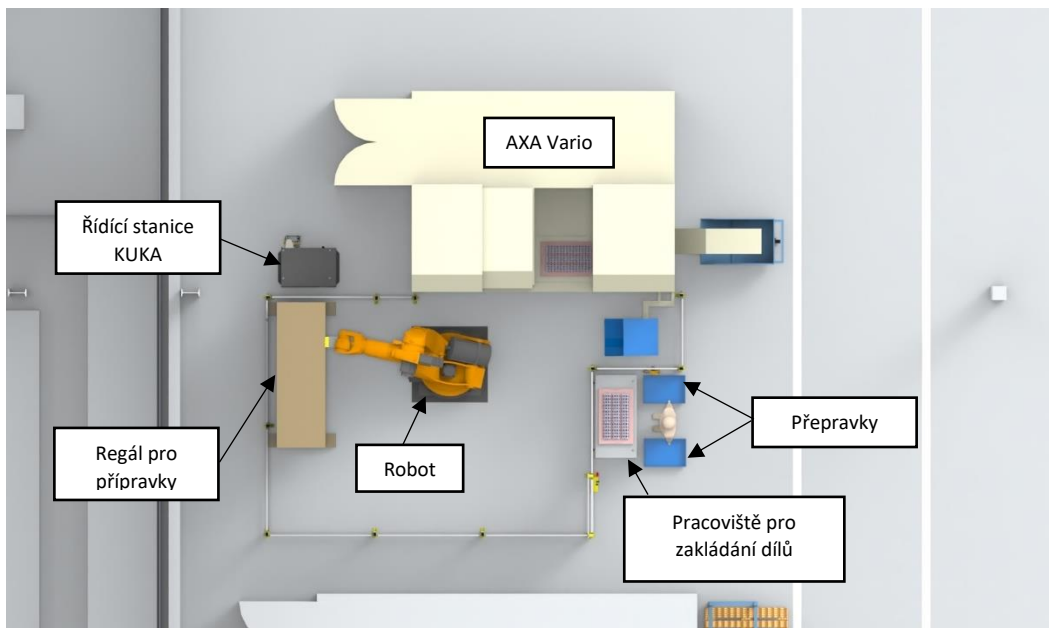
7.2.1. Varianta 2

U druhé varianty je na rozdíl od první varianty stroj obsluhovaný robotickým ramenem, které odebere přípravek ze stroje po obrobení a umístí ho na pracoviště uvolnění a založení přípravků, které je obsluhováno operátorem. Přípravky budou očištěny od špon a emulze ve stroji pomocí programu automatického čištění, který bude proveden pomocí čistící rotující vrtule upnuté ve vřeteníku.



Obr. 56 ISO pohled varianta 2

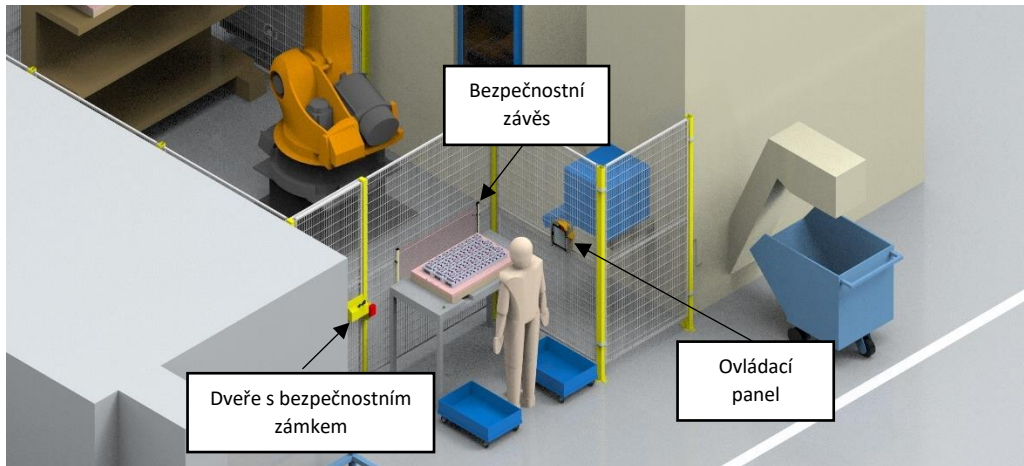
Uspořádání a poloha regálu i robota zůstávají stejné jako ve variantě 1, tedy robot i regál pro přípravky jsou umístěny na levé straně. Pracoviště pro provádění uvolnění výrobků a založení polotovárů je umístěno mimo robotické pracoviště.



Obr. 57 Půdorys varianta 2

Pracoviště pro zakládání do přípravků se skládá ze stolu, na který bude umístěn přípravek přímo ze stroje nebo regálu pomocí robota. Robot přípravek umístí mimo

oplocenou oblast skrze snímaný prostor v bezpečnostním oplocení. Také se budou na tento stůl umísťovat nové přípravky ze skladu přípravků pomocí paletového vozíku. Přípravek bude na stole opět vycentrován pomocí vodičích lišt, dorazu a středících kuželů. Dále jsou zde vozíky s přepravkami pro polotovary a hotové díly. Na pracovišti bude také možné upnout polotovar do přípravků, které poté budou uloženy do regálu a při změně výroby na jiný kus budou již osazené přípravky rovnou upnuty do stroje.



Obr. 58 Detail varianta 2

Vstup na pracoviště bude zajištěn přes vstupní dveře osazené zámekem Troax PLd. Tím bude zajištěna kontrola vstupu na pracoviště při automatickém chodu robota. Vzhledem ke konceptu pracoviště, kde robot umísťuje přípravek mimo oplocené pracoviště je nutné zajistit, aby nedošlo ke zranění operátora na pracovišti a stejně tak je nutné zajistit, aby otvorem v plotu nikdo neprostrčil končetinu do pracovního prostoru robotického ramena. To je zajištěno pomocí bezpečnostního závěsu miniTwin od firmy Sick, který snímá otvor v bezpečnostním pletivu. Při manipulaci přípravku na pracoviště zakládání dílů se robot zastaví před otvorem a počká, než operátor stlačí dvě tlačítka, která má na stole. Tím je zajištěno, že operátor nemá horní končetiny nevhodně umístěny do cesty přípravku a robot tedy může bezpečně odložit přípravek. Po provedení operací na pracovišti operátor opět stlačí obě tlačítka a robot může nově nabitý přípravek umístit opět do pracovního prostoru obráběcího stroje.

Tabulka 9 Náklady na variantu 2

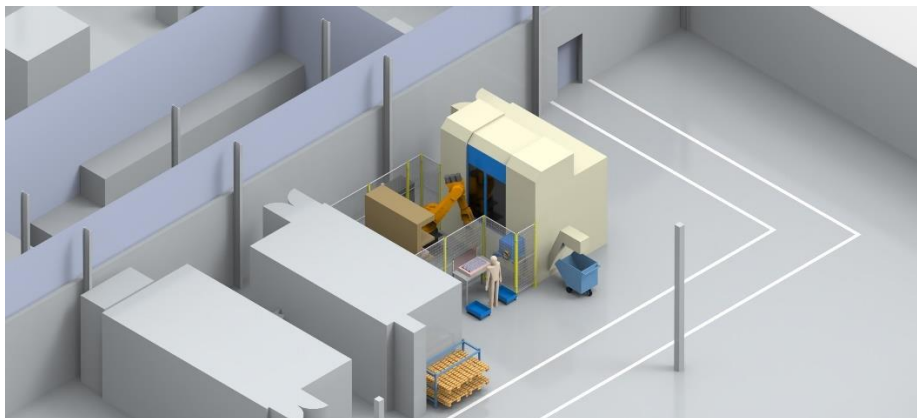
Náklady na automatizaci pracoviště 114 – Varianta 2	
Manipulátor + příslušenství	990 000 Kč
Koncový efektor	67 000 Kč
Paletová spojka 10x	90 000 Kč
Oplocení	47 100 Kč
Bezpečnostní systém	45 400 Kč
Konstrukce a výroba	6 000 Kč
Montáž + oživení	52 000 Kč

