

Návrh robotizace pracoviště výstupní kontroly s využitím technologie "Bin picking"

Bc. Martin Mikl

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Mikl**
Osobní číslo: **T17269**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh robotizace pracoviště výstupní kontroly s využitím technologie "Bin picking"**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte podklady nezbytné pro konstrukční a technický návrh.
2. Vypracujte technické řešení celého pracoviště včetně jeho rozložení – layoutu.
3. Vypracujte vizualizaci řešení ve 3D prostředí.
4. Ověřte řešení pomocí počítačové simulace.

Rozsah diplomové práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- **KOLÍBAL, Zdeněk.** *Roboty a robotizované výrobní technologie* . Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- **DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ.** *Technologie tváření: plošné a objemové tváření* . Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4747-9.
- **WILSON, Mike.** *Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing* . Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229. ISBN 978-0-124-04733-4.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13.5.2019

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh robotizace pracoviště výstupní kontroly s využitím technologie bin picking. Bin picking je technologie, při níž robot vybírá z bedny nahodile orientované předměty a přemísťuje je do předem definovaných koncových pozic. Teoretická část popisuje podrobně technologii bin picking a jednotlivé součásti pro návrh robotizovaného pracoviště.

V praktické části byla popsána problematika úkolu ve společnosti Kovárna VIVA, a.s. Byl vypracován návrh pracoviště s využitím technologie bin picking pro odebrání nahodile neuspořádaných objektů z bedny včetně návrhu vhodných součástí s konstrukcí koncového efektoru a dalších periferií pro realizaci projektu. K závěru práce je pro tento koncept vypracována vizualizace do 3D prostředí a ověření navrženého řešení pomocí počítačové simulace.

Klíčová slova: robotizace, robot, bin picking, chapadlo, strojové vidění

ABSTRACT

The aim of this master thesis is design of robotization in a working space of output control with bin picking technology. Bin picking is the technology using robots which is picking the various objects up from the box and is moving them to the pre-defined final positions. Theoretical part describes bin picking technology and single elements for design of the robotic working space.

In a practical part is described problem of task in a company Kovárna VIVA, a.s. The design of working space with the bin picking technology was made for withdrawing of random, disordered objects located in a bin. It also contained the design of suitable components with construction of the final effector and other peripheries for the project realization. In the end of the master thesis, visualisation of 3D concept is drawn up as same as verification of designed solution with the computer simulation help.

Keywords: robotization, robot, bin picking, gripper, machine vision

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. a mému konzultantovi Ing. Františkovi Tomečkovi, Ph.D. ve firmě Kovárna VIVA a.s. za cenné rady, připomínky při realizaci diplomové práce a umožnění pracovat na této práci ze zahraničí při studijní stáži. Chtěl bych také poděkovat své rodině za podporu nejen při realizaci této práce, ale za celkovou podporu při mém studijním životě.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 BIN PICKING	12
1.1 PRINCIP BIN PICKINGU	13
1.2 PROBLEMATIKA BIN PICKINGU	14
1.3 STROJOVÉ VIDĚNÍ.....	14
1.3.1 Kamerový senzor	15
1.3.2 Inteligentní kamera.....	16
1.3.3 PC systém.....	17
1.3.4 Zákaznické systémy	18
1.4 DETEKČNÍ SYSTÉMY	18
1.4.1 Stereo vize.....	19
1.4.2 Laserová triangulace	19
2 KLASIFIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A SOUČÁSTÍ ROBOTIZOVANÝCH PRACOVIŠŤ	20
2.1 KINEMATICKÁ KONSTRUKCE ROBOTŮ	20
2.1.1 Translační kinematická struktura TTT.....	20
2.1.2 Cylinrická kinematická struktura RTT.....	20
2.1.3 Sférická kinematická struktura RRT.....	21
2.1.4 Kinematická struktura RRT s vodorovným otočným ramenem (SCARA).....	21
2.1.5 Angulární kinematická struktura RRR.....	22
2.1.6 Paralelní kinematická konstrukce	23
2.2 ÚCHOPNÉ HLAVICE.....	23
2.2.1 Rozdělení úchopných prvků.....	24
2.2.1.1 Principy uchopení	25
2.2.1.2 Sevření	26
2.2.1.3 Síly působící při sevření	27
2.2.2 Mechanické úchopné hlavice	28
2.2.3 Podtlakové úchopné hlavice.....	29
2.2.4 Magnetické úchopné hlavice.....	31
2.3 PERIFERIE ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ	33
2.3.1 Průmyslové kamery.....	33
2.3.2 Snímače	33
2.3.2.1 Optické snímače.....	33
2.3.2.2 Jednocestná závora	33
2.3.2.3 Optická reflexní závora.....	34
2.3.2.4 Vláknová optika.....	34
2.3.2.5 Magnetické snímače	35
2.3.2.6 Indukční snímače	35
2.3.2.7 Kapacitní snímače.....	36
2.3.2.8 Silomomentové snímače.....	36
3 BEZPEČNOST ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ	38
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	40

II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 CÍLE PRÁCE	42
5.1 SOUČASNÝ STAV	42
5.1.1 Manipulovaný výkovek.....	42
5.1.2 Manipulační bedna	43
5.2 POŽADAVKOVÝ LIST.....	44
6 NÁVRH CHAPADLA.....	45
6.1 VOLBA CHAPADLA	45
6.2 NÁVRH MAGNETICKÉHO CHAPADLA.....	46
6.3 DOSTUPNOST CHAPADLA V KRAJNÍCH POLOHÁCH.....	51
6.3.1 Uchopování magnetickými úchopnými hlavicemi SCHMALZ	52
7 NÁVRH PRACOVÍŠTĚ	54
7.1 ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTÍ NAVRŽENÉHO PRACOVÍŠTĚ	56
7.1.1 Soustava strojového vidění se stanovištěm pro bednu.....	56
7.1.2 Robot.....	60
7.1.2.1 Nosnost robota	61
7.1.2.2 Pracovní rozsah robota.....	62
7.1.3 Bezpečnostní prvky	63
7.1.3.1 Světelná závora	63
7.1.3.2 Bezpečnostní oplocení pracoviště.....	63
7.1.3.3 Nouzové vypnutí.....	64
7.2 CENOVÁ KALKULACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ.....	64
8 VÝROBNÍ PROCES.....	66
8.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ.....	66
8.1.1 Krok 1. - Skenování bedny.....	66
8.1.2 Krok 2. - Výběr výkovku z bedny.....	67
8.1.3 Krok 3. - Kontrola rozměrů a přeložení výkovku	67
8.1.4 Krok 4. - Založení dílu do stroje	68
8.1.5 Krok 5. a 6. – Opakování cyklu a frézování	69
8.1.6 Krok 7. Vyložení výkovků do bedny	69
8.2 ČASOVÝ CYKLUS.....	69
8.2.1 Odhadovaný čas bin pickingu	69
8.2.2 Odhadovaný čas výrobního procesu	70
ZÁVĚR	72
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
SEZNAM OBRÁZKŮ	78
SEZNAM TABULEK.....	80
SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

V současné době se s pojmy automatizace či robotizace setkáváme stále častěji než v minulých letech. Vysoká poptávka po robotizačních technologiích je způsobena několika faktory. Aktuálně nejzásadnějším z nich je velmi nízká nezaměstnanost okolo 2,5% k roku 2018. Velkou roli hraje také rostoucí vývoj s poptávkou. Z toho vyplývá, že z dlouhodobějšího časového horizontu je robotizace cenově výhodnější než lidská práce a také kvalitativně spolehlivější.

Průmyslové roboty a manipulátory jsou předem naprogramovány pro manipulaci s objekty, kdy známe přesné umístění objektu pro odebrání a místo pro založení objektu do definované polohy stroje. Avšak jsou případy, kdy jsou nahodile neuspořádané objekty, u nichž předem nemůžeme definovat polohu a orientaci a právě touto problematikou se zabývá technologie bin picking. Tato technologie byla zavedena do praxe zhruba před 12 lety. Jedná se tedy stále o poměrně novou technologii, která prochází vývojem a fází zdokonalování.

Cílem tohoto konstrukčního projektu je navrhnout pracoviště a provést studii proveditelnosti s využitím technologie bin picking pro odebrání nahodile neuspořádaných objektů v bedně včetně návrhu vhodných součástí s konstrukcí koncového efektoru a dalších periferií pro realizaci projektu. Následně pro tento koncept vypracovat vizualizaci do 3D prostředí a řešení ověřit pomocí počítačové simulace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BIN PICKING

Bin picking je technologie, při níž robot vybírá z bedny nahodile orientované předměty a přemísťuje je do předem definovaných koncových pozic. Předměty mohou být velmi variabilní, mohou mít odlišné velikosti, povrchy i složité tvary. [1,2]

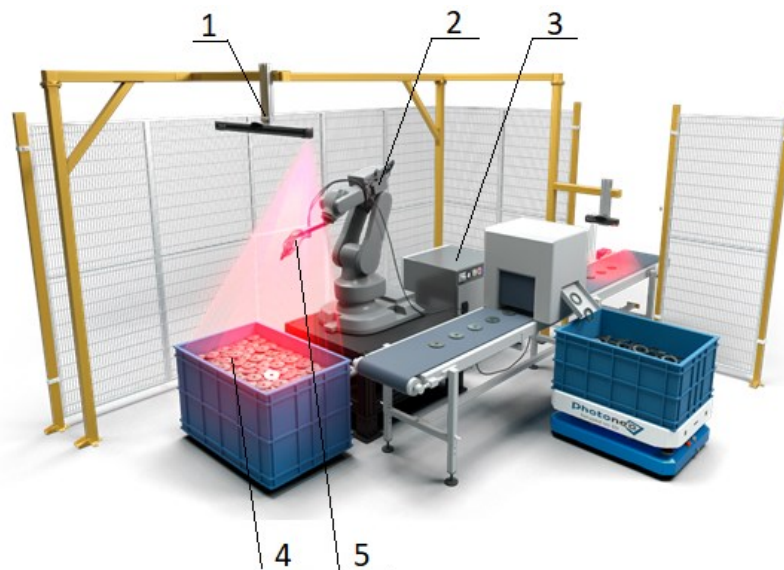
Tato technologie se používá zejména pro monotónní úkoly, které jsou pro člověka většinou jednoduché, avšak mnohdy nudné a únavné. Mohou to být ale i případy nebezpečné práce, kde přemísťující předměty jsou těžké, ostré nebo mají příliš vysoké teploty pro manipulaci. Z konkrétních případů se jedná například o zásobování stroje materiálem, třídění několika různých předmětů, přípravu materiálu pro montáž finální sestavy. Bin picking technologie se aplikuje v mnoha odvětvích potravinářského, chemického nebo výrobního průmyslu. [3]

Pro návrh robotizovaného pracoviště je nutné mimo jiné řešit:

- layout pracoviště
- řízení robotu
- strojové vidění
- konstrukci uchopovací hlavice.

Pro funkčnost technologie bin picking je nutné mít několik správně vybraných zařízení, která si mezi sebou předávají informace. Jedná se o:

- průmyslový robot nebo manipulátor
- kamerový systém, senzory a řídicí jednotku
- efektor (chapadlo)
- systém osvětlení
- bezpečnostní prvky
- periferní zařízení
- komunikační rozhraní. [4]

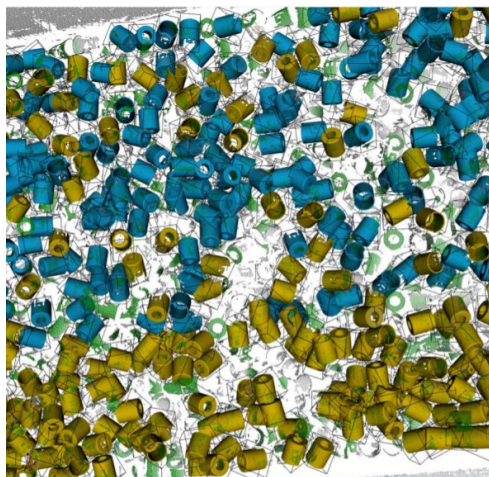


Obr. 1 Schéma bin picking [1]

1 – kamera, 2 – robot, 3 – komunikační zařízení,
4 – bedna s předměty, 5 – efektor

1.1 Princip bin pickingu

Všechny díly jsou nahodile neuspořádané v bedně. S využitím technologie stereo vize nebo laserové triangulace jsou následně naskenovány pomocí snímací kamery. Z naskenovaných snímků software podle polohy a natočení dílů vyhodnotí nejvhodnější díl pro vyjmutí z bedny (viz Obr. 2) Robot tento díl odebere z bedny a vloží jej do předem definovaného místa. (např. dopravník, stroj). Vyžaduje-li stroj odebrání dílu po provedení operace, robot tento díl vyjme a vkládá opět na předem definované místo (bedna s hotovými výrobky, paleta atd.).



Obr. 2 3D vizualizace neuspořádaných výrobku v bedně [19]

1.2 Problematika bin pickingu

Každá technologie s sebou nese výhody i nevýhody, nejinak je tomu i s technologií bin picking. Nevýhodou technologie bin picking je, že neexistuje univerzální řešení. Při vývoji řešení je nutná znalost strojového čtení, robotiky, uchopování a systémové integrace.

I přes veškerý vývoj této technologie není možné zaručit 100% výběr dílů z bedny, neboť může nastat situace, kdy není pro uchopení vhodný žádný z dostupných dílů a robot nemůže dále pokračovat v práci. To může být způsobeno různými příčinami: problematickou polohou objektu v rozích a u stěn bedny, případně i nevhodným natočením objektu pro uchopení, což lze však částečně řešit uložením bedny na vibračním zařízení. [1]

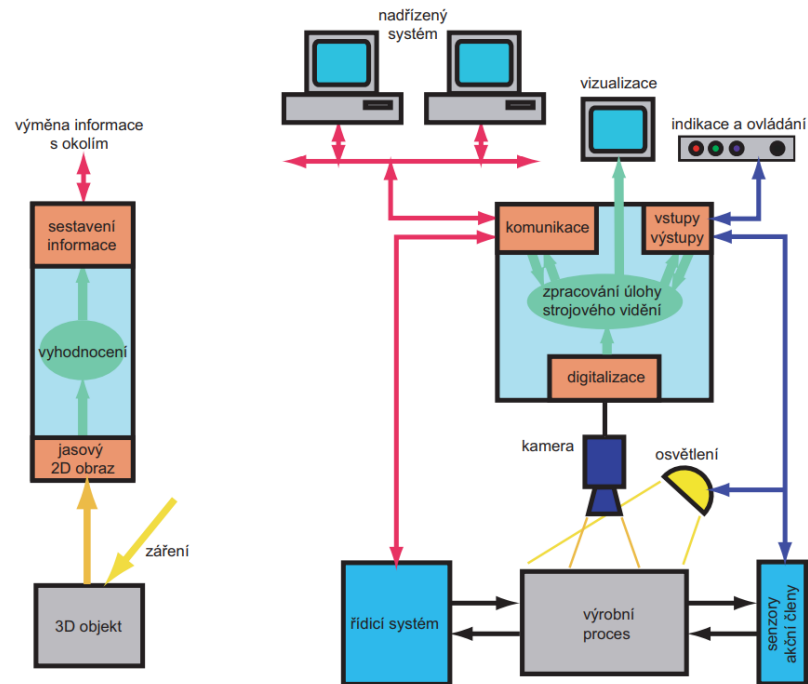
Dříve hrály svou roli také světelné podmínky, ovšem dnešní zařízení a softwary si dokážou poradit i s proměnlivým osvětlením. Na plochu bedny by však neměl působit extrémní zdroj světla z důvodu velké odrazivosti, což by naměřená data mohlo zkreslit.

1.3 Strojové vidění

V dané podkapitole bude popsán princip strojového vidění a jednotlivé kategorie strojového vidění.

Princip strojového vidění spočívá v ozáření sledovaného objektu osvětlovačem. Na snímacím prvku kamery je vytvářen dvojrozměrný jasový obraz. V kameře s polovodičovými snímacími součástmi jsou měronosnými veličinami proudy či náboje poskytované prvky obrazového snímače, jež jsou citlivé na světlo (Obr. 3 levá část). Měronosné veličiny mohou uchovávat informaci redukovanou na údaj o sdruženém jasu barevných složek dopadajícího světla (kamery černobílé) nebo mohou uchovávat informaci o barvě zkoumaného předmětu (kamery barevné). Analogové měronosné veličiny jsou převedeny do digitálního tvaru, vhodného pro počítačové zpracování a získané informace o objektu následně předány do okolí pomocí komunikačního rozhraní a digitálních výstupů. Komunikační rozhraní je určeno i k připojení zařízení, které umožňuje systém programovat, udržovat a nastavovat. V systému bývá dostupný také původní digitální obraz, využitelný pro případ nutnosti konstantní vizualizace sledovaného objektu. Pro strojové vidění je charakteristické, že přenos informací systému s okolními zařízeními funguje jako zpětná vazba při řízení výrobního procesu. Systém získává z procesu potřebná vstupní data, většinou příkaz k pořízení snímku ve chvíli, kdy je sledovaný objekt ve vhodné poloze. V závislosti na vyhodnocení obrazu

system obvykle učiní akční zásah do procesu, jako je odhalení nebo vyřazení vadného výrobku. Takový zásah mohou zprostředkovat přímo digitální výstupy systému strojového vidění. V jiném případě mohou být data o výsledku vyhodnocení předána do řídicího systému, jenž sám provede zásah (Obr. 2 pravá část). [5]



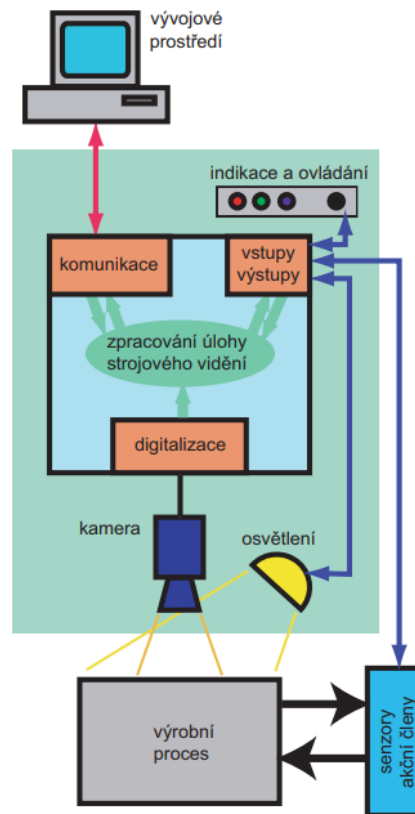
Obr. 3 Schéma systému strojového vidění [5]

1.3.1 Kamerový senzor

V tomto případě je do jednoho pouzdra integrován celý systém včetně osvětlení a kamery, přičemž množství digitálních vstupů a výstupů je omezeno. Kamerový senzor má omezené možnosti programování, a proto mají vstupy a výstupy přidělenou funkci pevně. Využívány jsou klasické tranzistorové výstupy. Rychlé komunikační rozhraní jako například ethernet se používá jen k MMI (Man Maching Interface) pro nastavení parametrů úlohu. Konstrukce kamerového senzoru včetně výkonu procesoru a výrobních nákladů je podřízena účelu vytvořit systém strojového vidění pro snadné použití. [5]

Charakteristické znaky:

- zjednodušený hardware
- kompaktnost
- omezené softwarové nástroje, třídy použití a komunikační možnosti
- nižší cena. [5]



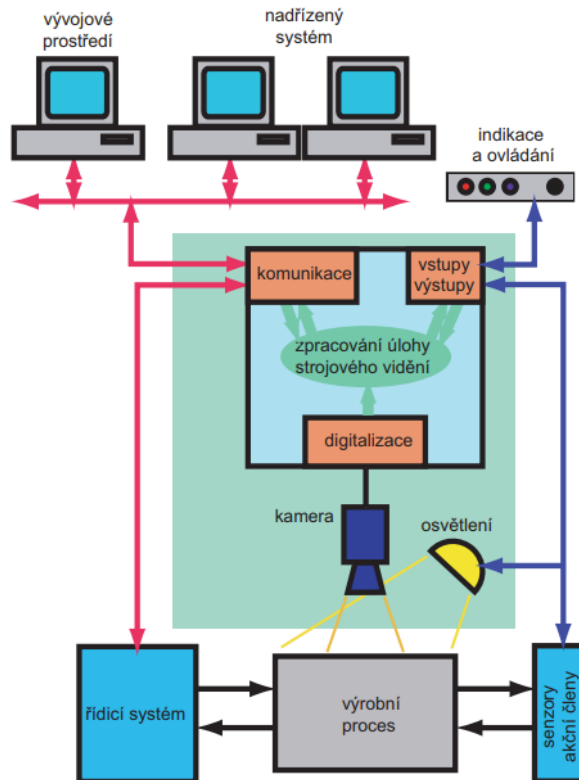
Obr. 4 Blokové schéma kamerového senzoru [5]

1.3.2 Inteligentní kamera

Inteligentní kamera je ucelený systém strojového vidění, jak lze vidět z Obr. 4. Kamera využívá výkonného mikroprocesoru jako vyhodnocovací jednotky. Jako digitální vstupy a výstupy se často používají univerzální bitová rozhraní libovolně nastavitelná dle potřeby. U inteligentní kamery má komunikační rozhraní většinou více funkcí, jednou z hlavních je připojení k HMI (Human Machine Interface), což umožňuje kameru programovat. Pro snadný vývoj úlohy je žádoucí, aby HMI zobrazovalo obraz snímáný kamerou v reálném čase. Tudíž je nezbytná vysoká přenosová rychlost, a proto se nejčastěji používá ethernet jako základní komunikační rozhraní, který může přenášet informace do nadřazeného řídicího systému nebo umožnit komunikaci mezi kamerami. [5]

Charakteristické znaky:

- kompaktnost
- obsahuje výkonný hardware, univerzální softwarové nástroje
- široké možnosti aplikace
- vyšší cena. [5]



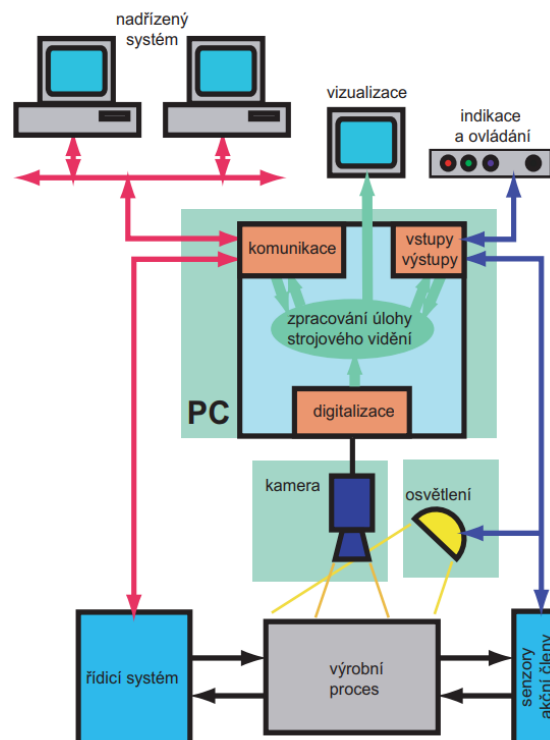
Obr. 5 Blokové schéma inteligentní kamery [5]

1.3.3 PC systém

PC systémy využívají osobní počítače místo vyhodnocovací jednotky. Kamera je samostatná a u většiny systémů lze připojit další kamery, ať už s analogovým nebo digitálním výstupem. Výpočetní výkon a velikost paměti jsou dány hardwarem použitého PC. Komunikační rozhraní i vstupy a výstupy jsou realizovány pomocí zásuvných karet. Předmětem dodávky systému PC tedy ve většině případů bývá pouze sada softwaru, která obsahuje prostředí pro vývoj úlohy strojového vidění a run-time modul. Zpravidla se dodává také rozhraní pro digitální kameru, ne však karta digitalizátoru, pro které je program optimalizován. [5]

Charakteristické znaky:

- modularita
- vyžaduje výkonný hardware PC
- možnost rozšíření
- možnost více kamer
- univerzální softwarové nástroje
- široké možnosti aplikace
- vyšší cena. [5]



Obr. 6 Blokové schéma PC systému pro strojové vidění [5]

1.3.4 Zákaznické systémy

Jedná se o systémy projektované na míru, kdy nelze využít jinou z předcházejících možností. Ve většině případů úlohy vyžadují vysokou rychlost zpracování, nestandardní kamery a speciální programování. Nejčastěji se k realizaci používají rychlé signálové procesory nebo hardwarová pole se softwarem vytvořeným na míru. [5]

Charakteristické znaky:

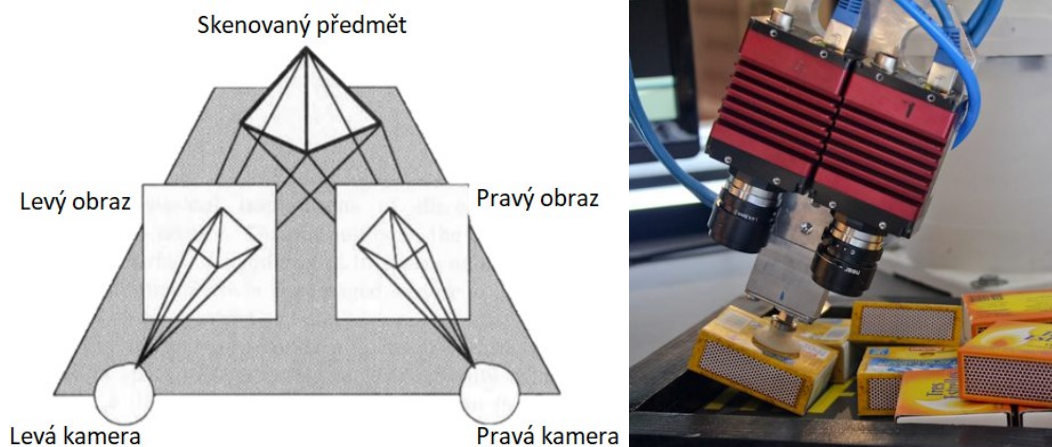
- nepatří do žádné z předchozích tříd
- úplná podřízenost požadavkům zákazníka
- speciální použití
- vysoká cena. [5]

1.4 Detekční systémy

Pro technologii bin picking se využívají k identifikaci a rozpoznávání polohy a natočení dílů dva základní principy: stereo vize a laserová triangulace.

1.4.1 Stereo vize

Technologie stereo vize je založena na dvojici kamer, které jsou zpravidla umístěny na uchopovací hlavici. Kamery jsou vůči sobě nakloněny, aby snímaly jeden předmět, čímž zařízení získá dva obrazy stejného předmětu pod jiným úhlem. S pomocí dvou obrazů software vyhodnotí dle geometrického principu triangulace částečný 3D model předmětu. [21,22]

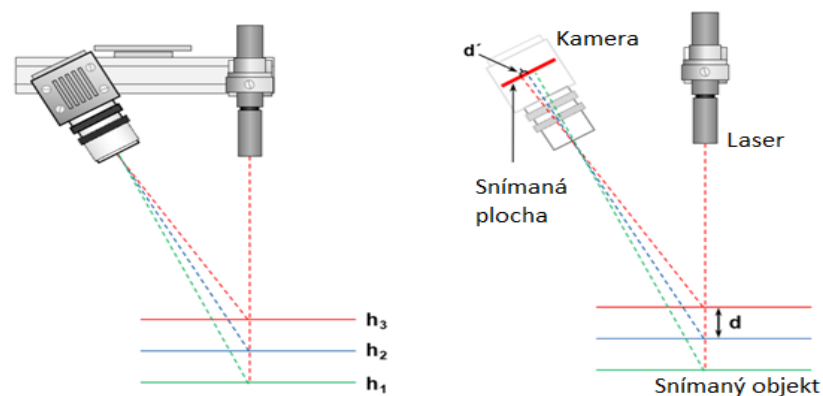


Obr. 7 Princip stereo vize (vlevo) [23] a stereo vize v praxi (vpravo) [24]

1.4.2 Laserová triangulace

Princip laserové triangulace spočívá v promítnutí laseru na povrch snímaného objektu. Kamera je umístěna pod úhlem vůči laserovému paprsku a pomocí trigonometrie může systém vypočítat 3D prostorové souřadnice jednotlivých osvětlených bodů na povrchu objektu. [32]

Výhodou této technologie je, že kamera s robotem můžou pracovat paralelně, tedy kamera může skenovat nový objekt, zatímco robot manipuluje s vybraným objektem z předchozího skenování.



Obr. 8 Princip laserové triangulace [32]

2 KLASIFIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A SOUČÁSTÍ ROBOTIZOVANÝCH PRACOVIŠŤ

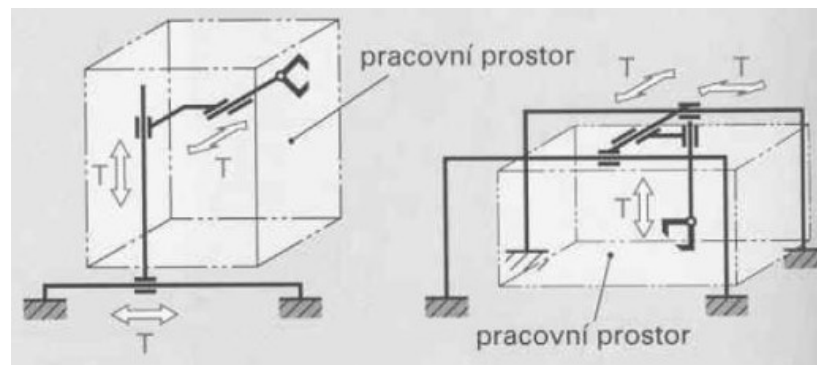
Průmyslové roboty a manipulační zařízení lze klasifikovat podle různých kritérií: kinematické struktury, počet stupňů volnosti, druhy pohonů nebo geometrie pracovního prostoru.

2.1 Kinematická konstrukce robotů

Konstrukce robotů je dána jejich kinematickou strukturou, tedy typem a posloupným uspořádáním kinematických dvojic v kinematickém řetězci. Nejrozšířenější jsou konstrukce s otevřeným kinematickým řetězcem, které obsahují rotační a translační kinematické dvojice. Na základě struktury sériového kinematického řetězce hlavního pohybového systému můžeme existující roboty zařadit do několika základních skupin. [6]

2.1.1 Translační kinematická struktura TTT

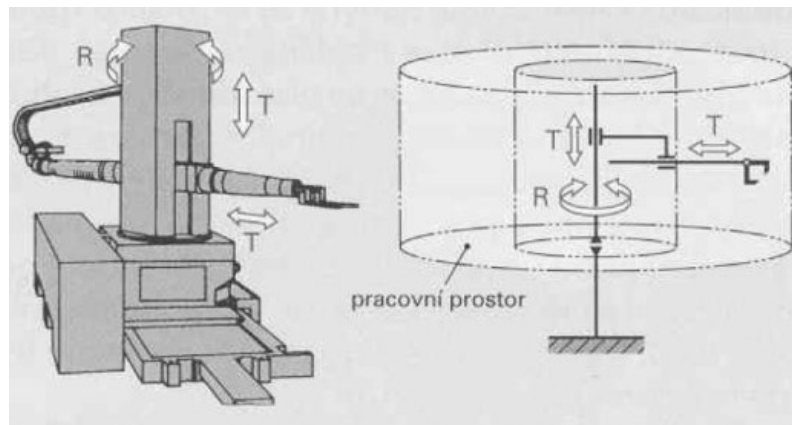
Kinematický řetězec je sestaven ze tří na sebe vzájemně kolmých translačních kinematických dvojic, využívá kartézský souřadnicový systém. Tato kinematická struktura je velmi stabilní a nejpřesnější kinematickou strukturou. Má velmi jednoduché řízení, naopak nevýhodou je nižší prostorová pohyblivost. Používá se zejména pro velké manipulační prostory nebo při konstrukci NC-frézek. [6,7]



Obr. 9 Schéma kinematiky TTT [7]

2.1.2 Cylindrická kinematická struktura RTT

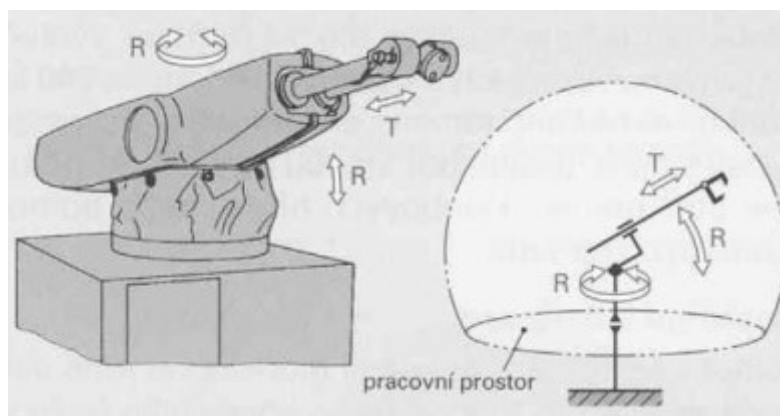
Kinematický řetězec je sestaven z jedné rotační kinematické dvojice a dvou na sebe vzájemně kolmých translačních kinematických dvojic. Cylindrická struktura je charakteristická svou robustností a jednoduchým řízením. [6]



Obr. 10 Schéma kinematiky RRT [7]

2.1.3 Sférická kinematická struktura RRT

Kinematický řetězec je sestaven ze dvou rotačních kinematických dvojic a jedné translační kinematické dvojice, tato struktura byla navržena jako jedna z prvních konfigurací. Pracovní prostor je ohraničen kulovou plochou a rovinou, při ovládní je nutno přepočítat kartézské souřadnice na souřadnice sférické. Tato konstrukce se využívá zejména pro bodové sváření karoserií. [6,7]

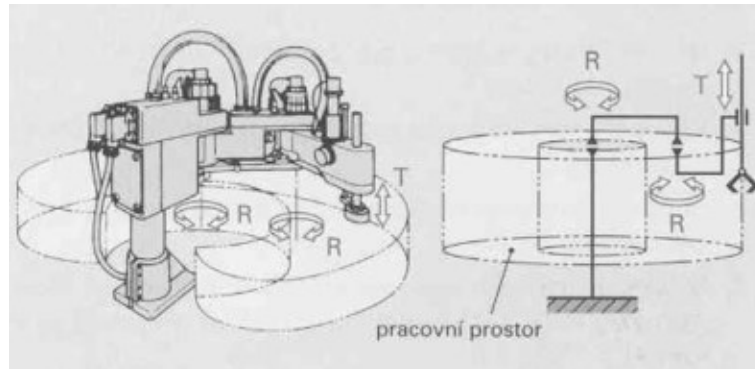


Obr. 11 Schéma kinematiky RRT [7]

2.1.4 Kinematická struktura RRT s vodorovným otočným ramenem (SCARA)

Roboty s touto strukturou nazýváme roboty SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm – robot vhodný pro montáž), kinematický řetězec je sestaven z dvou rotačních kinematických dvojic. Tuto konstrukci je možné zatěžovat velkými břemeny ve svislém směru, jelikož se tato síla nepřenáší pohony otočných kloubů. Ve vodorovném směru není velká tuhost vyžadována, protože zde nedochází k velkému zatížení. Robot má většinou pro orientaci úchopu pouze jednu otočnou svislou osu, celkem tedy čtyři řízené osy. Výhodou

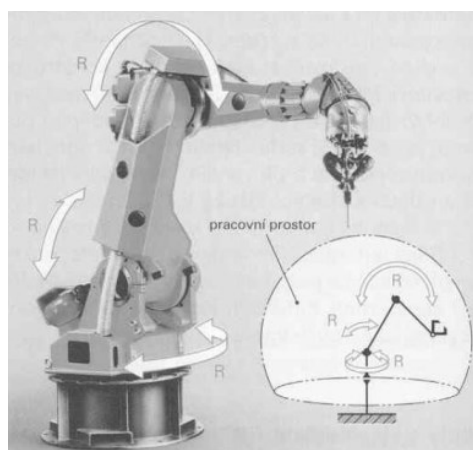
konstrukce je dobře umístěná zóna obsluhy a vyšší pohyblivost, robot se rychle pohybuje a má vysoké zrychlení. Nevýhodou je pak menší pracovní prostor a složitější řazení. Využití nachází při montážích nebo také pro účely pick and place. [6,7]



Obr. 12 Schéma kinematiky RRT s vodorovným otočným ramenem [7]

2.1.5 Angulární kinematická struktura RRR

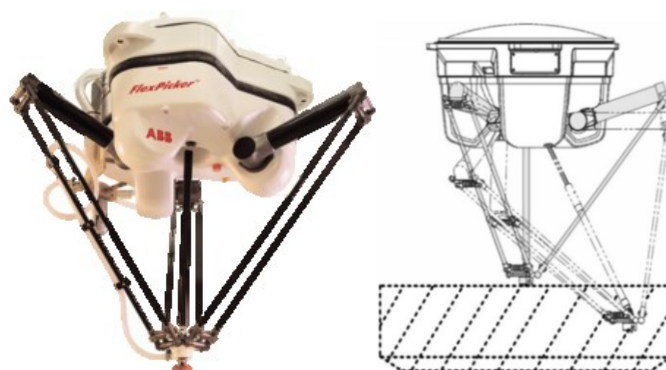
Robot s touto strukturou je nazýván také kloubovým robotem. Kinematický řetězec je sestaven ze tří rotačních kinematických dvojic, struktura se vyznačuje dobrou manipulační schopností, čímž se dobře vyhýbá překážkám, a proto patří v současné době k těm nejvyužívanějším. Robot zabírá v poměru k velikosti pracovního prostoru nejméně místa ze všech a k přemístění o určitou vzdálenost za určitý čas potřebuje nejmenší zrychlující síly, má tedy široké možnosti uplatnění. [6,7]



Obr. 13 Schéma kinematiky RRR [7]