Otevírání dveří AXA Vario	2 000 Kč
Celkem	1 299 500 Kč

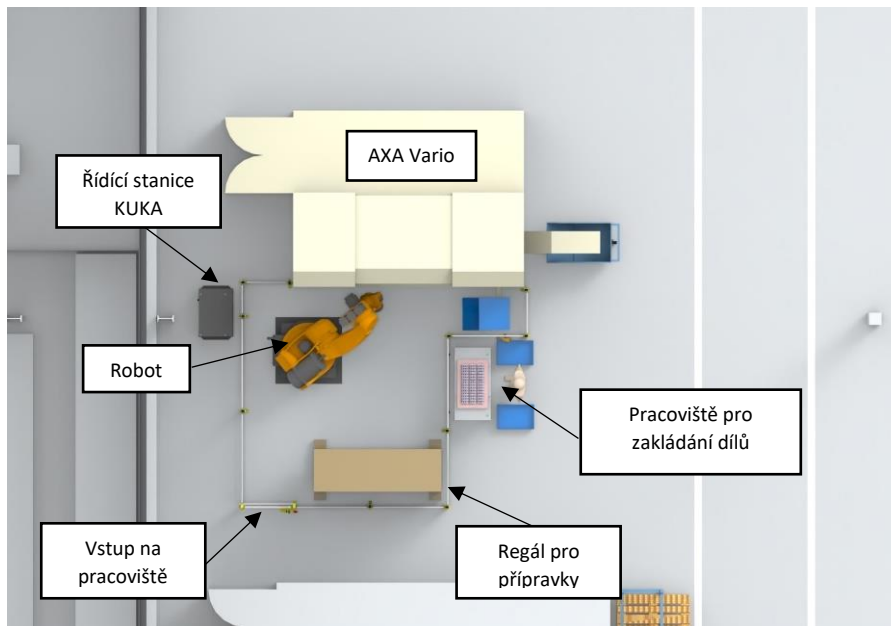
Náklady na realizaci této varianty jsou 1 299 500 Kč.

7.2.2. Varianta 3

U varianty 3 je zachován stejný koncept, jako u varianty 2, ale je zde provedena změna polohy regálu pro přípravky. U varianty 1 a 2 musel robot provádět pohyb o 180° při pohybu mezi regál a pracovištěm pro umístění přípravků a také pohyb o skoro 270° při pohybu mezi regálem a pracovním strojem. U varianty 3 zajišťuje konfigurace pracoviště efektivnější pohyb robota. Zkrátí se tak tedy nevýrobní čas manipulace.



Obr. 59 ISO pohled varianta 3



Obr. 60 Půdorys varianta 3

Vstup do prostoru pracoviště je v této variantě posunut kvůli novému umístění regálu. Nachází se tedy nalevo od regálu.

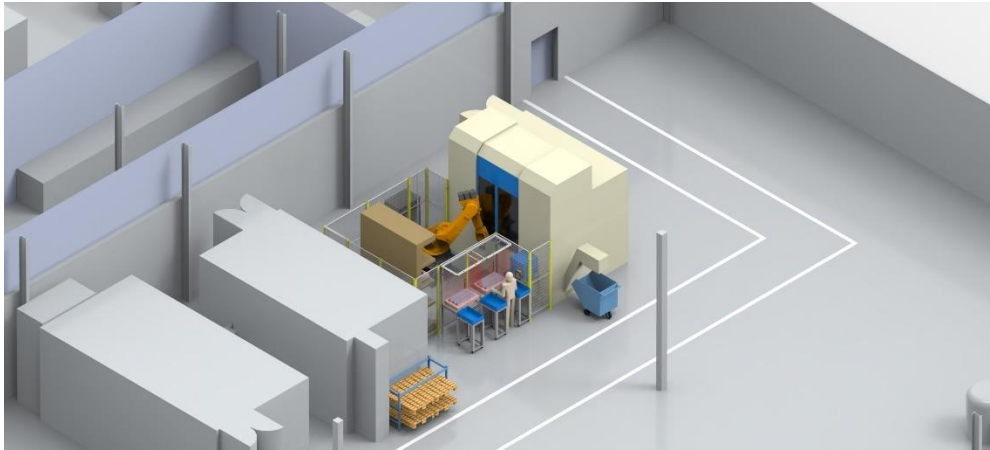
Tabulka 10 Náklady na variantu 3

Náklady na automatizaci pracoviště 114 – Varianta 3	
Manipulátor + příslušenství	990 000 Kč
Koncový efektor	67 000 Kč
Paletová spojka 10x	90 000 Kč
Oplocení	42 800 Kč
Bezpečnostní systém	45 400 Kč
Konstrukce a výroba	6 000 Kč
Montáž + oživení	52 000 Kč
Otevírání dveří AXA Vario	2 000 Kč
Celkem	1 295 200 Kč

Náklady na realizaci této varianty jsou 1 295 200 Kč.

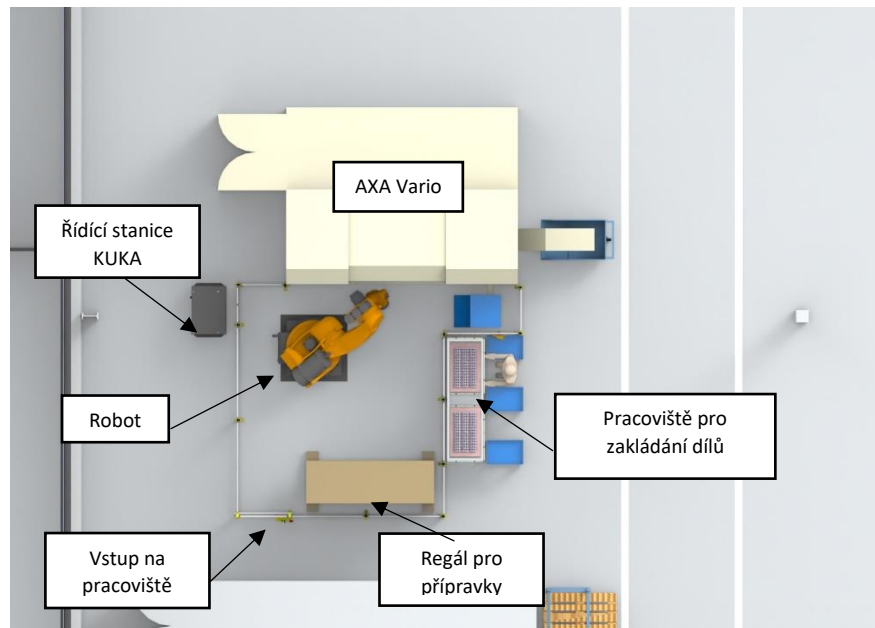
7.2.3. Varianta 4

U varianty 4 opět uvažuji polohu regálu vůči robotu a obráběcímu stroji stejnou jako u varianty 3, aby byly pohyby robota co nejvíce efektivní a zkrátí se tak čas samotné manipulace přípravku mezi regálem, pracovištěm pro zakládání dílů a strojem.



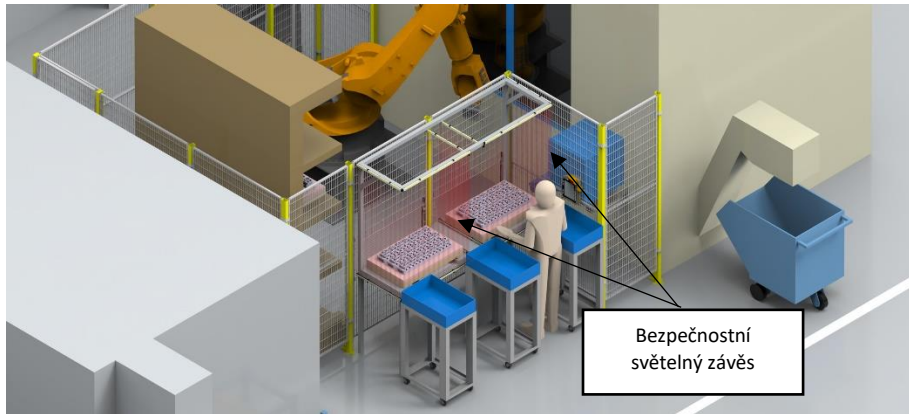
Obr. 61 ISO pohled varianta 4

Na rozdíl od varianty 3 je ale u varianty 4 zdvojené pracoviště pro zakládání dílů do přípravků a výměnu přípravků. Zdvojením tohoto pracoviště se dosáhne vyššího využití operátora v první směně. Tento operátor bude v první polovině pracoviště zakládat do přípravků díly, které jsou součástí výrobní zakázky, která zrovna běží na obráběcím stroji. Z grafu Graf 1 vyplývá rozdíl mezi časem výroby a časem nabíjení přípravků. Po nabití přípravku, který poté půjde do stroje má tedy operátor několik minut čas, který bude využit v druhé polovině pracoviště zakládání dílů. V této polovině budou připravené přípravky dílů výrobních zakázek, které budou ve výrobě na pracovišti 114 následovat. Tyto nabité přípravky robot po pokynu zadaným operátorem založí do regálu a po ukončení výroby aktuální výrobní zakázky robot uvolní přípravky ze stroje a založí je na volné pozice v regálu. Dále z regálu odebere následující již předpřipravené palety a založí je do stroje. Takto je možné vyrábět předpřipravené přípravky i bez přítomnosti operátora a snížit tak celkové náklady na provoz pracoviště.