2.1.6 Paralelní kinematická konstrukce

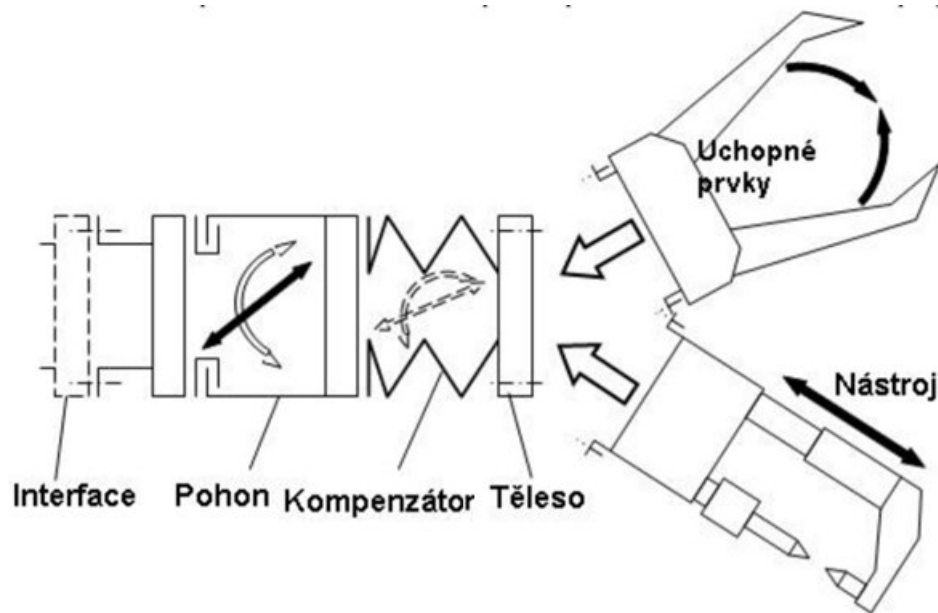
Mechanismy s paralelní kinematickou strukturou, tzv. hexapod nebo také delta robot, má tři až šest paralelních ramen, která jsou připojena mezi jejich základnou a plošinou. Paralelní mechanismy obsahují dvě platformy, z nichž jedna je ovládána délkově proměnlivými rameny pracujícími paralelně. Výstupní člen je definován jako pohyblivá plošina, která má od tří do šesti stupňů volnosti vůči druhé základní platformě. Může se jednotlivě pohybovat v každém ze tří lineárních a tří úhlových směrů, případně lze pohyby libovolně kombinovat. Výsledný pohyb je pak dán současným pohybem a kontrolou těchto ramen. Pracovní prostor robota s paralelní kinematickou strukturou není pevně daný a je nutné ho vypočítat, přičemž musíme zohlednit natočení a délku jednotlivých kloubů. [6]



Obr. 14 Paralelní robot [6]

2.2 Úchopné hlavice

Úchopné hlavice, v literatuře také označovány jako koncové efekторы, chapadla a přeneseně z angličtiny “gripper“, slouží k manipulaci, pro kterou je robot navržen a jsou koncovými prvky robota nebo manipulátoru. Uzavírají orientační a polohovací kinematickou strukturu celého zařízení. Hlavice mohou být od jednoduché konstrukce až po invenční složité konstrukce v závislosti na oblasti použití. Z funkčního hlediska přichází do přímého styku se zacházejícím předmětem případně zasahují do technologického procesu. [9]



Obr. 15 Obecná struktura hlavice [9]

Interface zabezpečují sjednocení výměnného chapadla s koncovou částí robota. Každá z částí se musí dokonale shodovat rozměry i tvary, aby při montáži došlo k přesnému a tuhému spojení. Interface jsou normalizovány standardem ISO a výrobci jsou nuceni tuto normu dodržovat v rámci zaručení kompatibility. [10]

Pohon koncového efektoru může sloužit jako zdroj pohybu čelistí uchopovací hlavice. Také může být zdrojem vakua nebo doplňkovým stupněm volnosti pohonu, jenž řídí mikro posuv při montáži, jelikož polohovací zařízení či robot nemusí být schopny tento posuv vykonat. [10]

Kompenzátor využívá své poddajné konstrukce, jenž se přizpůsobí dotykovým plochám efektoru a manipulovaného předmětu. Slouží k eliminaci případných nepřesností při dotyku mezi předmětem manipulace a úchopnými prvky efektoru. Nevýhodou je snížení tuhosti vlivem poddajnější konstrukce kompenzátoru, což vede k rozkmitání efektoru. Proto je nutno s pomocí aretace poddajné prvky přemostit a eliminovat kmitání. [10]

Těleso efektoru je nosný prvek s rozhodujícím podílem pro dosažení požadované přesnosti a tuhosti efektoru při minimálních vnějších rozměrech. [10]

2.2.1 Rozdělení úchopných prvků

Úchopné prvky můžeme dle způsobu vyvození úchopné síly a působení síly na objekt rozdělit na:

- a) aktivní – hlavice obsahující minimálně jeden aktivní prvek

b) pasivní – hlavice obsahující pouze pasivní prvky. [11]

Tab. 1 Rozdělení úchopných prvků [10]

Úchopné prvky	Způsob vyvození úchopné síly	Typ efektoru
Mechanické	pasivní	s pevnými a stavitelnými ÚP
		s pružnými ÚP
		speciální
	aktivní	hydromotorem
		pneumotorem
		elektromotorem
		elektromagnetem
Magnetické	pasivní	s permanentními magnety
	aktivní	s elektromagnety
Pneumatické	pasivní	přísavky
	aktivní	přísavky s vývěvou
		přísavky s ejektorem

Hlavice mohou být poháněny:

- pneumaticky
- elektricky
- hydraulicky

2.2.1.1 Principy uchopení

Rozlišujeme dva základní druhy sevření:

- tvarové sevření – předmět manipulace je ustaven v tvarové součásti úchopných čelistí v důsledku působení gravitační síly
- silové sevření – předmět manipulace je uchycen pomocí sil od úchopných čelistí
- kombinace obou zmiňovaných skupin.

Úchop jednou stykovou plochou může být proveden:






- využitím podtlakových, magnetických a gravitačních sil

- adhezním úchopem
- zpětným úchopem. [16]

Úchop více stykovými plochami dělíme na:

- silový styk – pro držení předmětu jsou důležité zejména optimálně orientované síly působící na předmět manipulace
- tvarový styk – pro držení předmětu je důležitý zejména optimálně upravený tvar úchopných čelistí
- kombinace obou zmiňovaných skupin. [16]

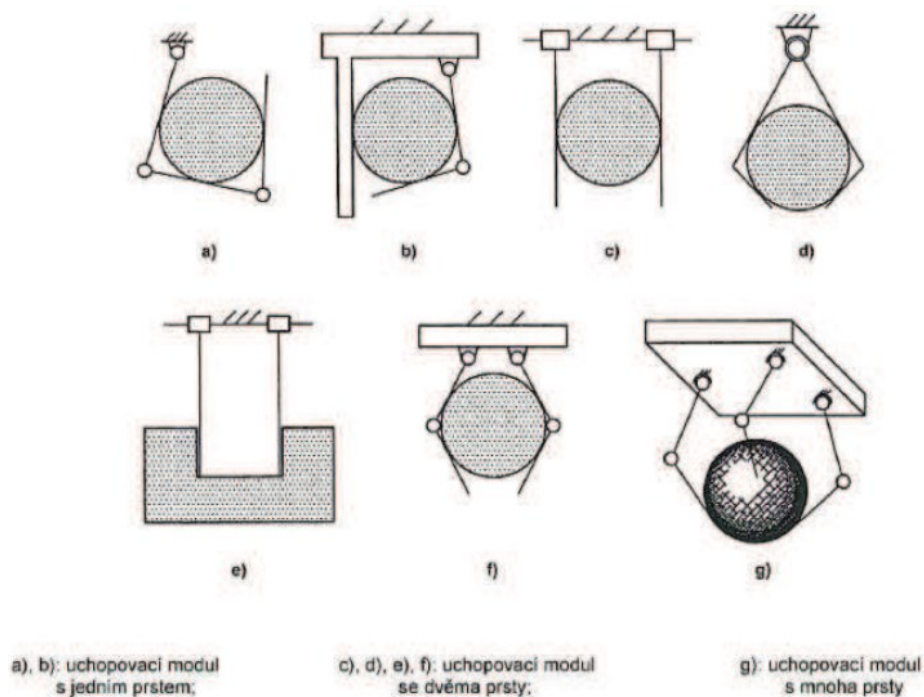
Tab. 2 Přehled základních uchopení [10]

	Typ úchopu	Typ sevření
Uchopení s kontaktní plochou	adhezivní úchop 	silové
	zpětný úchop 	tvarové
Uchopení s více kontaktními plochami	silový styk 	silové
	kombinace silového a tvarového styku 	kombinace
	tvarový styk 	tvarové

2.2.1.2 Sevření

Podle evropské normy ČSN EN ISO 14539 Manipulace s předměty pomocí uchopovacích modulů svíracího typu rozlišujeme sevření:

- sevření uzavřené podle tvaru – pouze konstrukční řešení úchopného modulu stanovuje polohu sevřeného předmětu. Počet stupňů volnosti sevřeného předmětu je roven 0 nebo má nižší hodnotu než 0, bez uvažování frikce v místech kontaktu.
- sevření silou – pro udržení polohy předmětu slouží jak tvar uchopovacího mechanismu, tak aplikované síly. Jedná se obvykle o frikční síly. Počet stupňů volnosti sevřeného předmětu je roven 0 nebo má vyšší hodnotu než 0, uvažuje-li se s třecími silami.
- vnější sevření – působí na vnější povrch předmětu, viz Obr. 16, s výjimkou e)
- vnitřní sevření – působí na vnitřní povrch předmětu, viz Obr. 16 e)



Obr. 16 Přehled způsobů sevření pomocí uchopovacího svíracího modulu

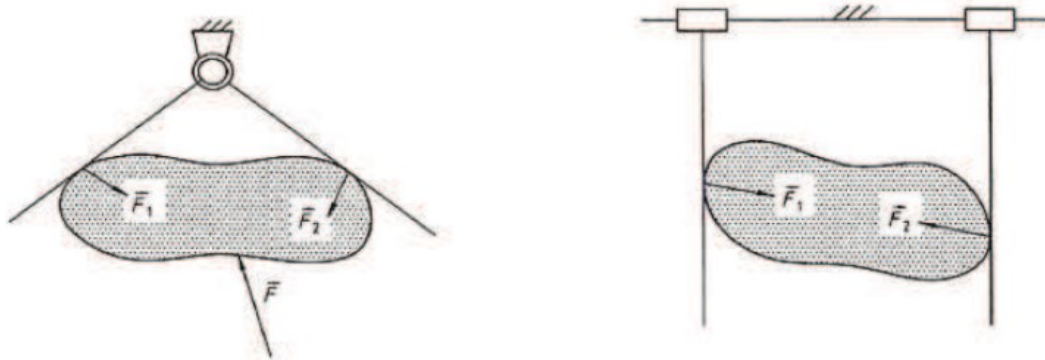
[17]

2.2.1.3 Síly působící při sevření

Podle evropské normy ČSN EN ISO 14539 Manipulace s předměty pomocí uchopovacích modulů svíracího typu rozlišujeme jednotlivé síly při sevření.

Veškeré síly při sevření jsou považovány za síly dynamické, v nichž jsou zahrnuty statické složky a mohou se měnit při působení vnějších nebo jiných zrychlení.

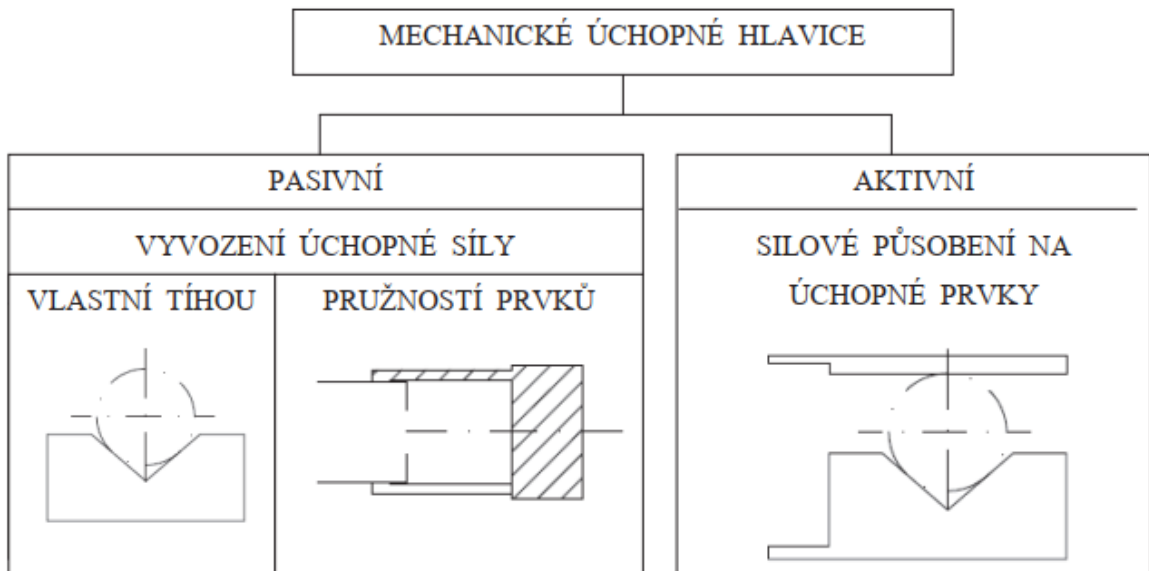
- Dotyková síla – působí od chapadla na předmět v bodu, linii nebo ploše dotyku. Třecí i běžné síly jsou v dotykových silách zahrnuty.
- Manipulační síla – vektorový součet veškerých dotykových sil, kterými chapadlo působí na předmět.



Obr. 17 Typické způsoby sevření pomocí uchopovacího svíracího modulu [17]

2.2.2 Mechanické úchopné hlavice

Obvykle mají mechanické úchopné hlavice dva úchopné prvky, z nichž jeden je pohyblivý a druhý pevný nebo jsou oba dva prvky pohyblivé. Pohyblivé prvky vykonávají pohyby rotační nebo posuvné. Jedná se o nejrozšířenější skupinu. [11]



Obr. 18 Obecná struktura hlavice [11]

- a) Aktivní mechanické úchopné hlavice – obsahují minimálně jeden aktivní prvek se samostatným pohonem. Úchopná síla je vyvozována aktivně prostřednictvím určitého pohonu. Z hlediska vzájemného uspořádání mezi úchopným prvkem a pohonem rozdělujeme aktivní mechanické hlavice:
- se speciálními úchopnými prvky
 - s transformačním blokem
 - bez transformačního bloku. [11]
- b) Pasivní mechanické úchopné hlavice – mají zpravidla jednoduchou konstrukci a využívají se při manipulaci zejména rotačních součástí a předmětů s lehkou hmotností. Úchopná síla je vyvozována pasivně například pružinou nebo vlastní tíhou manipulovaného předmětu v tvarovaných pevných podporách. Do této skupiny patří konstrukce pružných či odpružených čelistí, díky nimž je možné uchytit součást za vnější nebo vnitřní povrch. [11]

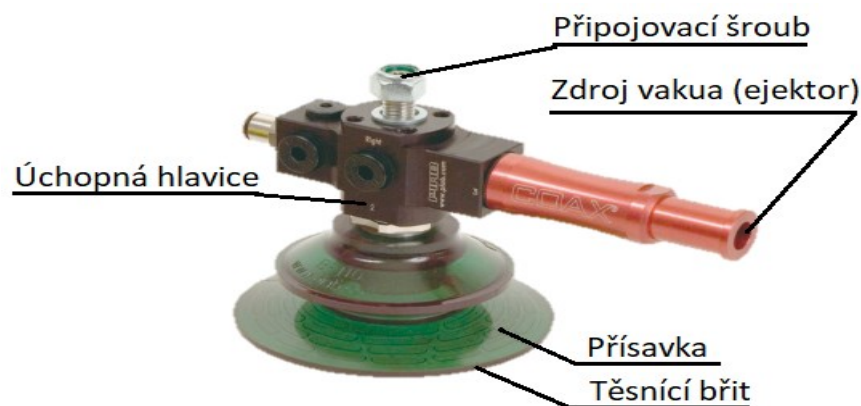


Obr. 19 Aktivní mechanické úchopné hlavice [15]

2.2.3 Podtlakové úchopné hlavice

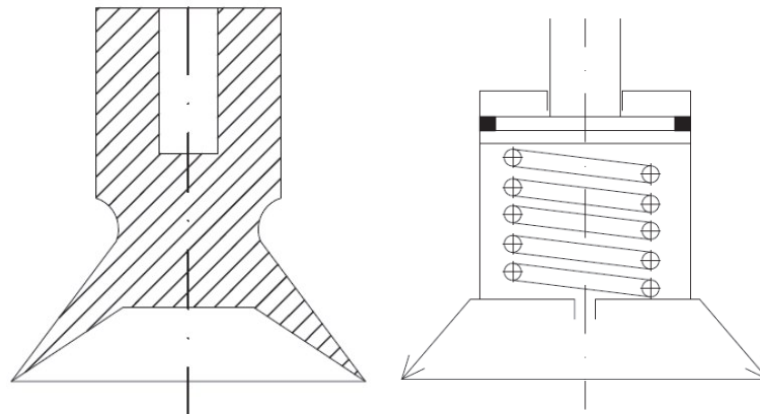
V současné době jsou používány podtlakové úchopné hlavice. Podtlakové úchopné hlavice rozdělujeme na dva základní druhy:

- a) aktivní podtlakové úchopné hlavice – funkce aktivní podtlakové hlavice je ovládána přímo řízeným vstupem, tzn. prostřednictvím libovolného řídicího systému nebo aktivního členu je řízena úchopná síla. Uplatnění těchto hlavice je zejména v oblasti robotů a manipulátorů, ale také plní svou funkci jako upínací zařízení na výrobních strojích. V oblasti manipulace jsou používány také pro změnu polohy nebo orientace v prostoru u plochých materiálů. Podtlak může být vytvořen objemovými vývěvami různých typů jako například membránové, pístové nebo lamelová čerpadla. Taktéž proudové ejektorové vývěvy jsou zdrojem vakua. [11]



Obr. 20 Aktivní podtlaková úchopná hlavice [12]

- b) pasivní podtlakové úchopné hlavice – obsahují pružné deformační přísavky (Obr. 21 A). Přenášený předmět je držen vlivem podtlaku vytvořeným v prostoru mezi deformační přísavkou a povrchem přenášeného předmětu. Velikost úchopné síly je závislá na velikosti stykové plochy přísavky s povrchem tělesa, tuhosti a tvaru přísavky (úchopná síla přísavky se zvyšuje s rostoucí tuhostí přísavky). Kvalita povrchu výrazně ovlivňuje kvalitu uchopení předmětu a tedy i bezpečnost operace. Největší uplatnění pasivních hlavice je pro manipulaci plochých předmětů jako jsou tabule skla, plechů, plasty atd. V případě, že není zaručena perfektní těsnost mezi předmětem a přísavkou, používají se přísavky s proměnlivým vnitřním objemem, jenž se skládají z válce s odpruženým pístem. Pohyb pístu zajišťuje pružina, jejíž tuhostí můžeme korigovat velikost úchopné síly (Obr. 21 B). [11]



A – Pevná přísavka

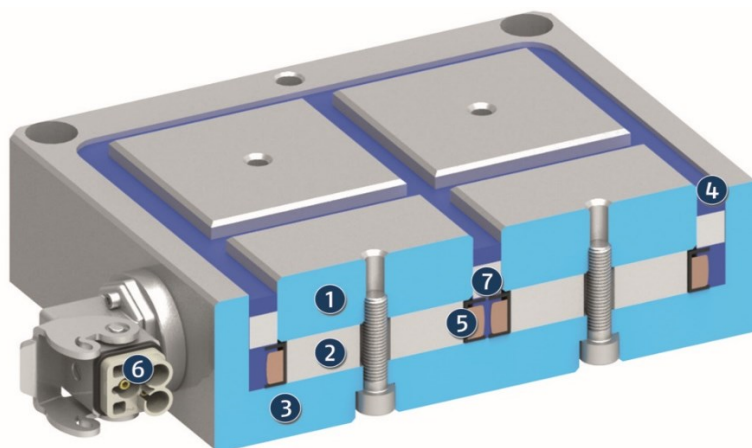
B - Přísavka s odpruženým pístem

Obr. 21 Pasivní podtlaková úchopná hlavice [11]

2.2.4 Magnetické úchopné hlavice

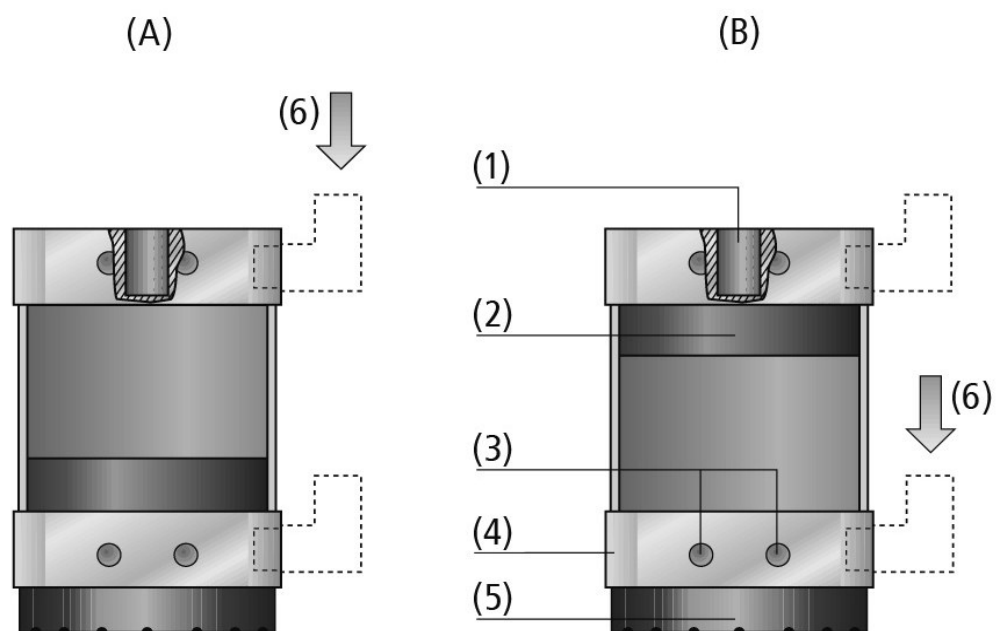
Magnetické úchopné hlavice se využívají pro manipulaci předmětů z feromagnetických materiálů. Rozdělujeme je na dva základní druhy:

- a) aktivní magnetické úchopné hlavice – mají elektromagnet integrovaný do upínacích desek. Využívá se zde fyzikálních zákonů elektromagnetu. Pokud je skrze elektromagnet, který funguje jako clona, veden elektrický proud, v elektromagnetu jsou přerušeny póly, čímž se odstraní clona a chapadlo využívá magnetickou sílu. Pro uvolnění manipulovaného předmětu je přerušeno vedení elektrického proudu. Na Obr. 22 můžeme vidět řez jedním z typů aktivních magnetických hlavice. [13]

*Obr. 22 Aktivní magnetická úchopná hlavice [13]*

- 1 – Ocelové kostky, 2 – Elektromagnet, 3 – Tělo, 4 – Ochranná vrstva pryskyřice, 5 – Cívka, 6 – Permanentní magnet

- b) pasivní magnetické úchopné hlavice – nejčastěji jsou vybaveny tyčovými permanentními magnety. Vhodné jsou především k uchycení menších předmětů, kde se nevyžadují velké úchytné síly z důvodu problému s uvolněním uchyceného předmětu. V jednoduchých případech probíhá uvolnění manipulovaného předmětu stržením při zpětném pohybu hlavice. Pokud by hrozilo poškození strhávaného předmětu, používají se ve většině případů pneumaticky ovládané vyhazovače nebo pouze pneumaticky řízené, jak lze vidět na Obr. 23. [11]



Obr. 23 Pasivní magnetická úchopná hlavice [14]

1 – Závit pro uchycení hlavice, 2 – Elektromagnet, 3 – Závit pro uchycení kroužku, 4 –
Tělo hlavice, 5 – Třecí kroužek, 6 – Vstupy pro vzduch

Výhodou magnetických úchopných hlavic je jednoduché přizpůsobení úchopných prvků tvaru manipulovaného předmětu optimálním rozmístěním jednotlivých magnetů. Úchopnou sílu je možné ovlivňovat množstvím a velikostí magnetů. [11]

Naopak nevýhodou magnetických úchopných hlavic je možné znečištění kontaktních ploch, na které se zachycuje odpad z feromagnetických materiálů, jenž může poškodit kontaktní plochy na manipulovaném předmětu. Nežádoucí může být také částečné povrchové zmag-netizování objektu. [11]

2.3 Periferie robotizovaného pracoviště

Tato podkapitola pojednává o nutném vybavení robotizovaného pracoviště a blíže popisuje jednotlivé periferie se zaměřením na technologii bin picking.

2.3.1 Průmyslové kamery

Průmyslové kamery se využívají pro kontrolu, měření, identifikaci nebo navádění robota. Kamery mají největší míru zastoupení v kontrole kvality. Rozdělujeme je na 2D a 3D kamery. Pro bin picking jsou používány 3D kamery za účelem snímání neuspořádaných objektů v bedně a na základě těchto snímků s pomocí výpočtů vision controlleru je robot schopen přizpůsobit trajektorii pro odebrání objektu. [22]

2.3.2 Snímače

Snímače mají za úkol nahradit lidský faktor v podobě smyslů během celého pracovního procesu. Používají se pro detekci pohyblivých částí chapadel, přítomnosti manipulujících předmětů a v neposlední řadě také pro zajištění vyšší bezpečnosti práce pro lidskou obsluhu. Setkáme se s nimi téměř na každém automatizovaném pracovišti. [25]

2.3.2.1 Optické snímače

Optické snímače dnes patří mezi nejvyužívanější snímače na robotických pracovištích, což je způsobeno vývojem těchto snímačů s postupnou miniaturizací a zvyšováním jejich výkonů. Základním atributem používaných prvků je převod elektrického proudu na světlo. Světlo emituje vysílací signál, který přijímá přijímací prvek. V současnosti se jako vysílací prvek používají zejména polovodičové laserové diody a luminiscenční diody. Přijímacími prvky jsou fototranzistory, fotodiody a diody s laterálním efektem. [25]

2.3.2.2 Jednocestná závora

Vyzařující světlo z vysílače se po dosažení potřebné vzdálenosti dostane k přijímacímu prvku. V případě přerušení světelného toku do přijímače se aktivuje výstup senzoru. Jednocestná závora může snímat objekty do velkých vzdáleností až okolo 200 m. Pro správnou funkci je velmi důležité přesné nastavení vysílače i přijímače, které musí být vůči sobě v optické ose. [25]



Obr. 24 Optická závora [27]

2.3.2.3 Optická reflexní závora

Reflexní závora funguje podobně jako jednocestná závora. Vyzářující světlo z vysílače se po dosažení potřebné vzdálenosti dostane k odrazce, jež odráží světlo zpět. V případě přerušení světelného toku do přijímače se aktivuje výstup senzoru. Zpravidla se používá pro detekci neprůhledných předmětů. Snímací vzdálenost klasických reflexních závor je v intervalu 0,1 – 10 m. [25]



Obr. 25 Optická reflexní závora [28]

2.3.2.4 Vláknová optika

Snímače s optickými kabely nebo tzv. světlovodiče se využívají v místech, kde aplikace výše zmiňovaných optických senzorů není vhodná. Mohou to být místa s velkými vibracemi, vysokou teplotou, elektromagnetickým rušením nebo nedostatkem prostoru. Optické kabely pouze přenášejí světelnou energii, jsou tedy pasivními prvky, které jsou umístěny na místech, kde by se umístovaly čočky senzorů. [25]

Světelná vlákna bývají ze dvou různých materiálů:

- a) skleněná vláknová optika je vyráběna z tenkých vláken o průměru asi 1 μm , jež jsou ve svazku po tisících vláknách. Stínící plášť tyto svazky chrání. Každý konec kabelu

je zalit epoxidovou pryskyřicí a snímaná plocha musí být dokonale zabroušena, jelikož jakost povrchu zásadně ovlivňuje efektivitu přenosu světla do okolí. Skleněná vlákna jsou vhodná pro využití i při vysokých teplotách okolo 600°C. [25]

- b) plastová vláknová optika je vyráběna z plastových vláken o průměru 0,02 až 0,1 mm. Obvykle mají jeden konec uzavřen kovovou koncovkou. Druhý konec kabelu slouží pro připojení k snímači a také případnou redukci délky kabelu. Jako světelné médium se většinou používá červená LED dioda z důvodu absorpce určitého rozmezí vlnového pásma světla v plastovém vláknu. V porovnání se skleněnými vlákny je velkou výhodou plastových vláken cena, na kvalitu řezu vodiče není kladen velký důraz. Nevýhodou však je nízká tepelná odolnost (okolo 70°C) a nižší chemická odolnost. [25]

2.3.2.5 Magnetické snímače

Magnetické snímače využívají principů známých z měření magnetického pole. Zdrojem magnetického pole je permanentní magnet, jenž je situován na snímaném předmětu. Využívají se ke sledování stavu, polohy automatizačních součástí. [25]

Bezkontaktně zaznamenávají, že se přibližuje magnet a nad určitou spínací hodnotu pošlou digitální signál. Využívají se zejména k monitorování uchopovacích a rotačních modulů, lineárních modulů a příslušenství robotů. [26]



Obr. 26 Magnetický snímač [26]

2.3.2.6 Indukční snímače

Indukční snímače jsou polovodičovými prvky, které slouží pro bezkontaktní detekci elektricky vodivých materiálů. Snímačem je vytvářeno magnetické pole a vstoupí-li magnetický předmět do tohoto pole, dochází na cívce ke změně magnetického pole. Snímač zaznamená tento rozdíl a převede na výstupní signál. Snímač by měl být umístěn do míst, kde nemůže

být vystavován nežádoucímu magnetickému poli. V případě, že je snímač tomuto nežádoucímu vlivu vystaven, dochází ke ztrátě maximální spínací vzdálenosti. Tento jev se může redukovat umístěním měděného pouzdra k snímači. [25]



Obr. 27 Indukční snímač [29]

2.3.2.7 Kapacitní snímače

Kapacitní senzory slouží pro bezkontaktní detekci vodivých i nevodivých materiálů. Aktivním prvkem je kotoučová elektroda umístěná uvnitř válcového pouzdra, jež funguje jako clona. Oba prvky dohromady tvoří kondenzátor se základní kapacitou. Dojde-li ke kontaktní ploše snímače snímáný objekt, dochází ke změně kapacity kondenzátoru. Tato změna je zaznamenána snímačem a převedena na výstupní signál.

V industriálních aplikacích je využití kapacitních snímačů menší z důvodu velké závislosti na okolní teplotě a rušivých vlivech. [25]

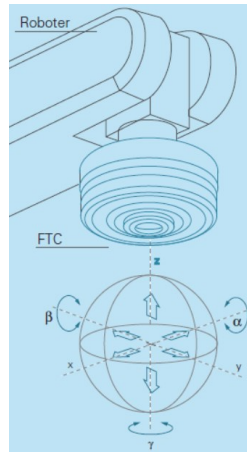


Obr. 28 Kapacitní snímače [30]

2.3.2.8 Silomomentové snímače

Silomomentové snímače se zpravidla vyskytují mezi robotem a koncovým efektem. Slouží ke snímání sil účinkujících mezi robotem a prostředím. Snímač FTC (Force Torque Control)

měří účinkující síly ve třech osách a účinkující momenty kolem tří os. Naměřené hodnoty pak robot vyhodnocuje a upravuje s ohledem na data svou dráhu. Silomomentové snímače se používají například při svařování nebo robotickém obrábění. [31]



Obr. 29 Princip silomomentového snímače [31]

3 BEZPEČNOST ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

Každé technicko-robotické pracoviště je nutné navrhnout v souladu s platnou legislativou a bezpečnostními standardy. V rámci bezpečnosti musí konstruktér navrhnout pracoviště takovým způsobem, aby se předcházelo možnému vzniku nebezpečí a nedošlo ke zranění obsluhujících osob.

Podle bezpečnosti rozlišujeme kvalifikaci obsluhy:

- odborný pracovník – zodpovídá za provoz robotického pracoviště, odstraňuje technické závady robotického pracoviště vzniklé při provozu.
- obslužný pracovník – zásobuje robotizované pracoviště materiálem, kontroluje kvalitu výrobků, nesmí provádět žádné technické opravy.

Zákony o bezpečnosti:

- Nařízení vlády č.170/1997 Sb. – č.24/2003 Sb. – stanovuje technické požadavky na strojní zařízení
- Zákon č.22/1997 Sb. – stanovuje technické požadavky na výrobky
- Zákon č. 102/2001 Sb. – 348/2004 Sb. – uvádí informace o bezpečnosti výrobku
- Nařízení vlády č. 378/2001 sb. – stanovuje bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů technických zařízení, přístrojů a nářadí. [20]

Bezpečnostní normy:

Nejdůležitější informace o standardizovaném návrhu bezpečnosti pracoviště obsahuje ČSN EN ISO 13 849-1, která pojednává o konstrukci a posuzování ovládacích systémů. Procesy, jež jsou obsaženy v standardu vedou konstruktéra k volbě bezpečnostních částí ovládacího systému tak, aby se zcela eliminovalo nebezpečí nehody v blízkosti stroje. Dalšími bezpečnostními standardy vztažen k tématu jsou:

- ČSN EN ISO 10218-1 – Roboty pro výrobní prostředí – požadavky na bezpečnost – Část 1: Robot
- ČSN EN ISO 10218-2 – Roboty pro výrobní prostředí – požadavky na bezpečnost – Část 2: Systémy robotů a integrace
- ČSN EN ISO 14 121-1/2 – Bezpečnost strojních zařízení – zásady pro posouzení rizika. Všeobecné zásady postupu, známého jako posouzení rizika ve všech etapách strojní životnosti.

- ČSN EN ISO 12100-1 – Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – zásady konstrukce
- ČSN 999 - Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 13 857 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní část ovládacích systémů – Část: Všeobecné zásady pro konstruování
- ČSN EN ISO 12100-1 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13855 - Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla. [20]

4 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Pro uvedení do tématu diplomové práce jsem v první kapitole teoretické části rozebral technologii bin picking. Seznámil jsem čtenáře s principem, problematikou a strojovým viděním této technologie. V druhé kapitole byly uvedeny konvenční kinematické konstrukce robotů. Dále jsem představil typy úchopných hlavic a základní přehled o uchopení. V poslední části této kapitoly jsou popsány periferie robotizovaného pracoviště. Na závěr teoretické části je kapitola, jež se zabývá bezpečnostními požadavky v podobě legislativy a bezpečnostních norem pro robotizovaná pracoviště.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRÁCE

Zadáním této práce je konstrukčně-technický návrh robotizovaného pracoviště výstupní kontroly s využitím technologie bin picking ve společnosti Kovárna VIVA a.s. Mnou vytvořené pracoviště a kompletní diplomová práce bude sloužit jako pilotní studie pro inženýrské oddělení uvedené společnosti. V blízké době bude technologie bin picking implementována do výroby a nahradí současné částečně robotizované pracoviště výstupní kontroly. Výsledkem této práce bude úspora jednoho operátora na jedno pracoviště. Zredukuje se “hloupá” práce, kdy operátor provádí osm hodin jednoduchou, monotónní práci, což povede k lepší hygieně práce. Primárně však nastane velká úspora prostoru, díky odstranění rozměrného vibračního dopravníku (rozměry dopravníku jsou přibližně 2000 x 2000 mm).

V práci navrhuji technické řešení celého pracoviště se zaměřením na konkrétní způsob uchopení a konstrukci chapadla. Dále volím vhodné zařízení pro technologii bin picking, což zahrnuje výběr robota a 3D kamery s příslušenstvím pro strojové vidění. Rovněž vybírám a konstruuji vhodné komponenty vyžadované pro celý proces, stanovuji jejich rozvržení na pracovišti a celý návrh zpracovávám do 3D vizualizace. Nakonec je celý proces s úkony robota ověřen v počítačové simulaci.

5.1 Současný stav

V současnosti je částečně robotizované pracoviště zásobováno výkovky prostřednictvím vibračního dopravníku. Jakmile výkovek dorazí na konec dopravníku, je převzat robotem, který objíždí podél senzoru a výkovek snímá, přičemž kontroluje rozměry a geometrické tolerance. Po shodném vyhodnocení dílu robot zakládá výkovek do CNC stroje, který do něj vyfrézuje závit. Tento proces se opakuje osmkrát do naplnění kapacity stroje. Následně robot odebírá výkovky do bedny s hotovými kusy. Operátor plní vibrační dopravník přibližně každou půl hodinu bednou výkovků.

5.1.1 Manipulovaný výkovek

V Tab. 3 jsou uvedeny technické parametry výkovku. Výrobek se používá u kamionů značky SCANIA, kde je součástí podvozku.

Tab. 3 Technické parametry výkovku

Parametr	Hodnota
Rozměr [mm]	84 x 29,4 x 18,2
Hmotnost [kg]	0,225
Materiál	Ocel – 1.1303 (38MnVS6)
Teplota výkovku [°C]	15-40 °C



Obr. 30 3D model výkovku (vlevo) a skutečný výkovek (vpravo)

5.1.2 Manipulační bedna

Manipulační bedna byla původně zadána s požadovanými rozměry 1200 x 800 x 600 mm, v průběhu práce byl však tento požadavek upraven na libovolnou výšku na 425 mm.

Tab. 4 Technické parametry bedny

Parametr	Hodnota
Vnitřní rozměry [mm]	1200 x 800 x 600
Vnější rozměry [mm]	1190 x 790 x 475
Hmotnost [kg]	115 kg (prázdna)



Obr. 31 Bedna plná výkovků

5.2 Požadavkový list

Před samotným konstrukčním projektem jsem na základě získaných informací vyhotovil požadavkový list.