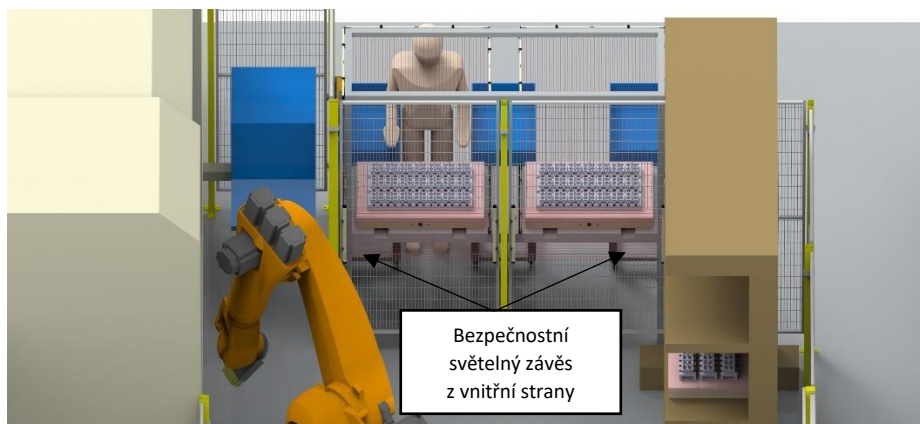


Obr. 62 Půdorys varianty 4

Aby bylo možné využít čas operátora v pracovišti co nejefektivněji, bylo pracoviště oproti předchozím variantám doplněno o prvky, které zajistí vyšší ergonomii práce a tím i urychlí čas nabíjení. Těmito prvky jsou podstavce pod přepravky s polotovary v úrovni rukou operátora. Dále je možné pro zvýšení efektivity výměny polotovarů v přípravných upevnit potřebné nástroje na oplocení v dosahu operátora. Další krok ke zvýšení efektivního využití operátora bylo vytvoření zabezpečení pracoviště tak, aby robot mohl připravit přípravek na volnou část pracoviště zakládání dílů, ve které zrovna operátor neprovádí zakládání, bez nutnosti toho, aby operátor musel přerušit zakládání a držet stlačená tlačítka, jako tomu je ve variantě 2 a 3. Pracoviště je tedy rozděleno pomocí kaskád světelných bezpečnostních závěsů na dva zabezpečené prostory. Vstupovat do tohoto prostoru může z jedné strany operátor a z druhé strany robotické rameno s přípravkem. Vstup operátora bude ošetřen pomocí spojení tří bezpečnostních závěsů. Pokud je světelný paprsek v této kaskádě přerušen, znamená to, že operátor provádí montáž na pracovišti a robotické rameno tak nemůže vstoupit do prostoru. Zároveň je nutné ošetřit vstup operátora do pracovního prostoru robota. To je zajištěné použitím světelného závěsu na oplocení, který snímá vstupní otvor v pletivu. Tento závěs je spuštěn pouze v případě, kdy je přerušen paprsek v první kaskádě tří závěsů, tedy ve chvíli, kdy je operátor na pracovišti. Ve chvíli, kdy se operátor na pracovišti nenachází, tak je závěs na oplocení vypnut a robotické rameno může vstoupit do prostoru a manipulovat s přípravkem.



Obr. 63 Detail na pracoviště operátora varianta 4



Obr. 64 Detail z vnitřní strany varianta 4

Tabulka 11 Náklady na variantu 4

Náklady na automatizaci pracoviště 114 – Varianta 3	
Manipulátor + příslušenství	990 000 Kč
Koncový efektor	67 000 Kč
Paletová spojka 10x	90 000 Kč
Oplocení	46 800 Kč
Bezpečnostní systém	194 400 Kč
Konstrukce a výroba	9 000 Kč
Montáž + oživení	52 500 Kč
Otevírání dveří AXA Vario	2 000 Kč
Monitoring řezných nástrojů	60 000 Kč
Celkem	1 559 700 Kč

Náklady na realizaci této varianty jsou 1 559 700 Kč. Oproti variantám 1,2 a 3 je vidět nárůst částky za bezpečnostní systém. Tento nárůst je způsoben především jinou konstrukcí a zdvojením pracoviště pro zakládání dílů a nutnosti rozlišit přítomnost pracovníka na jednom z pracovišť.

7.3. Automatizace stroje AXA Vario

Aby bylo možné využívat stroj v automatickém režimu bez operátora je nutné zajistit několik podmínek. Jednou z těchto podmínek je otevírání dveří samotného stroje. Stroj AXA Vario není vybaven automatickým otevíráním dveří pracovního prostoru. Proto je nutné automatizovat otevírání dveří pomocí přídavného zařízení nebo pomocí robotického ramene. Přídavným zařízením bude mechanismus, který bude umístěn na stroji AXA Vario a pomocí síly vyvozené pneumatickými válci zajistí otevření posuvných dveří. V případě otevírání dveří pomocí robota bude na dveře připevněn čep, ke kterému se může připojit koncový efektor a působením síly robota dojde k posunutí dveří.

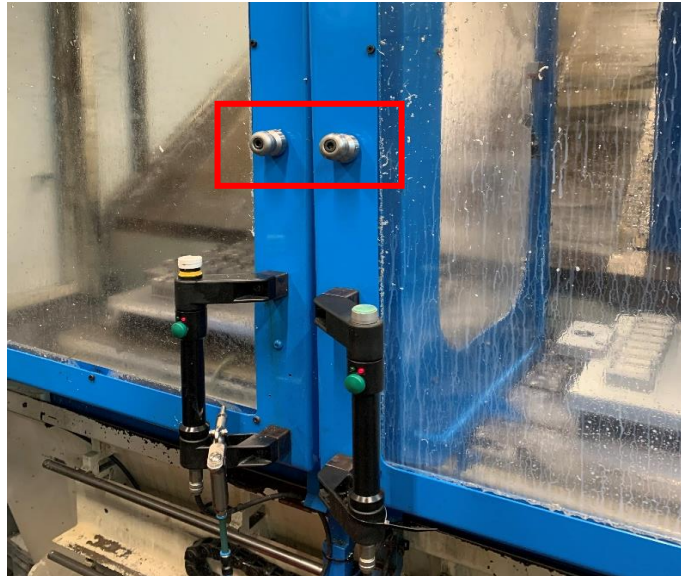
Dále je třeba zajistit monitoring řezných nástrojů při automatickém chodu stroje, protože řídicí systém stroje není vybaven funkcí sledování stavu nástrojů. To bude provedeno pomocí kamerového systému od společnosti Banner Engineering, který bude monitorovat stav nástrojů. Systém slouží na principu softwarového porovnání snímků nového neopotřebeného nástroje s nástrojem použitým v řezných aplikacích. Snímky budou prováděny pomocí kamery, která bude umístěna v pracovním prostoru stroje a provede snímek nástroje pokaždé po dokončení obráběcí operace.

Náklady na automatizaci výše zmíněných funkcí jsou vypsány v Tabulka 12. Tyto náklady vstupují do nákladů jednotlivých variant.

Tabulka 12 Náklady na automatizaci obráběcího centra

Otevírání dveří – Pneumatický systém	50 000 Kč
Otevírání dveří – Použití robota	2 000 Kč
Monitoring řezných nástrojů	60 000 Kč

U varianty otevírání dveří pomocí robotického ramene byla obava, že k otevření stroje není možné využít silové působení robota na posuvné dveře z důvodu konstrukce vodících lišt dveří. To by při otevírání pomocí robotického rameno mohlo způsobit zaseknutí a poškození dveří. Proto byly provedeny testy, které ukázaly, funkčnost této varianty a z důvodu výrazně nižší realizační ceny byla právě tato varianta uvažována do vstupních nákladů na automatizaci pracoviště.



Obr. 65 Čepy pro otevírání dveří

Čepy určené pro otevírání dveří jsou zobrazené na Obr. 65 v červeném obdélníku.

7.4. Návrh koncového efektoru

Aby bylo možné manipulovat s přípravky je nutné robotické rameno osadit koncovým efektor, který zajistí funkčnost celého automatického manipulačního systému. V této kapitole se budu věnovat specifikaci funkcí a parametrů, které efektor musí splňovat a dále zde rozpracuji návrh efektoru.

Efektor musí splňovat především funkci uchopení palety a následně její uvolnění po umístění na požadovanou pozici. Během tohoto přenosu palety z místa na místo musí efektor zajistit stabilitu palety a nesmí dojít k jejímu uvolnění nebo změně polohy vůči efektoru. Tato změna polohy by mohla mít za následek nepřesné uložení palety do paletové stanice Schunk VERO-S NSE nebo by nebylo možné paletu usadit vůbec a došlo by ke kolizi.



Samotná paleta váží v nejtěžším provedení plně založená polotovary 92 kg. Efektor tedy musí být schopen přemístit tuto paletu i při působení zrychlení vyvozeného robotickým ramenem.

Dále je nutné, aby bylo možné aktivní prvky efektoru ovládat a aby byl samotný efektor co nejvíce bezúdržbový a schopen zajistit spojení s paletou i při výpadku proud nebo poruše.

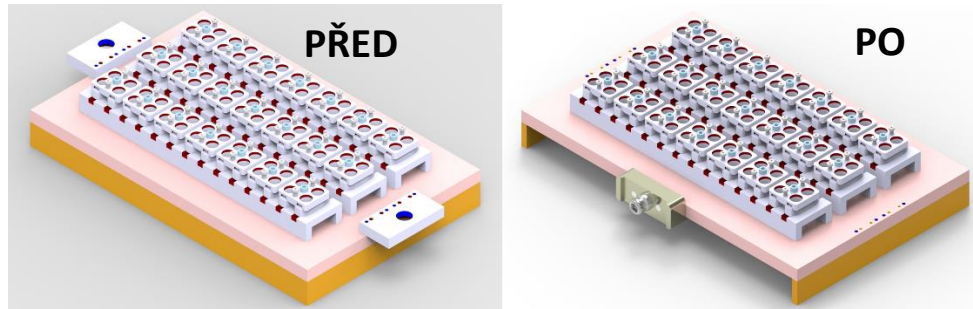
Manipulace palet neboli upínacích přípravků je jeden ze zavedených systémů manipulace s polotovary a na trhu existuje mnoho firem, které se věnují tomuto tématu a nabízejí svá řešení. Proto jsem se rozhodl pro návrh efektoru využít zařízení, která jsou dostupná na trhu a ověřená zákazníky. Pro aplikaci v Bilsing Automation je vhodný systém robotického modulu NSR 160 v kombinaci s paletovou spojkou PLK 160 od společnosti Schunk. Robotický modul je bezúdržbová spojka využívaná pro manipulaci s paletou v blízkosti stolu stoje při automatickém zakládání. Tato spojka je připevněna na robotické

rameno a její pomocí je uchopena paleta za spojku PLK 160, která slouží jako rozhraní mezi paletou a robotickým modulem. Spojku NSR 160 lze ovládat pneumaticky při tlaku 6 bar, který je ve společnosti Bilsing Automation dostupný. Mezi další výhody systému patří spojování pomocí krátkého kuželu, které zajišťuje opakovatelnou přesnost < 0,02 mm a díky patentovanému systému dvojitého zdvihu zajišťujícímu vysoký axiální přítlak nedochází při manipulaci ke chvění palety a samojistné zamykání zajišťuje zachování axiálního přítlaku i v případě poklesu tlaku.

Tabulka 13 Parametry komponent

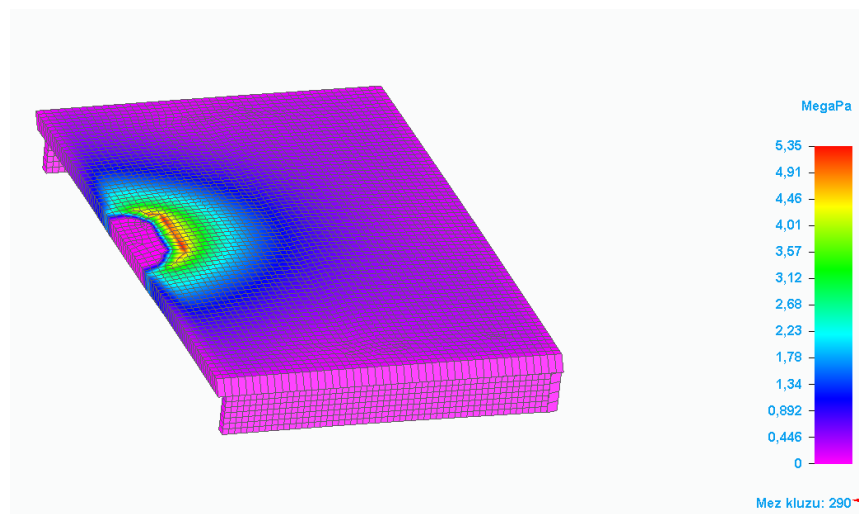
NSR 160		PLK 160	
 <p><i>OBR. 66 NSR 160 [39]</i></p>		 <p><i>Obr. 67 PLK 160 [40]</i></p>	
Délka	100 [mm]	Délka	159 [mm]
Šířka	60 [mm]	Šířka	60 [mm]
Axiální přítlak	4 [kN]	Hmotnost	1,5 [kg]
Odemykající tlak	6 [bar]		
Opakovatelnost	< 0.02 [mm]		
Max. moment Mx	600 [Nm]		
Max. moment Mz	1600 [Nm]		
Hmotnost	1,6 [kg]		

Tento systém je možné použít na všech druzích palet, které se při obrábění na stroji AXA Vario používají, ovšem bude nezbytné palety upravit, aby bylo možné připevnit paletovou spojku PLK 160. Při této úpravě je nutné odstranit přední část rámu nosné palety. Zároveň budou odstraněny původní plechy s otvory určené k manipulaci a paletová spojka bude připojena do středu přední části palety. Tato změna je zobrazena na Obr. 68.

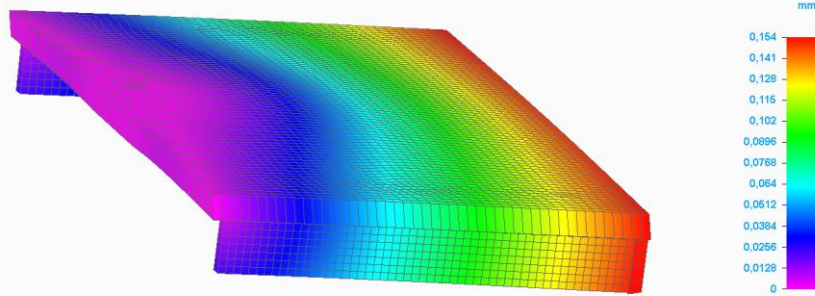


Obr. 68 Paleta před a po úpravě

Abych zjistil, zda bude zachována pevnost palet při manipulaci i po úpravě a připevnění spojky, provedl jsem simulaci zatížení upravené palety. Pro simulaci jsem uvažoval zrychlení vyvozené robotem 3 m/s^2 , gravitační zrychlení a maximální sílu 624 N , které působí na rám palety a je vyvozena hmotností funkčních částí upínacího přípravku a polotovarů. Z Obr. 69 je patrné, že maximální napětí nepřesahuje hodnotu $5,35 \text{ MPa}$ a z Obr. 70 je patrné, že maximální deformace palety bude rovna přibližně $0,154 \text{ mm}$. Paletu lze tedy považovat za dostatečně tuhou i po úpravě a je možné použít nový způsob uchopení palety pro manipulaci.