Tab. 5 Požadavkový list

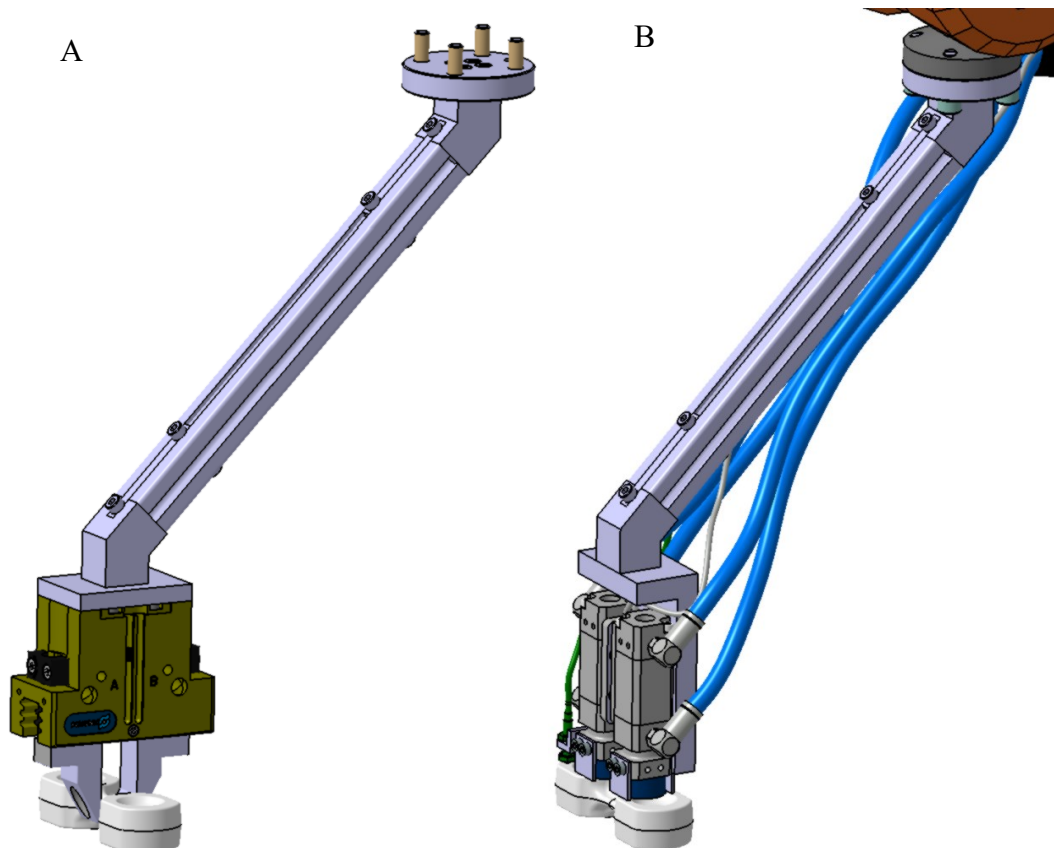
Požadavek	Parametr	Hodnota	Poznámka
Manipulovaný předmět	Rozměr [mm]	84 x 29,4 x 18,2	
	Hmotnost [kg]	0,225	
	Materiál	Ocel – 1.1303	
	Orientace	Libovolná	Manipulovaný předmět může být v bedně s libovolnou polohou a natočením
Bedna	Vnější rozměry [mm]	1200 x 800 x 600	V průběhu práce byl tento požadavek upraven na bednu s volitelnou výškou, tedy (1200 x 800 x libovolná výška) mm
	Vnitřní rozměry [mm]	1190 x 790 x 475	
Stupeň automatizace		Plně automatizovaná	
Rozsah pracovní teploty prostředí [°C]		15-40 °C	
Volba robota od společnosti		ABB	
Doba provozu		Nepřetržitý provoz	
Snaha minimalizovat rozměry pracoviště			

6 NÁVRH CHAPADLA

V této kapitole je popsána volba, konstrukce a problematika související s návrhem chapadla.

6.1 Volba chapadla

Koncepčně bylo navrženo mechanické chapadlo a magnetické chapadlo.



Obr. 32 Koncepte typů chapadel

A – Koncept mechanického chapadla, B - Koncept magnetického chapadla

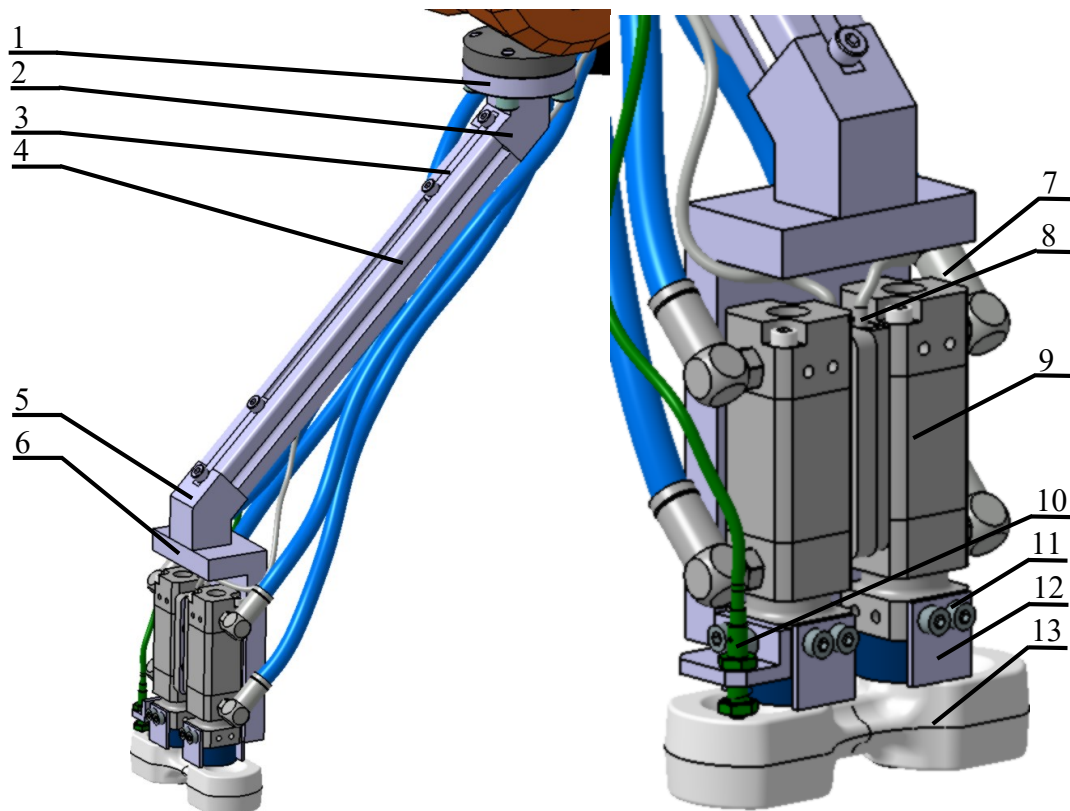
V Tab. 6 jsou uvedeny jednotlivé výhody a nevýhody obou řešení. Na základě tohoto srovnání jsem se rozhodl dále konstrukčně rozvíjet magnetické chapadlo.

Tab. 6 Srovnání magnetického a mechanického chapadla

Typ chapadla	Výhody	Nevýhody
Magnetické	Možnost uchopení výrobku napřímo i z boční strany vůči ose závitů	Riziko uchopení více dílů najednou
	Lepší dostupnost v krajních polohách	Malé riziko zbytkové magnetizace
	Jednoduchý proces	
Mechanické		Možnost uchopení pouze bočními stranami
		Vyšší riziko překážení okolních dílů
		Problémové uchopování v krajních polohách

6.2 Návrh magnetického chapadla

Na Obr. 33 spolu s Tab. 7 je možno vidět navržené chapadlo s jednotlivými součástmi chapadla. Vzhledem k malému množství rovinných ploch, malých rozměrů a výšky bedny nebylo jednoduché navrhnout pro tento výrobek chapadlo, aby se robotické rameno s chapadlem dostalo až na dno bedny k rohům.

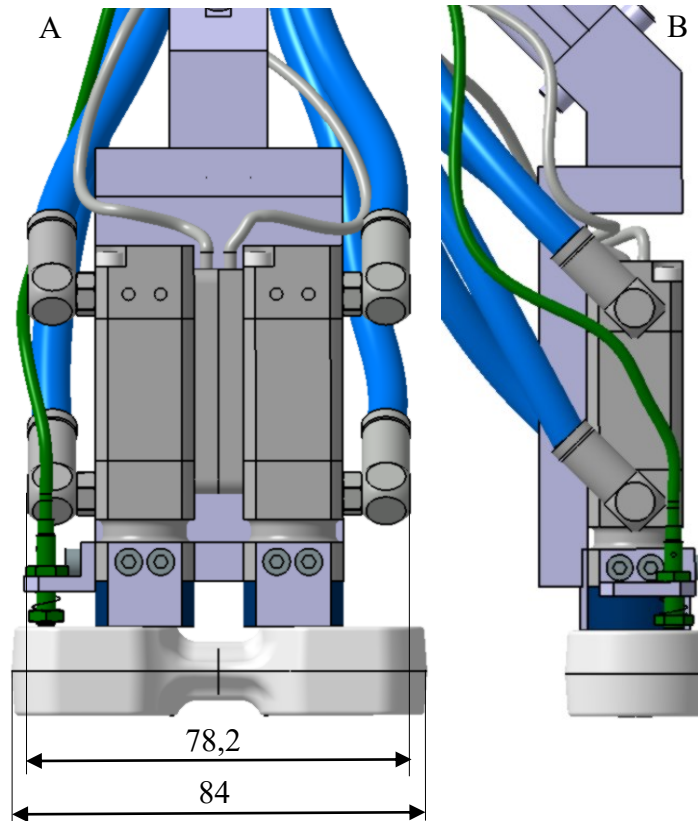


Obr. 33 Popis magnetického chapadla

Chapadlo obsahuje dva indukční senzory. Konkrétně byl použit typ MOD-NAEH-SGM-HP-20-PNP od firmy SCHMALTZ (viz pozice 8 na Obr. 33) pro snímání polohy magnetu na jednotlivých magnetických úchopných hlavicích SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG (viz pozice 9 na Obr. 33) prostřednictvím něhož je objekt uchopen. Magnety v úchopných hlavicích jsou řízeny ventily CPE10-M1BH-5J-QS-6 a poháněny prostřednictvím vzduchového média. K detekci dílu při uchopení slouží senzor SICK IM04-0B6PS-ZR1 (viz pozice 10 na Obr. 33), který je uložen v díře držáku s pružinou. Senzor se díky pružině umístěné na snímači mezi držákem a maticí může pohybovat o 4 mm ve svislém směru vůči dílu, což výrazně redukuje riziko poškození snímače v případě velké odchylky vypočítaného pohybu trajektorie a zároveň také umožňuje seřizovat výšku čidla.

Tab. 7 Výčet popsaných pozicí s udanou hmotností k Obr. 33

Pozice	Název	Počet [ks]	Hmotnost [kg]
1	Příruba	1	0,14
2	Úhlové nosné těleso A	1	0,10
3	Spojovací člen	4	0,10
4	Hliníkový profil 20 x 20 x 195 mm	1	0,10
5	Úhlové nosné těleso B	1	0,09
6	Rám	1	0,41
7	Nástrčné šroubení STV-GE M5-AG 6	4	0,06
8	Indukční senzor MOD- NAEH-SGM-HP-20-PNP	2	0,08
9	Magnetická ÚH SCHMALZ SGM-HP	2	0,16
10	Indukční senzor SICK IM04-0B6PS-ZR1	1	0,01
11	Spojovací prvky	18	0,12
12	Plech	4	0,01
13	Manipulovaný objekt	1	0,23
Celková hmotnost chapadla			1,61



Obr. 34 Detail navrženého magnetického chapadla

A – Pohled zepředu, B - Pohled zleva

Tab. 8 Parametry navrženého magnetického chapadla

Parametr	Hodnota
Maximální rozměry (X x Y x Z)	201,8 x 84 x 320,2 mm
Poloha těžiště vůči přírubě robota (Z x L)	186,2 x 112,5 mm
Hmotnost chapadla s dílem	1,61 kg
Hmotnost chapadla bez dílu	1,38 kg
Maximální únosnost úchopných hlavic	3,8 kg
Zbytková magnetizace úchopných hlavic	0,6 N

Pro uchopení byl použit magnetická úchopná hlavice SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG, který byl zvolen pro jeho malé rozměry a nízkou únosnost. Z výběru byla zvolena varianta s modrým třecím kroužkem (viz Obr. 35), která má nejnižší únosnost z řady.



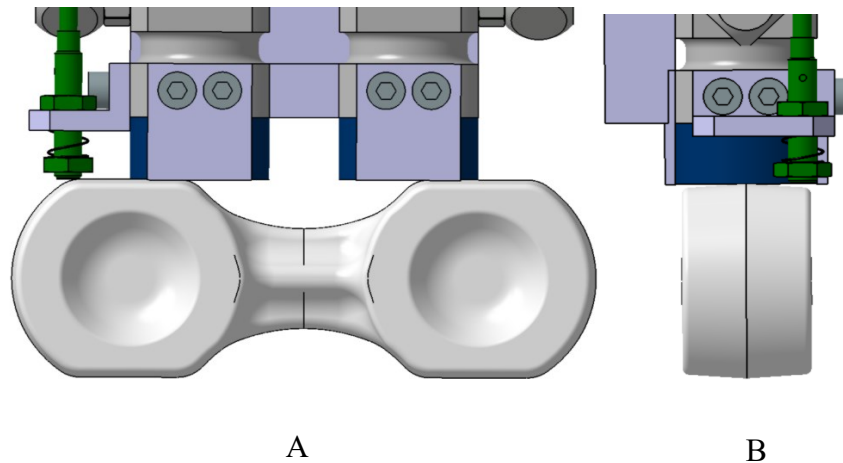
Obr. 35 Magnetická úchopná hlavice SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG

Základní technické parametry úchopné hlavice jsou uvedeny v Tab. 9. Hodnota zbytkové magnetizace je velmi nízká. Při výrobním procesu by neměly vzniknout žádné komplikace s nežádoucí magnetizací.

Tab. 9 Parametry magnetické úchopné hlavice SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG

Parametr	Hodnota
Maximální rozměry (X x Y x Z)	20 x 20 x 78,2 mm
Hmotnost	81 g
Maximální únosnost (verze s pryžovým prstencem)	1,9 kg
Zbytková magnetizace	0,3 N

Na Obr. 36 je zobrazen detail úchopu z boční strany výkovku. Primárně bylo chapadlo konstruováno pro úchop kolmo vůči rovným plochám zobrazeným na Obr. 36. Systém strojového vidění by však přednostně vybíral díly s možností úchopu k rovné ploše. Nevýhodou je, že na reálném kusu jsou na boční straně přetoky a úkosy. Rozměry jsou tedy na této straně ve větší toleranci a uchopení by bylo méně přesné. Dalším důvodem je, že výkovek se do stroje zakládá právě rovnou plochou (viz Obr. 37 žlutě vyznačené ohraničený prostor udává prostor pro založení), což vyžaduje krok navíc, konkrétně přeložení výkovku na překládacích čelistech, aby si chapadlo mohlo přechytit díl k rovné ploše. Z časových důvodů je tedy výhodnější uchycení vůči rovným plochám. Dle mého názoru je pouze minimum případů, kdy je možné uchycení jen z boční strany. Nicméně i pokud by byly dostupné pouze díly s tímto natočením, je úchop z boční strany stále možný.



Obr. 36 Detail uchopení magnetickým chapadlem (úchop z boku)

A – Pohled zepředu, B - Pohled zleva

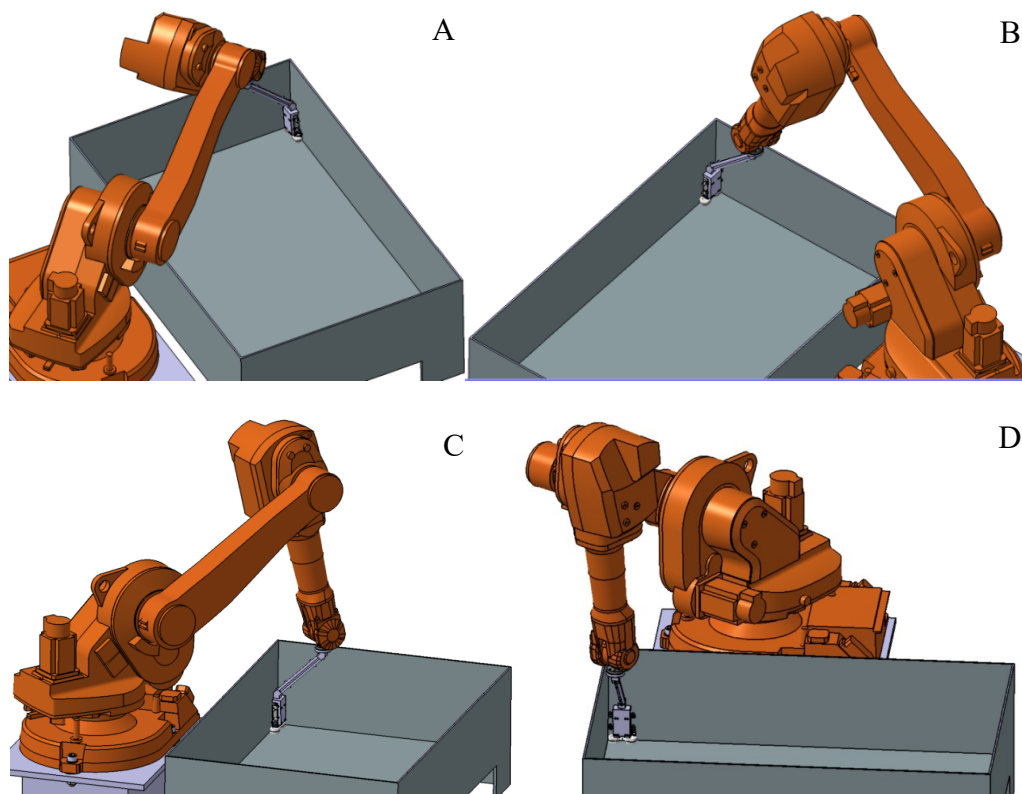
Na Obr. 37 je žlutě znázorněno ohraničení udávající prostor pro založení výkovku ve stroji. Vzhledem k nepřesnosti systému při odebrání ze dna bedny je možné, že bude pro založení výkovku nutné doplnit dodatečný naváděcí zakladač nebo úprava současného zakladače. To však již není předmětem této práce.



Obr. 37 Detail založení výkovku ve stroji

6.3 Dostupnost chapadla v krajních polohách

Magnetické chapadlo bylo navrženo, aby bez kolize dosáhlo do každého rohu bedny viz Obr. 40. Původně bylo navrženo chapadlo s mnohem větší délkou nosného profilu, okolo 350 mm, aby dosahovalo až ke dnu bedny s původní pracovní výškou bedny 425 mm. Takové řešení je však vhodné pouze pro výběr dílů z beden a odkládání na definované místo na prostornějších pracovištích z důvodu horší manévrovatelnosti. V našem případě musí navíc chapadlo při procesu provádět měření, což by s delším nosným profilem nemuselo probíhat korektně z důvodu nižší tuhosti a vyšších odchylek při přejíždění okolo měřicího senzoru. Proto byla upravena výška bedny a nosný profil zkrácen na 195 mm. Současný návrh chapadla je tedy kompromisem mezi tuhostí chapadla, výškou bedny a manévrovatelností.