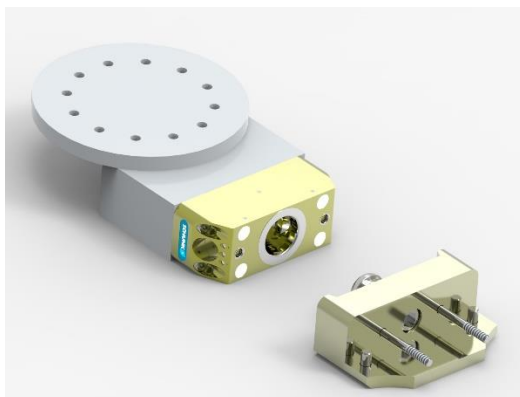


Obr. 69 Simulace maximálního napětí

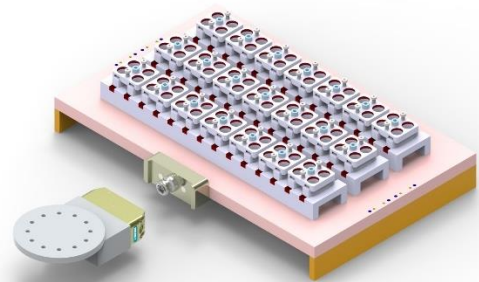


Obr. 70 Simulace maximální deformace

Celá sestava koncového efektoru se bude skládat z adaptéru, díky kterému bude možné připojit efektor ke koncové části robotického ramena, dále z modulu NSR 160, který bude připojen k adaptéru a dalšího montážního materiálu a pneumatických spojek. Manipulovaná paleta bude vybavena spojkou PLK 160. Tato konfigurace je zobrazena na Obr. 72.



Obr. 71 Návrh efektoru



Obr. 72 Efektor a upravená paleta

Pro ověření funkčnosti této konfigurace je nutné provést kontrolní výpočet, aby bylo zjištěno, zda NSR 160 vydrží zatížení vyvozené působením sil při manipulaci s paletou. Do kontrolního výpočtu vstupují následující proměnné:

$$m_{paleta} = 92 \text{ kg}$$

$$m_{spojka} = 1,5 \text{ kg}$$

$$l = 0,293 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Kde m_{paleta} je hmotnost nejtěžší používané palety, m_{spojka} je hmotnost spojky PLK 160, l je vzdálenost od těžiště palety k rozhraní mezi spojkou PLK a modulem NSR, g je gravitační zrychlení, a je předpokládané zrychlení vyvozené robotem při manipulaci. Tyto hodnoty jsou dosazeny do následujících vzorců.

$$F = (m_{paleta} + m_{spojka}) \times g + (m_{paleta} + m_{spojka}) \times a = \quad (1)$$
$$= (92 + 1,5) \times 9,81 + (92 + 1,5) \times 3 = 1198 \text{ N}$$

$$M = F \times l = 1198 \times 0,293 = 350 \text{ Nm} \quad (2)$$

Kde F je síla vyvozená manipulací s paletou a M je moment, kterým paleta působí na spojku. Dle výsledku je patrné, že maximální moment je 350 Nm a je tedy menší, než maximální povolný moment M_x 600 Nm. Vybrané komponenty tedy vyhovují dané aplikaci a dovolují v budoucnu použití těžších palet.

7.5. Závěr

V této kapitole jsem stanovil návrh nejvhodnějšího konceptu automatizovaného pracoviště za pomoci funkční dekompozice a morfologické tabulky. Na základě toho konceptu jsem vypracoval návrhy čtyř variant pracoviště. Tyto varianty jsou zaměřeny na automatizaci manipulace upínacích přípravků neboli palet. U každé varianty jsem vypracoval odhad investičních nákladů, který byl sestaven ve spolupráci s oddělením technické přípravy výroby, programátorem robotů a techniky společností, které prodávají systémy a komponenty použité v návrhu automatizace pracoviště. Dále jsem vypracoval návrh na doplnění funkcí stroje AXA Vario, který by umožnil automatický chod stroje. V závěru této kapitoly je návrh koncového efektoru a kontrolní výpočty navržených komponent a upravených palet.

8. Technicko-ekonomické hodnocení

V této kapitole se budu věnovat výběru nejvhodnější varianty pracoviště. Tento výběr provedu pomocí vícekritériální rozhodovací tabulky. V tabulce uvedu kritéria, která jsou zásadní pro výběr nejvhodnější varianty a bude jim přiřazena váha podle jejich důležitosti. Tato kritéria budou technického a ekonomického charakteru. Dále v tabulce k těmto kritériím u každé varianty přiřadím body. Tyto body budou na stupnici od jedné do deseti, kde deset je nevyšší možné hodnocení, a tedy deset je nejlepší možné hodnocení. Na druhé straně stupnice je nejhorší možné hodnocení jeden bod. Po přidělení bodů k jednotlivým kritériím a započtení váhy těchto kritérií, budou body sečteny a podle výsledku bude zvolena nejlepší varianta.

Prvním a nejdůležitějším kritériem je doba návratnosti investice do automatizace, někdy také označována zkratkou PP, která vychází z anglického názvu „Payback Period“. Doba návratnosti je jedno z nejdůležitějších kritérií při racionalizaci automatizace. Toto ekonomické kritérium budu počítat jako poměrem úspor nákladů na výrobu + zisk ze zvýšené produkce za jeden rok k celkové výši investované částky. Tento výpočet je popsán následujícím vzorcem, jehož výsledkem bude doba návratnosti v letech.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (3)$$

Kde T_s je doba návratnosti, IN jsou investiční výdaje a CF je roční úspora nákladů + zisk spojený s automatizací.

U varianty 1 je obráběcí centrum stále obsluhováno operátorem stejně jako v současném stavu a robot pouze vyměňuje palety ve stroji. Úspora nákladů tedy vzniká pouze ve zkrácení času, který je nutný pro přetypování stroje na nový výrobek. Během tohoto přetypování provádí seřizovač výměnu palet, která zabere přibližně 30 minut. Těchto přestaveb by podle odhadu mohlo během rohu proběhnout až 480. Odhad je založen na velikosti výrobních dávek vyráběných dílů na stroji AXA Vario a průměrnému počtu vyrobených kusů za minulé roky. Pokud by tedy došlo ke zkrácení těchto přestaveb o 30 minut bude ušetřen čas seřizovače a zároveň bude zvýšena produkce díky přidanému dostupnému času pro obrábění. Aby bylo možné vypočítat částku, kterou by bylo možné získat tímto zvýšením produkce různých dílů s různými výrobními časy, technologickými postupy a různými náklady na výrobu použil jsem data z ERP systému abas ERP. Díky těmto datům jsem zjistil náklady na úsek výroby prováděný v technologickém postupu na stroji AXA Vario pro všechny vybrané díly. Dále jsem vypočítal průměrnou dobu výroby jednoho dílu na stroji a z toho jsem určil, kolik je možné na stroji teoreticky vyrobit dílů za jednu hodinu a jaké jsou na to náklady. Ve společnosti Bilsing Automation je nastaven dvacetiprocentní profit, který je připočten k celkovým výrobním nákladům. Proto do výpočtu vezmu náklady za hodinu práce na stroji a z ní určím dvacetiprocentní zisk za tento hodinový náklad a vynásobím ho celkovým počtem ušetřených hodin.

Tabulka 14 Úspory a zisk z automatizace za jeden rok – Varianta 1

Varianta 1 – roční úspory a zisk	
Náklad na seřizovače	72 000 Kč
Zisk ze zkrácení času výměny palet	42 000 Kč
Náklady na údržbu a opravy	-36 900 Kč
Energie	-15 200 Kč
Celkem za rok	61 900 Kč

Doba návratnosti je potom tedy pro variantu 1:

$$T_{s1} = \frac{1\,281\,680}{61\,900} = 20,71 \text{ roku} \quad (4)$$

Pro variantu 2 jsou úspory a zisk stejný jako u varianty 1, ale zároveň jsou zde rozdílné náklady na zhotovení pracoviště.

Tabulka 15 Úspory a zisk z automatizace za jeden rok – Varianta 2

Varianta 2 – roční úspory a zisk	
Náklad na seřizovače	72 000 Kč
Zisk ze zkrácení času výměny palet	42 000 Kč
Náklady na údržbu a opravy	-36 900 Kč
Energie	-15 200 Kč
Celkem za rok	61 900 Kč

Doba návratnosti je potom tedy pro variantu 2:

$$T_{s2} = \frac{1\,299\,500}{61\,900} = 20,99 \text{ roku} \quad (5)$$

U varianty 3 jsou roční zisky spojené s automatizací stejné jako u varianty 1 a 2, ale úspory jsou předpokládány nižší díky efektivnímu pohybu robota.

Varianta 3 – roční úspory a zisk	
Náklad na seřizovače	72 000 Kč
Zisk ze zkrácení času výměny palet	42 000 Kč
Náklady na údržbu a opravy	-36 900 Kč
Energie	-12 200 Kč
Celkem za rok	64 900 Kč

Doba návratnosti je potom tedy pro variantu 3:

$$T_{s3} = \frac{1\,295\,200}{64\,900} = 19,95 \text{ roku} \quad (6)$$

Na rozdíl od varianty 1, 2 a 3 varianta 4 díky zvýšení ergonomie práce a zdvojení pracoviště pro zakládání dílů přináší zvýšení efektivity práce operátora. Tímto zvýšením je dosaženo toho, že operátor je během jedné směny schopen kromě založení dílů do

přípravků, které jsou upnuty ve stroji, založit také díly do přípravků, které jsou následně umístěny do regálů a připraveny pro další směnu. Tyto předpřipravené přípravky budou poté využity v další směně, a docílí se tedy úspory nákladů za operátora, protože již není nutné tyto přípravky osazovat polotovary v průběhu druhé směny. Kolik přípravků je schopen operátor během první směny nabít a vybit záleží především na vyráběných dílech. Abych se dostal k přibližnému odhadu počtu přípravků, které je operátor schopen naplnit a vyprázdnit během jedné směny, vypočítal jsem z vybraných dílů pro automatizaci průměrný výrobní čas jedné palety. Dále jsem určil odhadovaný čas nabíjení a vyprázdnění palety na ergonomicky uzpůsobeném pracovišti. Průměrný čas nabíjení a vyprázdnění palety zabere nyní přibližně 15 min, ale tento proces v současné chvíli probíhá ve stroji. Z analýzy provedené v kapitole 6.6 je patrné, že v procesu nabití a vyprázdnění je 112 sekund plýtvání, které je způsobeno nevhodným rozvržením pracoviště a organizačními chybami. V případě vykonávání nabíjení a vyprázdnění na ergonomicky uzpůsobeném pracovišti a s dobrou organizací vykonávané činnosti lze předpokládat, že tento proces zabere pouze přibližně 13 minut místo 15 minut.

Během jedné směny je na automatizovaném pracovišti možné vyrobit díly až z 10 palet za předpokladu, že na stroji není nutné měnit nástroje v zásobníku. Průměrná doba potřebná na výrobu jedné palety je 48 minut a průměrný čas nabíjení a vyprázdnění jedné palety na ergonomickém pracovišti je 13 minut. To znamená, že během výroby jedné palety na stroji je operátor schopen nabít dvě další palety a provést odjehlení vyprázdněné palety. Z těchto dvou palet jde jedna paleta rovnou do druhé části pracovního prostoru stroje AXA Vario a další nabitou paletu je možné uskladnit do regálu. Je nutné brát v úvahu i časový fond operátora, který je díky povinným i nutným přestávkám odlišný od časového fondu stroje. Po provedení výpočtu se započtením zkráceného časového fondu a započtením času, který pracovník tráví odjehlením, je výsledkem, že operátor je během jedné směny schopen založit a vyprázdnit až 8,7 palet, které je možné uložit do regálu. Regál ve variantě 4 je schopen pojmout až osm palet. Výroba těchto osmi palet zabere přibližně 6,4 hodin v další směně a během této doby není třeba zakládat ani vyprazdňovat tyto palety, a tedy ušetří se 2 hodiny operátora času. Dále není nutná neustálá přítomnost operátora během chodu stroje díky monitoringu nástrojů a je tedy možné využít operátora k jiným úkolům v rámci společnosti Bilsing Automation. Úspory spojené s automatizací jsou tedy následující.

Varianta 4 – roční úspory a zisk	
Náklad na seřizovače	72 000 Kč
Zisk ze zkrácení času výměny palet	42 000 Kč
Náklady na operátora	144 000 Kč
Náklady na údržbu a opravy	-36 900 Kč
Energie	-12 200 Kč
Celkem za rok	258 000 Kč

Doba návratnosti je tedy pro variantu 4:

$$T_{s4} = \frac{1\,511\,700}{258\,000} = 5,86 \text{ roku} \quad (7)$$

Z výsledků je patrné, že nejkratší doba návratnosti je pro variantu 4, která je zároveň nejvíce nákladná. Pro dobu návratnosti stanovím bodové ohodnocení následovně: pro dobu návratnosti, která je menší nebo rovna dvou let, bude přiřazeno deset bodů a pro dobu návratnosti, která je rovna nebo vyšší než deset let, bude přiřazen jeden bod. Okrajová podmínka deseti let je volena s ohledem na životnost důležitých komponentů pracoviště a faktu, že doba návratnosti by měla být kratší než polovina doby životnosti investice.

Dalším důležitým kritériem pro hodnocení je efektivní využití robota. Tímto kritériem je myšleno to, že pohyby robota by neměly být zbytečně složité, dlouhé a zároveň by mělo být umístění robota v pracovišti co nejvíce přizpůsobeno jeho efektivnímu využití. Toho je dosaženo u varianty 3 a 4, kde je odlišná poloha regálu oproti variantě 1 a 2. Robot je zde tedy využíván nejvíce efektivně.

Efektivní využití operátora na pracovišti je dalším z hodnotících kritérií. Operátorův čas je nejvíce efektivně využit ve variantě číslo 4, proto bude mít tato varianta nejvíce bodů. Naopak nejméně efektivně je využití operátora ve variantě 1, kde operátor musí pokaždé opustit oplocený prostor, aby mohl robot manipulovat s přípravky. Stejně tak není pracoviště ve variantě 1 vůbec ergonomicky uzpůsobeno pro práci.

Prostor je důležitým kritériem při návrhu pracoviště. Pro výpočet plochy, kterou bude zabírat robotizované pracoviště, budu uvažovat pouze prostor před strojem a kolem stroje, který je nutný využít ke stavbě automatizovaného pracoviště. Prostor, který zabírá samotný stroj a technologie s ním spojené, uvažovat nebudu, protože tyto prostory jsou zabrány u pracoviště i v současném stavu bez automatizace. Plocha, kterou zabírají jednotlivé varianty je následující:

Tabulka 16 Plocha variant automatizovaného pracoviště

Varianta 1	21,7 m ²
Varianta 2	21,1 m ²
Varianta 3	(18,1) 21,8 m ²
Varianta 4	(17,9) 21,7 m ²

Z výsledků je patrné, že změna polohy regálu u varianty 3 a 4 sice zmenšila prostor uprostřed oplocení, ale zároveň je nutné počítat s navýšením plochy potřebné pro uličku, které je následkem přesunu vstupu na pracoviště. Sice samotná plocha pracoviště u varianty 4 je pouze 17,9 m², ale zároveň je nutný přístup ke vstupu na pracoviště a z toho důvodu připočítávám k potřebnému prostoru i uličku o šířce 800 mm. Ze všech variant poté vychází prostorově nejlépe varianta 2.

Dalším kritériem je univerzálnost. I když byly varianty navrhovány jako flexibilní automatizace a pro zavedení automatizované výroby pro další díly je nutné pouze připevnit upínací přípravek na paletu, tak je tu stále možnost, aby byl stroj v případě nutnosti obsluhován pouze operátorem. Na stroji bude potom možné vyrábět díly i bez upínacích přípravků pro automatizaci. Z tohoto pohledu je nejlepší přístup ke stroji ve variantě 1 a naopak nejhorší ve variantě 4. Tato diplomová práce je ovšem zaměřená na robotizaci pracoviště, proto bude tomuto kritériu přiřazena pouze malá váha.

8.1. Vyhodnocení

V následující vícekritériální tabulce je zobrazené celkové vyhodnocení. Všechny varianty jsou hodnoceny podle kritérií z prvního sloupce. Každé kritérium má svou váhu, kterou jsou vynásobeny přidělené body u variant. Součet těchto bodů vynásobených váhou kritéria je poté zobrazen v posledním řádku Tabulka 17, kde je označena červenou barvou nejhorší varianta a zelenou barvou je označena nejlepší varianta.