Obr. 38 Uchopení chapadlem v jednotlivých krajních polohách bedny

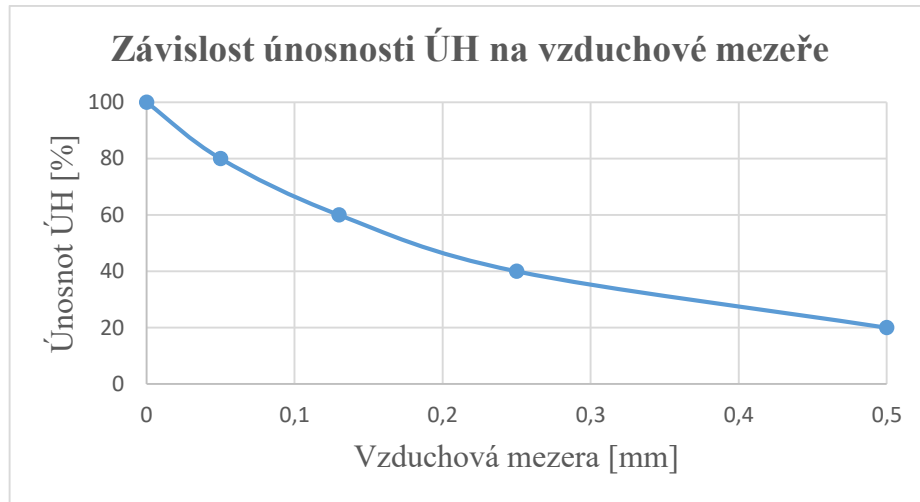
A – Uchop z levého vzdálenějšího rohu, B – Uchop z pravého vzdálenějšího rohu

C – Uchop z levého bližšího rohu, D – Uchop z pravého vzdálenějšího rohu

6.3.1 Uchopování magnetickými úchopnými hlavicemi SCHMALZ

Z důvodu vyšší celkové maximální únosnosti úchopných hlavic (3,8 kg) a menší hmotnosti manipulovaného objektu (0,224 kg) je zde určité riziko uchopení více dílů najednou. Řešení tohoto problému je uvedeno níže a znázorněno na Obr. 40 pozice B.

Po okrajích úchopných hlavic jsou připevněny plechy, které stanovují vzdálenost mezi magnetem a manipulovaným objektem, protože s rostoucí vzdáleností magnetu od dílu bude klesat magnetická síla. Plechy vymezují 0,3 mm vzduchovou mezeru od plochy magnetu k ploše výkovku. Vzdálenost vzduchové mezery byla zvolena na základě Obr. 39, což by mělo teoreticky snížit magnetickou sílu a tedy i únosnost úchopné hlavice přibližně o 60%.

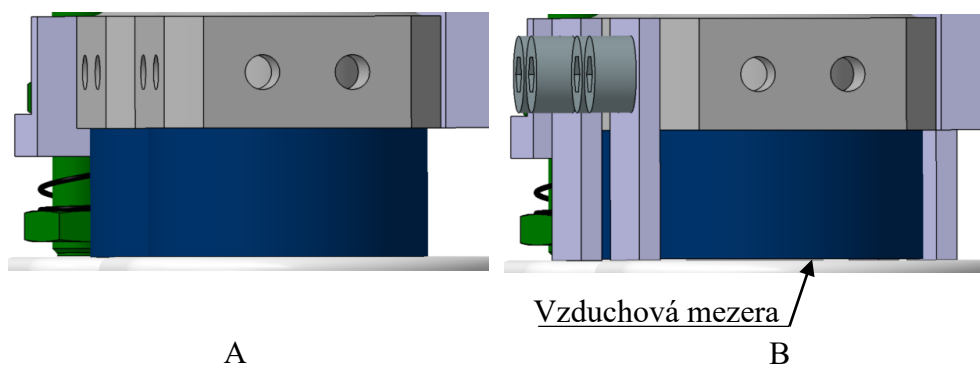


Obr. 39 Závislost únosnosti úchopných hlavic na vzduchové mezeře [37]

Domnívám se však, že nejlepší variantou je tohle řešení optimalizovat přímo na pracovišti s reálným kusem, aby chapadlo uchytilo pouze jeden díl bez přichycení okolních dílů. Důvody jsou následující:

- specifikované hodnoty z produktového listu úchopné hlavice jsou uváděny za optimálních podmínek
- při držení uchopeného objektu dochází v magnetickém obvodu k magnetickým ztrátám
- velikost a kvalita kontaktní plochy ovlivňuje únosnost úchopné hlavice.

Na základě těchto důvodů je možné, že magnetická síla nebude na okolní výkovky působit dostatečnou silou, aby je přitahovala a nebude tedy nutné redukovat únosnost úchopných hlavic, čímž se vyhneme použití vymečovacích plechů. Plechy jsou uchyceny pouze na šroubech z bočních stran úchopné hlavice. Výměna je tedy velmi operativní a absence plechů se šrouby by funkci chapadla žádným způsobem neovlivnila.



Obr. 40 Řešení redukce magnetické síly na díl

A – ÚH bez vymečovacích plechů, B – ÚH s vymečovacími plechy

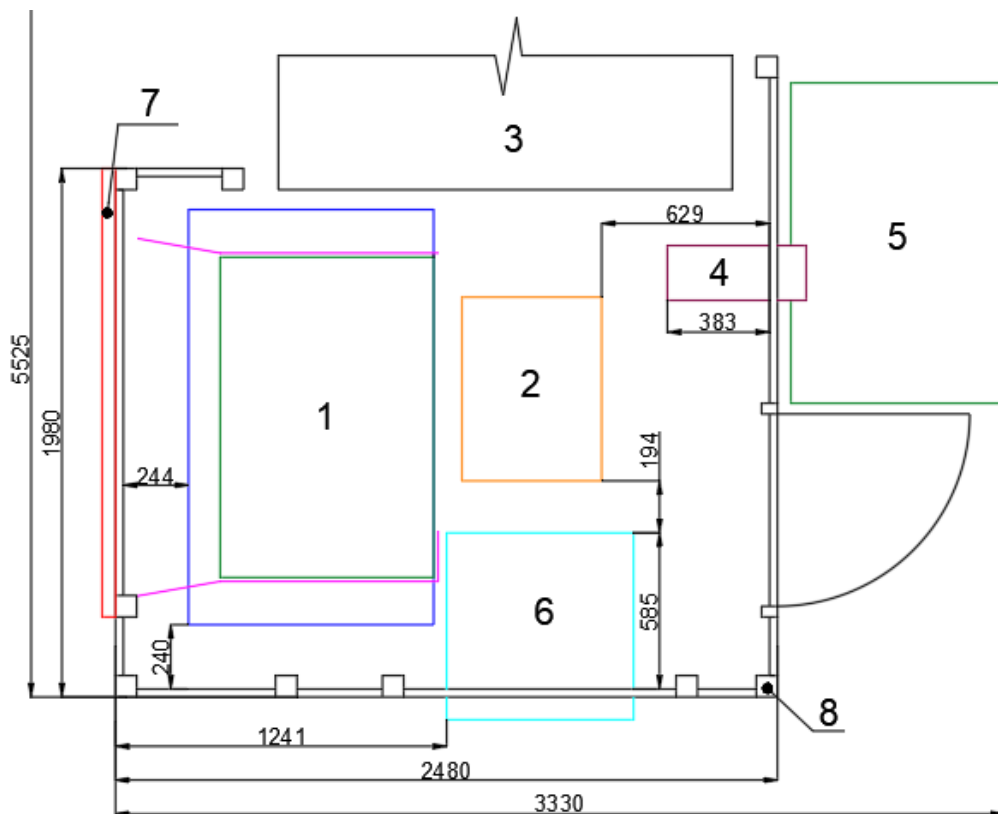
7 NÁVRH PRACOVISTĚ

Při návrhu kompletního pracoviště byla volena zařízení pro technologii bin picking, což zahrnovalo zvolit vhodný typ robota a 3D kameru s příslušenstvím pro strojové vidění. Na základě toho byly vybrány a zkonstruovány vhodné komponenty pro celý výrobní proces.

Pro správný výběr komponent byla důležitá komunikace s mnoha firmami (jmenovitě například ABB, Photoneo, Blumenbecker), s nimiž byly řešeny technické dotazy ohledně technologie bin picking, kompatibility zařízení a podobně. Z hlediska bezpečnosti pracoviště mi jako zdroj informací sloužily především normy uvedené v kapitole 3.

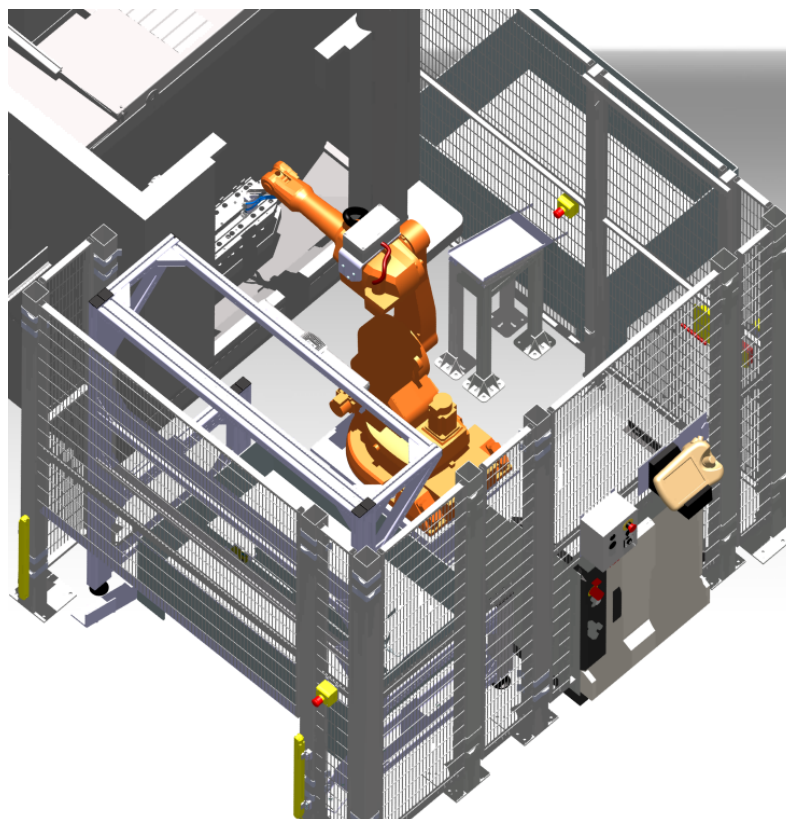
Od zadavatele byly dodány 3D modely obráběcího centra (viz pozice 3 na Obr. 44), bedny, výkovku a měřicího snímače (viz pozice 1 C na Obr. 49). Výběr ostatních součástí pracoviště byl v mé kompetenci.

Bylo stanoveno rozvržení komponent na pracovišti (layout). Na začátku projektu byly doporučované rozměry pracoviště 3000 x 5000 mm. Mnou navrhované řešení pracoviště má rozměry 3330 x 5520 mm, což bylo v rámci tolerance akceptováno. V případě určitých kompromisů by bylo možné rozměry pracoviště zredukovat o několik stovek milimetrů.

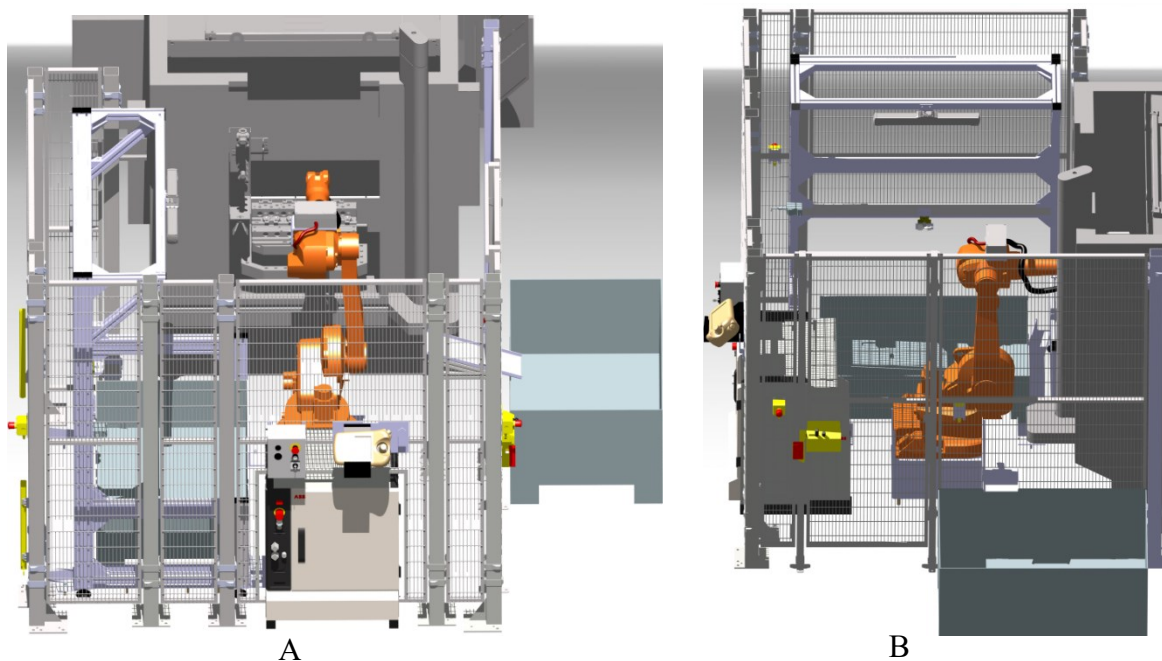


Obr. 41 Rozvržení navrženého pracoviště (Layout)

Celý návrh byl zpracován do 3D vizualizace.

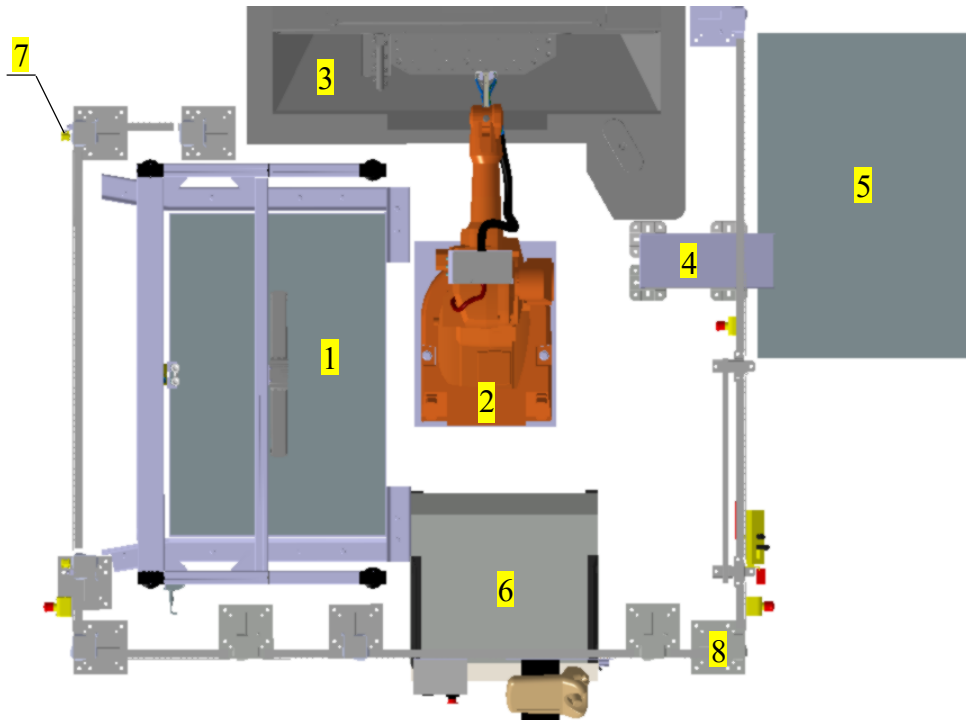


Obr. 42 3D vizualizace navrženého pracoviště



Obr. 43 Pohledy na 3D vizualizaci navrženého pracoviště

A – Pohled z přední strany, B – Pohled zprava



Obr. 44 Pohled shora na vizualizaci pracoviště s popisem jednotlivých komponent

Popis navrženého pracoviště:

1. Stanoviště pro bednu
2. Robot ABB 1600 – 10 / 1,45
3. Obráběcí centrum Chiron
4. Skluz
5. Bedna pro hotové výrobky
6. Samostatný řídicí systém ABB IRC 5 a Vision controller
7. Světelná závora Keyence GL-R14L
8. Bezpečnostní oplocení pracoviště TROAX

7.1 Analýza jednotlivých součástí navrženého pracoviště

V této části jsou popsány jednotlivé součásti navrženého pracoviště.

7.1.1 Soustava strojového vidění se stanovištěm pro bednu

Hardware pro strojové vidění bylo zvoleno od společnosti Photoneo, která je v Evropě s technologií bin picking silným hráčem a včetně technického řešení bin pickingu dodává také vlastní kamery, software a vision controller. Kamera PhoXi 3D scanner model L (Obr. 45)

umožňuje nasnímat celou plochu neuspořádaných objektů (viz Obr. 1) bez nutnosti lineárního pohybu podél bedny, což je v současné době nejpoužívanější řešení. (viz Obr. 46). Toto řešení je umožněno díky laseru na kameře, který dokáže pokrýt celou plochu uvnitř bedny najednou, čímž vyčnívá oproti běžným kamerám, kdy laser snímá pouze linie a kamera tudíž musí přejíždět po lineární ose vůči bedně. Zároveň je zkrácen čas o dobu pojezdu kamery. Tento trend se začíná objevovat u dalších velkých firem v oblasti robotizace, například firma Fanuc.

Další výhodou je, že kamera pro snímání objektu nepotřebuje žádné speciální úpravy týkající se světelných podmínek, protože funguje bez problémů do intenzity světla 700 luxů (hodnota osvětlení v kancelářích nebo na pracovištích se středním kontrastem dosahuje intenzity světla okolo 500 luxů). [34]

Umožňuje to spektrální filtr umístěný před kamerou, který propouští pouze světlo v oblasti vlnových délek infračerveného záření.