Tabulka 17 Vícekritériální tabulka

Vyhodnocení variant					
Kritérium	Váha	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Doba návratnosti	0,55	1	1	1	5,5
Efektivní využití robota	0,1	3	4	6	6
Efektivní využití operátora	0,1	5	6,5	6,5	10
Plocha pracoviště	0,2	4	5	4	4
Univerzálnost	0,05	8	6	3,8	3
Celkové body		2,55	2,9	2,79	5,58

Z tabulky je patrné, že varianta 4 je vyhodnocená jako nejlepší varianta především z důvodu nejkratší doby návratnosti investice do automatizace. Doba návratnosti je pro tuto variantu 5,86 roku, a to i přes nejvyšší počáteční investici. Naopak nejhorší celkové ohodnocení získala varianta 1.

9. Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval návrhem robotizace vybraného obráběcího pracoviště ve společnosti Bilsing Automation a splnil jsem všechny zadané cíle.

V první části jsem představil společnost Bilsing Automation a její českou pobočku.

V další části jsem se zabýval důvody a problematikou automatizace výrobních procesů a systémů. V této části jsem definoval, co je to automatizace z pohledu procesu a systému, rozdělil ji do několika kategorií podle jejího charakteru a popsal současný stoupající trend nasazování průmyslových robotů. Tento trend nebyl přerušen ani při pandemii COVID-19 a dle odhadů se bude počet ročně instalovaných robotů stále zvyšovat.

Dále jsem se zabýval popisem automatizačních prvků, které jsou spojeny s procesem obrábění a přidruženými procesy. V této části jsou popsány automatizační prvky, které jsou přímo součástí obráběcích strojů a dále byla věnována významná část popisu automatizačních prvků spojených s manipulací. Těmito prvky jsou průmyslové roboty a manipulátory. Jsou zde popsány oblasti jejich nasazení, rozdělení do kategorií podle provedení a stupně řízení, kinematické struktury, typu pohonu a geometrie pracovního prostoru. Dalšími prvky jsou koncové efektorů. U těchto prvků jsem se zaměřil především na popis a rozdělení manipulačních efektorů.

V další kapitole jsem představil metodu zavádění automatizace do výrobních systémů a procesů pomocí intuitivního principu USA.

Hlavní část této diplomové práce je zaměřena na návrh robotizovaného pracoviště a racionalizaci navrhovaných variant pomocí technicko-ekonomického hodnocení. Nejprve jsem provedl analýzu současného stavu na vybraném pracovišti. Na základě této analýzy jsem vypracoval koncept nejvhodnější automatizace pracoviště a podle tohoto konceptu vznikly čtyři varianty pracoviště. Dále jsem vytvořil návrh koncového efektoru. Z variant jsem pomocí vícekritériálního hodnocení založeného na technicko-ekonomických kritériích vybral jako nejvhodnější varianta číslo 4. U této varianty je doba návratnosti investice ve výši 1,5 milionu Kč přibližně 5,86 roku a generuje roční úspory a zisk ve výši 258 000 Kč.

Výsledkem je flexibilní robotizované pracoviště, kde je možné automatizovat výrobu jakéhokoliv vhodného frézovaného dílu, který má upínací přípravek připevněn k manipulační paletě. Pro díly s nižší sériovostí je možné vytvořit menší a levnější palety, ke kterým bude připojena stejná paletová spojka.

Mé další doporučení pro společnost Bilsing Automation je vybrat pro robotizaci i jiné stroje, než je AXA Vario. U stroje AXA Vario je pracovní prostor rozdělen přepážkou na dvě části. Je tedy možné, aby stroj obráběl v jedné části pracovního prostoru, zatímco v druhé části provádí operátor výměnu polotovarů. Díky tomu stroj stále obrábí a nedochází k navýšování nevýrobního času. Ovšem u strojů ve výrobní hale Bilsing Automation, kde není pracovní prostor rozdělen na dvě části, uvolnění obrobků a založení polotovarů do přípravku zabírá 21,6 % časového fondu stroje. Přenesení varianty 4 na takovýto stroj by přineslo přibližně 721 hodin času, který je možné využít k obrábění. Úspory a zisk z



robotizace takového pracoviště jsou odhadovány na 510 000 Kč ročně a návratnost investice by byla 2,86 roku.

10. Seznam použité literatury

- [1] CARBON FIBER T-BEAM. In: *Bilsing-automation* [online]. 2019 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://bilsing-automation.com/carbon-fiber-t-beam/>
- [2] Bilsing Automation. *Bilsing-automation* [online]. 2019 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://bilsing-automation.com>
- [3] LOCATIONS & SUBSIDIARIES. In: *Bilsing-automation* [online]. 2019 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://bilsing-automation.com/contact>
- [4] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01302-2.
- [5] MIKELL, Mikell. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Global Edition*. 4. Velká Británie: Velká Británie, 2015. ISBN 9781292076119.
- [6] IFR presents World Robotics 2021 reports. *Ifr* [online]. 2021 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-sales-rise-again>
- [7] Automatizace ve světě obrábění. *Mmspektrum* [online]. 2016 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatizace-ve-svete-obrabeni>
- [8] LINDGREN, OLIVIA a MATTIAS SÖDERBERG. *A guideline for future automation decisions*. Stockholm, Sweden, 2014. Master of Science Thesis. KTH - Industrial Engineering and Management.
- [9] NC MILLING MACHINE. In: *Mytech-cnc* [online]. 2019 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.mytech-cnc.com/en/products/nc-milling-machine-sz-2200-nc>
- [10] Flexible Automation Production Line. In: *Feeler* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.feeler.com/pdttdetail.php?c=&id=313>
- [11] Three Types of Automation. In: *Norwalt* [online]. 2020 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.norwalt.com/three-types-of-automation/>
- [12] VAVŘÍK, Ivan, Petr BLECHA a Josef F HAMPL. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ* [online]. 1. Brno VUT-FSI, 2002 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SR/Vyrobni.stroje.a.zarizeni.UNLOCKED-dubo.pdf>
- [13] ADAMEC, Jaromír. *TECHNOLOGIE AUTOMATIZOVANÝCH VÝROB*. 1. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2006. ISBN 80-248-0871-4.
- [14] SVOBODA, Rostislav. 10 dat z historie obrábění na CNC strojích.: Kam sahá historie CNC obrábění?. In: *Factoryautomation* [online]. 2016 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z:

<https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>

- [15] B. KIEF, Hans a Helmut A. ROSCHI WAL. *CNC Handbook*. 1. McGraw-Hill Education, 2012. ISBN 978-0-07-179949-2.
- [16] CAPUTI, Antonio a Davide RUSSO. The optimization of the control logic of a redundant six axis milling machine. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2021, **2021**(32), 1441–1453.
- [17] MAREK, Jiří. Stroje CMZ — plnohodnotný přírůstek do rodiny vodorovných CNC soustružnických center. *Technickydenik* [online]. 2020 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.technickydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prisusenstvi/stroje-cmz-plnohodnotny-prirustek-do-rodiny-vodorovnych-cnc-soustruznickych-center_50998.html
- [18] *Přesnost a opakovatelnost CNC obráběcího stroje* [online]. 2022 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/presnost-opakovatelnost>
- [19] OBREJA, Claudiu a Dragos ANDRIOAIA. Design of an Automatic Tool Changer System for Milling Machining Centers. *Applied Mechanics and Materials* [online]. Switzerland: Trans Tech Publications, 2013, **2013**(371), 69-73 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: doi:10.4028
- [20] *Poháněné nástroje a revolverové hlavy* [online]. [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://www.fism.cz/produkty/pohanene-nastroje-a-revolverove-hlavy>
- [21] Toolchanger. *Cellro* [online]. 2022 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://cellro.com/en/products/toolchanger/>
- [22] Haas Bar Feeder V2. In: *Haascnc* [online]. 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/machines/lathes/haas-bar-feeder-v2.html>
- [23] Dual-Spindle CNC lathe TTS Series. In: *Cmz* [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.cmz.com/en/dual-spindle-cnc-lathe-bar-turning-tts-series/>
- [24] 3-axis machining center H-Mill 2P 5.5 CNC. In: *Directindustry* [online]. 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/kaast-machine-tools-inc/product-67519-1108221.html>
- [25] ANDRLÍK, Vladimír. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: ČVUT, 2012. ISBN 978-80-01-04321-1.
- [26] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [27] ROSEN, Charles A. ROBOTS AND MACHINE INTELLIGENCE. In: *HANDBOOK OF INDUSTRIAL ROBOTICS*. 2. John Wiley & Sons, 1999, s. 19-30. ISBN 78-0-471-17783-8.
- [28] SCARA - Workspace and Kinematics. In: *Learnchannel-tv* [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://learnchannel-tv.com/pb/robot/kinematics-robots/classification-robot/>
- [29] Průřezový diagram SWS-001. In: *Schunk* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/sws/