Podle obchodního zástupce firmy Photoneo, s.r.o. Jozefa Vereše v 99 % řešení firmy Photoneo, s.r.o. nevyžaduje žádné úpravy týkající se světelných podmínek. Zbylé 1 % zahrnuje případy, kdy na snímáný objekt dopadá přímý sluneční svit. [35]



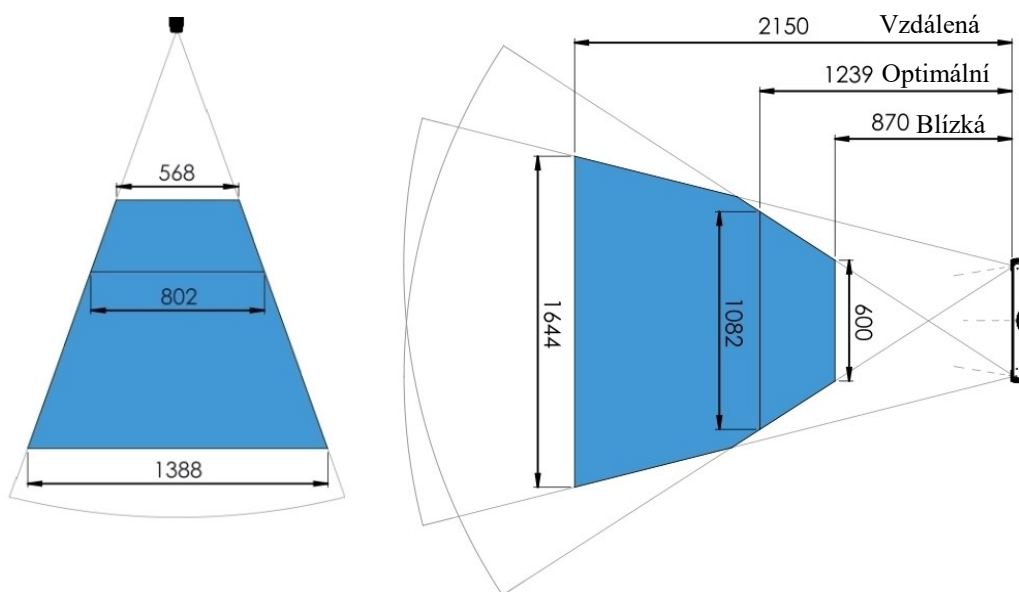
Obr. 45 PhoXi 3D scanner model L [22]



Obr. 46 Běžné řešení bin pickingu s lineárním posuvem kamery podél bedny [2]

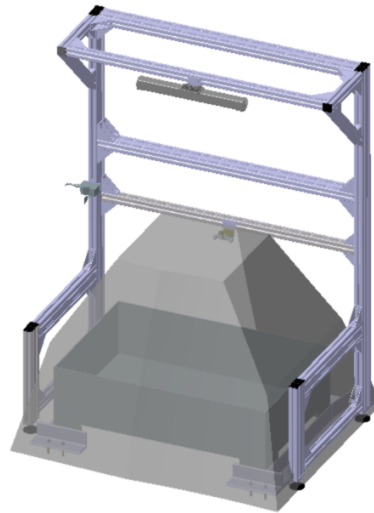
Tab. 10 Základní specifikace kamery PhoXi 3D scanner model L [35]

Parametr	Hodnota
Rozlišení	do 3,2 milionu 3D bodů
Kalibrační přesnost	0,2 mm
Skenovací čas	250 – 2750 ms
Rozměry kamery	77x68x616 mm
Vzdálenost mezi body	0,524 mm



Obr. 47 Rozměry snímaného objemu kamerou [35]

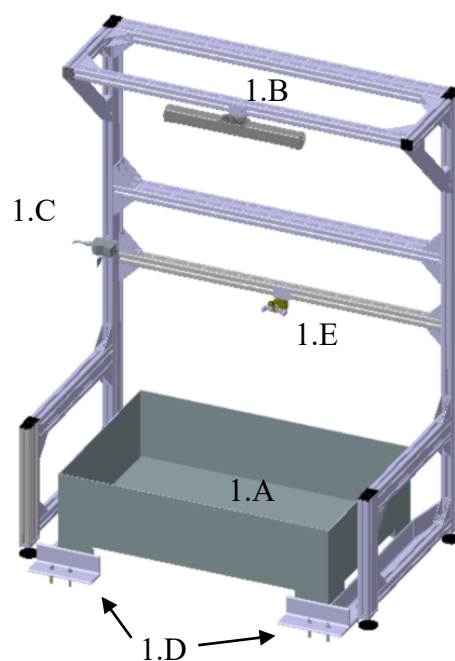
Obr. 48 znázorňuje navržené stanoviště pro bednu se snímaným objemem kamery.



Obr. 48 Pohled na vizualizaci stanoviště pro bednu se snímaným objemem kamery

Obr. 49 znázorňuje navržené stanoviště pro bednu s popisem jednotlivých komponent.

1. Stanoviště pro bednu
 - A. Bedna pro neobrobené výkovky
 - B. Držák s kamerou
 - C. Měřicí snímač rozměrů
 - D. Nájezd pro bednu
 - E. Překládací čelisti



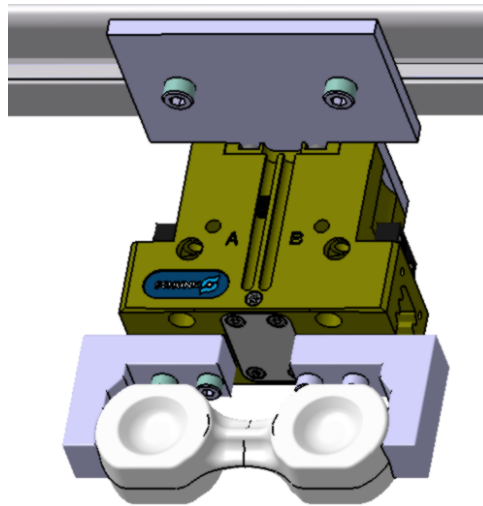
Obr. 49 Pohled na 3D vizualizaci stanoviště pro bednu s popisky

Držák s kamerou byl navržen se stavěcími patkami, aby bylo možné v případě nerovnosti podlahy v provozu zkalibrovat kameru do správné polohy.

Kamera (viz pozice 1.B na Obr. 49) je umístěna ve výšce 1800 mm nad dnem bedny. Tato výška byla stanovena pro původní bednu s výškou 475 mm, kdy kamera byla nejbliže k bedně a zároveň pokrývala celý její prostor. Systém strojového vidění při této vzdálenosti lokalizuje díly v bedně s přesností 1,5 mm, což je postačující hodnota pro uchopení. V průběhu práce však byla výška bedny zredukována o 125 mm, výšku stojanu je proto možné snížit o stejnou hodnotu a dosáhnout tím nepatrně přesnějších výstupů.

Na levé části konstrukce držáku byl umístěn měřicí snímač (viz pozice 1.C na Obr. 49) pro vyhodnocení geometrických tolerancí a rozměrů z obou stran výkovku. K zemi byl připevněn pomocí chemických kotev nájezd pro bednu (viz pozice 1.D na Obr. 49) z L profilu, aby pracovník mohl bez problémů umístit bednu vždy na stejné místo.

Dále byly k držáku umístěny nad bednu překládací čelisti (viz pozice 1.E na Obr. 49). Konkrétně bylo vybráno chapadlo PGN-plus-P 64-1-AS-K od firmy SHUNK a navrženy prsty chapadla. Čelisti slouží pro přechycení výkovku buď při měření tolerancí a rozměrů, aby robot mohl oskenovat výkovek z obou stran nebo při uchopení výkovku z boční strany.



Obr. 50 Navržené překládací čelisti

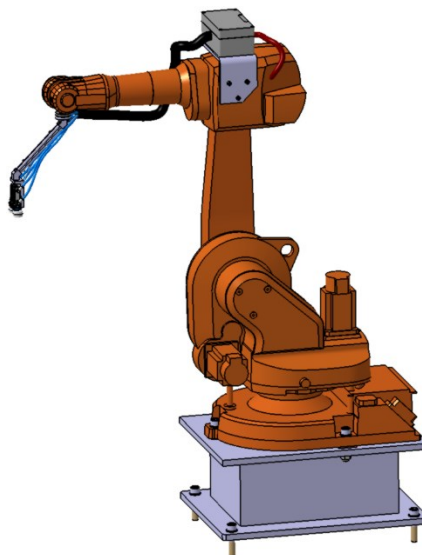
7.1.2 Robot

Robot byl zvolen dle požadavkového listu od firmy ABB, konkrétně model IRB 1600 – 10/1.45. Pro tento typ robota bylo rozhodnuto na základě jeho dosahu, nosnosti, určené aplikaci a nejvyšších rychlostech v jednotlivých osách robota z produktové řady IRB 1600.

Tab. 11 Základní specifikace robota IRB 1600 – 10/45

Parametr	Dosah [m]	Nosnost [kg]	Nosnost ramene [kg]
IRB 1600 – 10/1,45	1,45	10	20,5
Počet os	6 + 3 externí		
Ochrana	IP 67		
Uchycení	stěna, náklon, podlaha, strop		
Řídící systém	IRC 5		

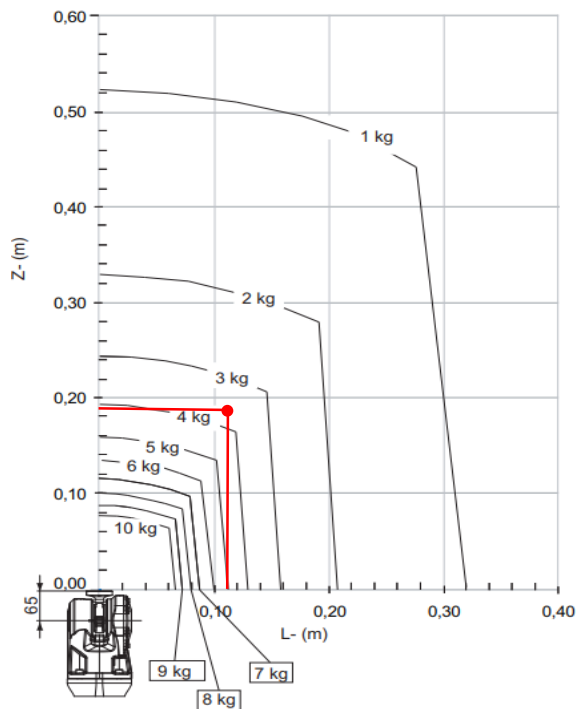
Pro robota byla navržena také podstava, která jej umísťuje do požadované výšky vůči pracovišti. Zároveň bylo vizualizováno předpokládané uchycení ovládacího rozvaděče na těle robota včetně kabelů a hadic z chapadla.



Obr. 51 Robot IRB 1600 - 10 / 1,45 na navržené podstavě

7.1.2.1 Nosnost robota

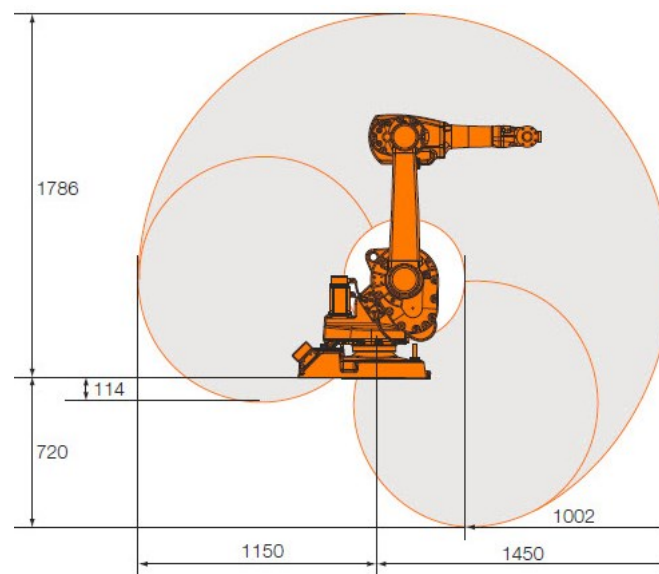
Z Tab. 8 známe parametry chapadla. Vzdálenost polohy těžiště byla zanesena do diagramu zatížení. Výsledkem předpokládané nosnosti robota v daném těžišti je 3,7 kg (viz Obr. 52). Hmotnost chapadla s uchopeným dílem je 1,61 kg. Tato podmínka tedy vyhovuje.



Obr. 52 Diagram zatížení robota IRB 1600 - 10 / 1,45

7.1.2.2 Pracovní rozsah robota

Na Obr. 53 je znázorněn pracovní rozsah zvoleného robota. V kapitole 8 se můžeme přesvědčit, že robot dosáhne ke všem požadovaným místům na pracovišti.



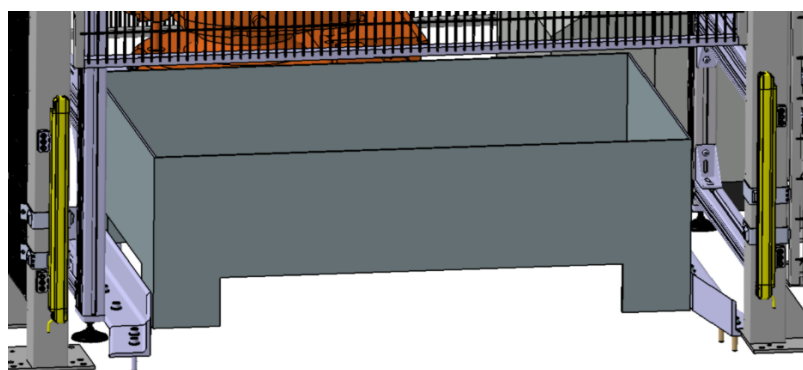
Obr. 53 Pracovní rozsah robota IRB 1600 - 10 / 1,45

7.1.3 Bezpečnostní prvky

Pro dodržení jednotlivých bezpečnostních norem na pracovišti byly použity následující bezpečnostní prvky.

7.1.3.1 Světelná závora

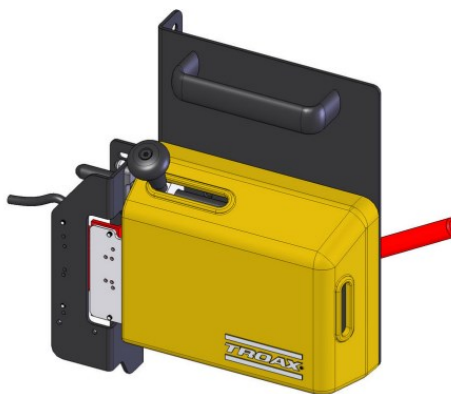
Jedním z bezpečnostních prvků je vícepapřková světelná závora s nízkou hustotou papřků a výškou detekce 520 mm, zabezpečující otvor pro vstup bedny do robotické buňky. Konkrétně byla použita světelná závora GL-R14L od firmy Keyence (viz Obr. 54 žlutě zvýrazněné komponenty).



Obr. 54 Světelná závora GL-R14L

7.1.3.2 Bezpečnostní oplocení pracoviště

K uzavření a ochraně prostoru okolo pracoviště bylo použito na žádost zadavatele projektu bezpečnostní oplocení od firmy TROAX. Byla dodržena minimální bezpečnostní vzdálenost oplocení od stroje 120 mm. Pro vstup do buňky byly do ochranného oplocení implementovány křídlové dveře s bezpečnostním zámek Safe lock, který je v souladu s normou EN ISO 13 849-1.



Obr. 55 Zámek Safe lock od firmy TROAX

7.1.3.3 Nouzové vypnutí

Bezpečnostní tlačítka nouzového vypnutí byla umístěna na těchto místech:

- vstupní dveře
- otvor pro vstup bedny do robotické buňky
- uvnitř buňky v blízkosti robota.

7.2 Cenová kalkulace navrženého řešení

V této části jsou uvedeny investiční náklady na zařízení celého pracoviště. Cenová kalkulace byla provedena ke dni 9.5.2019, ceny jsou uvedeny bez DPH.

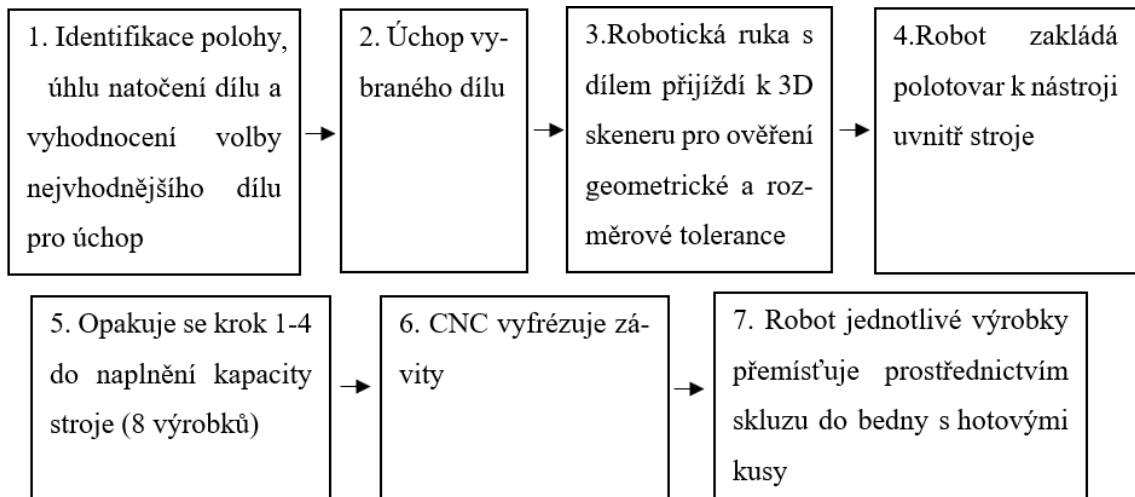
Tab. 12 Soupis cen jednotlivých součástí

Název položky	Typ zařízení	Cena zařízení [CZK]	Cena položky [CZK]
Periferie pracoviště	Držák kamery	19 538	106 663
	Překládací čelisti SCHUNK PGN-plus-P 64-1-AS-K	18 003	
	Skruz	5 244	
	Oplocení TROAX	63 878	
Robot ABB	IRB 1600 – 10/1,45		661 004
Světelná závora Keyence	GL – R14L (včetně řídicích spínačů k zařízení)		12 350
Magnetické chapadlo	Magnetická ÚH SGM-HP 20 G1/8-IG (2ks)	11 970	25 940
	Bezdotykový spínač MOD-SENS NAEH SGM-HP-20-PNP (2ks)	8 626	
	Indukční snímač IM04-0B6PS-ZR1 IND	2 084	
	Řídicí ventil CPE10-M1BH-5J-QS-6 (2ks)	3260	
Zařízení pro strojové vidění	PhoXi 3D scanner model L	320 214	1 096 958
	Vision controller	126 028	
	Bin Picking Studio (software)	643 000	
	Kabeláž	7 716	

Celková cena zařízení pracoviště činí **1 928 855 Kč** bez DPH. Z důvodu zachování diskret-
nosti cenové politiky firem vůči Kovárně VIVA, a.s. nejsou cenové nabídky uvedeny v pří-
loze, nicméně na požádání jsou dostupné k nahlédnutí.

8 VÝROBNÍ PROCES

Celý výrobní proces navrženého řešení byl ověřen v softwaru Robotstudio. Zvolený robot dosáhl ke všem požadovaným místům na pracovišti. Schéma pro konkrétní pracoviště je uvedeno na Obr. 56.



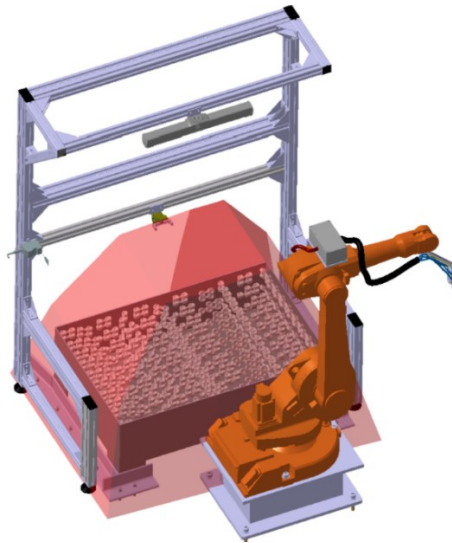
Obr. 56 Schéma výrobního procesu.

8.1 Popis jednotlivých operací

V této sekci jsou podrobněji rozepsány jednotlivé výrobní operace, doplněné názornou ilustrací.

8.1.1 Krok 1. - Skenování bedny

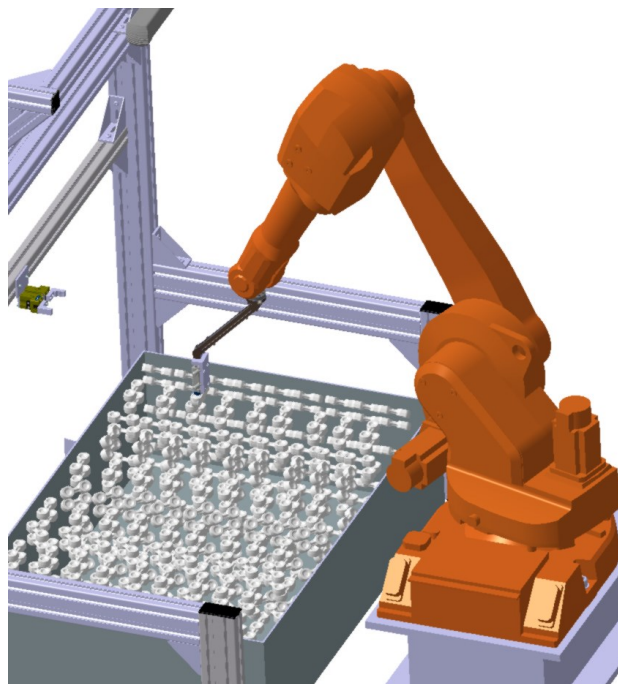
Před samotným prvním výběrem dílu z bedny 3D kamera naskenuje celou plochu jejího obsahu, tím získáme informace o poloze a natočení výkovek v bedně. Systém vidění vyhodnotí dostupné možnosti uchopení výkovek a vybere nejvhodnější variantu.