- [30] Výměna: Rychlá výměna pomocí systému. *Schunk* [online]. 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/prislusenstvi-robotu/vymena/
- [31] Uchopovací systémy. In: *Schunk* [online]. 2022 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/
- [32] VACUUM CUP BROCHURE. In: *Bilsing-automation* [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://bilsing-automation.com/media/>
- [33] Vacuum Suction Spider SSP. In: *SCHMALZ* [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-gripping-systems/suction-spider-309304/>
- [34] PFG SERIES VACUUM CUPS. *Bilsing-automation* [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://bilsing-automation.com/vacuum-cups-venturis-product/pfg-series-vacuum-cups/#round-cups>
- [35] MAGNETIC ROBOT END EFFECTOR. In: *Basellers* [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: https://www.basellers.com/?product_id=107639956_43
- [36] Robo Madness on Tuesday: Demos From Boston Dynamics, Soft Robotics, Piaggio. In: *Xconomy* [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://xconomy.com/boston/2017/03/27/robo-madness-on-tuesday-demos-from-boston-dynamics-soft-robotics-piaggio/>
- [37] Series 2000 KR 240-2. *Kuka* [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eacafe542d3b736af377562ecaa/pf0023_kr_2402_en.pdf
- [38] Series 2000: The all-rounders in the high payload range. In: *KUKA* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eacafe542d3b736af377562ecaa/pf0023_kr_2402_en.pdf
- [39] Robotické moduly NSR. In: *Schunk* [online]. 2022 [cit. 2022-07-04]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/series/roboticke-moduly-nsr/
- [40] Paletová spojka PLK 160. In: *Schunk* [online]. 2022 [cit. 2022-07-04]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/product/41706-0471930-pkl-160/

11. Seznam tabulek

Tabulka 1 Nasazení průmyslových robotů a manipulátorů v průmyslu [13]	25
Tabulka 2 Klasifikace úchopových prvků z pohledu typu úchopového prvku [26]	34
Tabulka 3 Technické parametry AXA Vario.....	42
Tabulka 4 Vybrané díly pro AXA Vario	46
Tabulka 5 Paper kaizen	47
Tabulka 6 Parametry KUKA KR 240-2 [38]	50
Tabulka 7 Morfologická tabulka dekomponovaných funkcí.....	54
Tabulka 8 Náklady na variantu 1	57
Tabulka 9 Náklady na variantu 2	59
Tabulka 10 Náklady na variantu 3	61
Tabulka 11 Náklady na variantu 4	64
Tabulka 12 Náklady na automatizaci obráběcího centra.....	65
Tabulka 13 Parametry komponent	67
Tabulka 14 Úspory a zisk z automatizace za jeden rok – Varianta 1	72
Tabulka 15 Úspory a zisk z automatizace za jeden rok – Varianta 2	72
Tabulka 16 Plocha variant automatizovaného pracoviště.....	74
Tabulka 17 Vícekriteriální tabulka	75

12. Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka produktu CARBON FIBER T-BEAM [1]	10
Obr. 2 Pobočky Bilsing Automation [3]	10
Obr. 3 Česká pobočka Bilsing Automation [3]	10
Obr. 4 Tři kategorie výrobních systémů: a) systém ruční práce, b) systém pracovník-stroj c) automatizovaný systém [5]	12
Obr. 5 Počet ročně instalovaných robotů [6]	12
Obr. 6 Tři typy automatizace v závislosti na kvantitě výroby a variaci výrobků [5]	14
Obr. 7 NC frézka [9]	15
Obr. 8 Pružná automatická výrobní linka [10]	16
Obr. 9 Plně automatizovaná linka [11]	16
Obr. 10 Optimální stupeň automatizace v závislosti na nákladech [8]	17
Obr. 11 Vačka bubnová oboustranná [13]	18
Obr. 12 Elektrohydraulický nárazkový systém [13]	18
Obr. 13 Přímé mechanické kopírování s pozitivní šablonou [13]	18
Obr. 14 Layout 5-tiosé frézky [16]	20
Obr. 15 Motory stroje CMZ [17]	20
Obr. 16 Revolverová hlava s poháněnými nástroji [20]	21
Obr. 17 Systém automatické výměny nástrojů Zásobník – Podavač – Vřeteno [13]	22
Obr. 18 Stroj s automatickým podavačem tyčí Haas [22]	23
Obr. 19 Principy dosažení zkrácení doby výměny obrobku [13]	23
Obr. 20 Pracovní prostor soustruhu CMZ TTS SERIES [23]	23
Obr. 21 Třiosé obráběcí centrum s platovým systémem [24]	24
Obr. 22 Rozdělení manipulátorů podle provedení a stupně řízení [25]	26
Obr. 23 Kartézský pracovní prostor [25]	28
Obr. 24 Cylindrický pracovní prostor [25]	29
Obr. 25 SCARA pracovní prostor [28]	29
Obr. 26 Sférický pracovní prostor [25]	29
Obr. 27 Angulární souřadnicový systém [25]	30
Obr. 28 Příklad konstrukce efektoru [28]	30
Obr. 29 Paralelní chapadlo Schunk SGC [29]	30
Obr. 30 Obecná struktura efektoru [26]	31
Obr. 31 Systém výměny Schunk SWS-001 [29]	31
Obr. 32 Dělení koncových efektorů	32
Obr. 33 Příklad aktivních mechanických efektorů [31]	34
Obr. 34 Příklad přísavky s ejektorem od firmy Bilsing Automation [32]	35
Obr. 35 Příklad přísavné lišty od firmy SCHMALZ [33]	35
Obr. 36 Závislost přísavné síly na velikost přísavky [34]	36
Obr. 37 Aktivní magnetický efektor [35]	37
Obr. 38 Příklad speciálního adaptivního efektoru [36]	37
Obr. 39 Postup provádění analýzy	41
Obr. 40 Současný layout výrobní haly Bilsing Automation	41
Obr. 41 Současný layout okolí pracoviště 114	42
Obr. 42 Obráběcí centrum AXA Vario	43
Obr. 43 Zásobník nástrojů	44
Obr. 44 Vozík pro transport nástrojů na pracoviště	44
Obr. 45 Pracoviště 114	44
Obr. 46 Dopravník špon a manipulační vozík	45
Obr. 47 Polotovary dílu KKA-25-25	48
Obr. 48 Přípravek A pro díl ESS-90-25	49
Obr. 49 Přípravek B pro díl ESS-90-25	49
Obr. 50 Prostor okolo AXA Vario	49



Obr. 51 Manipulační rozsah KUKA KR 240-2 [37]	50
Obr. 52 Navrhované varianty.....	55
Obr. 53 ISO pohled varianta 1.....	56
Obr. 54 Půdorys varianta 1	56
Obr. 55 Detail varianta 1.....	57
Obr. 56 ISO pohled varianta 2.....	58
Obr. 57 Půdorys varianta 2	58
Obr. 58 Detail varianta 2.....	59
Obr. 59 ISO pohled varianta 3.....	60
Obr. 60 Půdorys varianta 3	61
Obr. 61 ISO pohled varianta 4.....	62
Obr. 62 Půdorys varianty 4	63
Obr. 63 Detail na pracoviště operátora varianta 4	64
Obr. 64 Detail z vnitřní strany varianta 4.....	64
Obr. 65 Čepy pro otevírání dveří	66
Obr. 66 NSR 160 [39]	67
Obr. 67 PLK 160 [40]	67
Obr. 68 Paleta před a po úpravě.....	68
Obr. 69 Simulace maximálního napětí.....	68
Obr. 70 Simulace maximální deformace.....	69
Obr. 71 Návrh efektoru.....	69
Obr. 72 Efektor a upravená paleta	69



13. Seznam grafů

Graf 1 Čas obrábění a nabíjení palet	46
--	----