Obr. 57 Skenování obsahu v bedně

8.1.2 Krok 2. - Výběr výkovku z bedny

Na základě vyhodnocených dat ze systému strojového vidění se robot otáčí k bedně a chapadlem uchopí vyhodnocený výkovek.

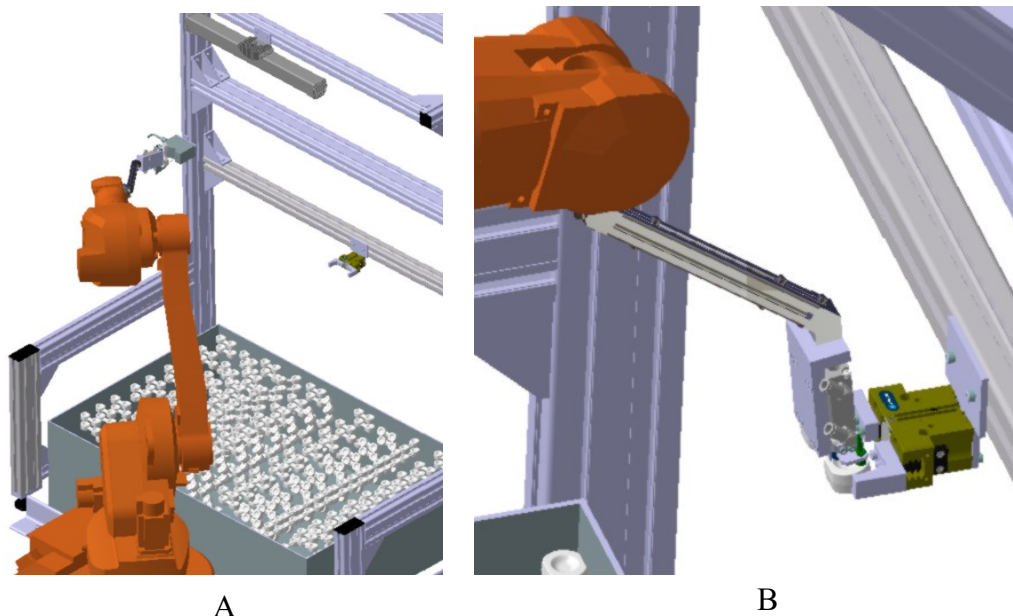


Obr. 58 Výběr výkovku z bedny

8.1.3 Krok 3. - Kontrola rozměrů a přeložení výkovku

S uchopeným kusem robot přijíždí k snímači pro kontrolu rozměrů. Snímač měří pouze v liniích, robot proto musí s výkovkem pojet podél snímače. Kontrola rozměrů na výkovku

je prováděna z obou stran. Z toho důvodu po kontrole rozměrů z jedné strany výkovku robot přejede k překládacím čelistem, kde si přiloží díl k chapadlu. Chapadlo výkovek sevře, robot výkovek opět uchytí z druhé strany a chapadlo výkovek uvolní. Robot poté znovu přijíždí k měřicímu snímači a zkontroluje rozměry druhé strany výkovku.

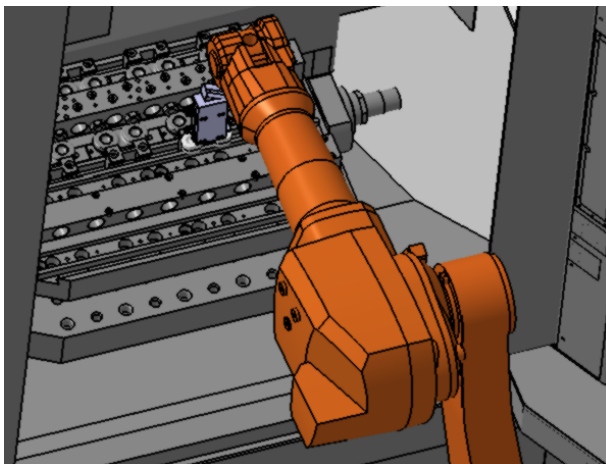


Obr. 59 Kontrola rozměrů a přeložení výkovku

A – Kontrola rozměrů výkovku, B – Překládání výkovku

8.1.4 Krok 4. - Založení dílu do stroje

Po kontrole rozměrů se robot otáčí ke stroji a zakládá do něj výkovek. V tomto mezičase dělá kamera rychlý sken obsahu bedny, kdy aktualizuje data pouze na základě 2D snímku a porovná s předchozím 3D skenem.



Obr. 60 Zakládání výkovku do stroje

8.1.5 Krok 5. a 6. – Opakování cyklu a frézování

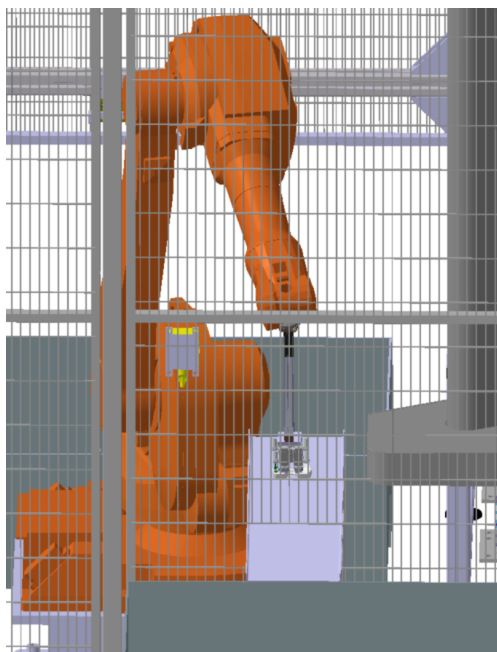
Pátým krokem je opakování kroku 1-4 až do naplnění kapacity stroje, což je 8 výkovků, následně CNC vyfrézuje závity na výkovcích (viz Obr. 61).



Obr. 61 Výkovek s vyfrézovanými závity

8.1.6 Krok 7. Vyložení výkovků do bedny

Posledním krokem výrobního procesu je postupně vyložit díly ze stroje do bedny s hotovými kusy, a to prostřednictvím skluzu. Celý pracovní cyklus se následně opakuje.



Obr. 62 Vykládání výkovku do bedny

8.2 Časový cyklus

V této sekci jsou podrobněji rozepsány časové cykly jednotlivých výrobních operací.

8.2.1 Odhadovaný čas bin pickingu

V Tab. 13 jsou uvedeny odhadované časy jednotlivých operací spojené s vybráním dílu z bedny a uložením do stroje (čas nutný pro skenování rozměrů neuvažujeme). Odhadovaný

průměrný čas bin picking cyklu, tzn. sken obsahu bedny, vyhodnocení dat, výběr dílu a založení do stroje byl stanoven na 7,5 s.

Tab. 13 Odhadovaný časový cyklus bin pickingu dle společnosti Photoneo

	Název operace	Čas [s]	Celkový čas [s]
Systém strojového vidění	3D sken (akvizice, výpočet, přenos)	4	8
	3D lokalizace 5 dílů	1,3	
	2D sken a SmartMemory kontrola lokalizace místo celého 3D skenu	1,2	
	Plánování pohybu robota (Pro 5 dílů najednou)	1,5	
Odhady pohybu robota	Pohyb robota z počáteční polohy	1	6
	Uchopení objektu chapadlem	2	
	Návrat do počáteční polohy	1	
	Uložení dílu a návrat do počáteční polohy	2	
Výběr v rychlém cyklu	Výběr (přiblížení + úchop + návrat)	4	6,7
	Lokalizace a výpočet trajektorie k dalšímu dílu v bedně (během ukládání dílu robotem)	2,7	
Bin picking pro 5 dílů	Celý výpočtový krok + uložení z předchozího cyklu		8
	4 opakování cyklu výběru (4 x 6700 ms)		26,8
	Výběr posledního objektu		4
	Celkový čas na výběr a uložení 5 dílů		37,6
	Čas na výběr a uložení 1. dílu po spuštění		12,8
	Průměrný čas na výběr a uložení 1 dílu		7,52
	Minimální čas na výběr a uložení 1 dílu		6,7
	Maximální čas na výběr a uložení 1 dílu		10,8

8.2.2 Odhadovaný čas výrobního procesu

V Tab. 13 jsou uvedeny odhadované časy jednotlivých operací výrobního procesu (časy jsou uvedeny pro 8 dílů dle kapacity stroje, pokud není uvedeno jinak). Odhadovaný průměrný čas výrobního cyklu, tzn. sken obsahu bedny, vyhodnocení dat, výběr dílu, sken rozměrů, založení do stroje a vyložení ze stroje do bedny, byl stanoven na 143,6 s pro 8 dílů (kapacita stroje) a na 17,95 s pro 1 díl.

Po procesní stránce vidím příležitost k optimalizaci v 3. kroku výrobního procesu při měření rozměrů. Snímač, který byl převzat od zadavatele, měří pouze v liniích a robotovi tedy není umožněna časově úspornější cesta, která by byla reálná při zavedení 3D snímače. V takovém

případě by totiž 3D snímač oskenoval vše najednou a robot by nemusel pojíždět okolo snímače. Otázkou však je rychlost a cena 3D snímače.

Tab. 14 Odhadovaný časový cyklus výrobního procesu dle výsledku simulace

Název operace	Čas [s]
3D sken a vyhodnocení dat	10
Výběr z bedny	17
Skenování rozměrů (sken z obou stran dílu + přeložení dílu)	80
Založení dílu do stroje	16
Vyfrézování závitů strojem	10
Vykládání dílu ze stroje do bedny	10
Průměrný celkový čas výrobního procesu.	143,6
Průměrný čas výrobního procesu 1 dílu	17,95

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce byl návrh robotizovaného pracoviště výstupní kontroly s využitím technologie bin picking.

Pro uvedení do tématu diplomové práce jsem v první kapitole teoretické části rozebral technologii bin picking. Seznámil jsem čtenáře s principem, problematikou a strojovým viděním této technologie. V druhé kapitole byly uvedeny konvenční kinematické konstrukce robotů. Dále jsem představil typy úchopných hlavic a základní přehled o uchopení. V poslední části této kapitoly jsou popsány periferie robotizovaného pracoviště. Na závěr teoretické části je kapitola, jenž se zabývá bezpečnostními požadavky v podobě legislativy a bezpečnostních norem pro robotizovaná pracoviště.

V praktické části jsem vypracoval technické řešení celého pracoviště. Podrobně jsem se zabýval návrhem způsobu uchopení, typem a konstrukcí chapadla. Vybíral jsem vhodné zařízení pro technologii bin picking, což zahrnovalo výběr robota, 3D kamery s příslušenstvím, kompatibilitou systému strojové vidění a také komunikace s firmami, jako je například ABB nebo Photoneo, s.r.o. Zároveň jsem volil a konstruoval komponenty pracoviště, vyžadující pro výrobní proces. Stanovil jsem rozvržení jednotlivých komponent na pracovišti a celý návrh zpracoval do 3D vizualizace. Závěrem praktické části jsem popsal celý výrobní proces s úkony robota. Taktéž bylo řešení pracoviště ověřeno v počítačové simulaci Robotstudio. V simulaci dosáhl zvolený robot ke všem požadovaným místům na pracovišti.

Po vyhotovení projektu byly odhaleny nové příležitosti k zdokonalení procesu. Z hlediska návrhu pracoviště jsou v určitých místech malé nevyužité prostory, rozměry pracoviště by tedy v případě určitých kompromisů bylo možné ještě v řádech několika stovek milimetrů zredukovat. Po procesní stránce vidím příležitost k optimalizaci v 3. kroku výrobního procesu při měření rozměrů. Snímač, který byl převzat od zadavatele, měří pouze v liniích a robotovi tedy není umožněna časově úspornější cesta, která by byla reálná při použití 3D snímače. V takovém případě by totiž 3D snímač oskenoval vše najednou a robot by nemusel pojíždět podél snímací linie, což by snížilo čas výrobního procesu. Řešení těchto detailů by bylo však již předmětem pro další práci.

Navrhované řešení pracoviště má rozměry 3330 x 5525 mm. Odhadovaný průměrný čas výrobního cyklu, byl stanoven na 143,6 s pro 8 výkovek (kapacita stroje) a na 17,95 s pro 1 výkovek. Celková cena zařízení pracoviště činí 1 928 855 Kč.

Pracoviště navržené v mé diplomové práci bude sloužit jako pilotní studie pro inženýrské oddělení ve společnosti Kovárna VIVA, a.s., kde v blízké době dojde k implementaci technologie bin picking do výroby, a tím k nahrazení aktuálně pouze částečně robotizovaného pracoviště výstupní kontroly. Výsledkem toho bude úspora jednoho operátora a díky odstranění rozměrného vibračního dopravníku minimálně 4 m² pracovního prostoru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČIHÁK, Petr. *Robotický výběr objektu z kontejneru – Bin picking* [online]. 2018, (5), 10-11 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52498.pdf
- [2] *Bin picking - Blumenbecker*. [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/bin-picking/>
- [3] *Robotics industry insights* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robotic-Bin-Picking-The-Holy-Grail-in-Sight/content_id/6002
- [4] Hotař, Vlastimil a František Novotný. *Pracoviště pro testování úloh bin picking na Technické univerzitě v Liberci*. Automa [online]. 2018, (1), 20-21 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/11244.pdf
- [5] Havle, Otto. *Strojové vidění I: Principy a charakteristiky*. Automa [online]. 2008, (1), 42-45 [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf
- [6] *Automatizační a robotická technika*. [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_sk_final.pdf
- [7] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa-Sobotáles, 2005, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [8] ŠÍREK, Ondřej. *Návrh automatizace procesu kalibrace na pracovišti Kovárny VIVA a.s.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 98 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/31155>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Maloch, Jaroslav. <http://www.movimed.com/knowledgebase/what-is-laser-triangulation/>
- [9] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2013-12-31]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [10] TALÁCKO, Jaroslav. *Výrobní stroje a zařízení: Automatizace výrobních zařízení* [online]. 2002. vyd. [cit. 2014-02-01]
- [11] MAŇAS, M. *Základy robotiky*. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN: 80-214-0279-2

- [12] *Vacuum pumps – Piab USA*. [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://www.piab.com/en-US/products/vacuum-pumps/combined-pump-and-gripper-vgs/vgs5010_bf110p/#overview
- [13] *Product Information Magnetic gripper EGM Q* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0020069.PDF>
- [14] *Magnetic grippers SGM Special grippers* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/special-grippers/magnetic-grippers/magnetic-grippers-smg>
- [15] *Mechanická chapadla / Festo Czech Republic* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products__69071
- [16] *Photoneo focused on 3D* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.photoneo.com/>
- [17] MOSTÝN, V., SKAŘUPA, J. *Teorie průmyslových robotů*. 1. Vydání, Košice: Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Strojnícká fakulta TU v Košiciach, VIENELA, Košice, 2000, 150 stran; ISBN 80-88922-35-6
- [18] ČSN EN ISO 14539. Manipulační průmyslové roboty: Manipulace s předměty pomocí uchopovacích modulů svíracího typu - Slovník a uvádění charakteristických vlastností. 1. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [19] *Photoneo Phoxi 3D Scanner Bin picking application* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/content_id/6722
- [20] *ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/default.aspx>
- [21] SICILIANO, B. KHATIB, O. *Springer Handbook of Robotics*. Springer Verlag New York, Inc., 2008 1611s. ISBN 978-3-540-23957-4
- [22] *Photoneo 3D Sensing Techniques Nutshell* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.imveurope.com/sites/default/files/White%20Paper%20Photoneo%202017.pdf>
- [23] *Stereo camera* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.cse.unr.edu/~bebis/CS791E/Notes/StereoCamera.pdf>

- [24] *INFAIMON selected Allied Vision's GigE Vision camera for its VGR bin picking solution* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.expo21xx.com/news/infaimon-allied-visions-gige-vision-camera/>
- [25] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004. 200 s. ISBN 80-7300-114-4.
- [26] *MMS - P* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pgn-plus-p/accessories/mms-p/
- [27] *AXIMA - Jednocestná optická závora* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/f-25-jednocestna-opticka-zavora-0-15m-kabel-2m>
- [28] *Reflexní optická závora Panasonic* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.puhy.cz/reflexni-opticka-zavora-panasonic-nx5prvm5b-c-dosah-5-m-18852.html>
- [29] *Indukční snímače Sick* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/indukcni-snimace/idf/c/g441551>
- [30] *Kapacitní snímače Sick* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/kapacitni-snimace/c/g201659>
- [31] WOLF, Andreas; STEINMANN, Ralf; SCHUNK, Henrik. *Grippers in Motion*. 1. vyd. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2005, 248 s. ISBN 3-540-25657-1.
- [32] *What is Laser Triangulation?* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <http://www.movimed.com/knowledgebase/what-is-laser-triangulation/>
- [33] *Is fully automated bin picking finally here?* [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: https://www.therobotreport.com/fully-automated-bin-picking-finally-here/?fbclid=IwAR1qtDFtrkNY8i_TkP-mCt2IBIRUo7uZvwqOYyi94ch3YsExpd4Nv-eJfMM8
- [34] *Osvětlení pracoviště – hygienické normy, doporučená intenzita* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/osvetleni-pracoviste/>
- [35] *PhoXi 3D scanner L* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.photoneo.com/products/phoxi-scan-l/>
- [36] Jozef Vereš – ústní sdělení (obchodní zástupce firmy Photoneo s.r.o.) únor 2019
- [37] *Pneumatics magnets* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.ixtur.com/index.php/tech-support/brochures/50-ixtur-map-brochure-12015/file>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
CNC	Computerized Numerical Control – počítačem (číslicově) řízené stroje
FTC	(Force Torque Control)
HMI	Human Machine Interface
MMI	Man Machining Interface
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
LED	Light emitting diode - světloemitující dioda
ÚH	Úchopná hlavice

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schéma bin picking [1].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 3D vizualizace neuspořádaných výrobku v bedně [19].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3 Schéma systému strojového vidění [5]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Blokové schéma kamerového senzoru [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5 Blokové schéma inteligentní kamery [5]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 6 Blokové schéma PC systému pro strojové vidění [5]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 Princip stereo vize (vlevo) [23] a stereo vize v praxi (vpravo) [24].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 8 Princip laserové triangulace [32]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 9 Schéma kinematiky TTT [7]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 10 Schéma kinematiky RTT [7]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 11 Schéma kinematiky RRT [7]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 12 Schéma kinematiky RRT s vodorovným otočným ramenem [7]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 13 Schéma kinematiky RRR [7]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 14 Paralelní robot [6]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 15 Obecná struktura hlavice [9]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16 Přehled způsobů sevření pomocí uchopovacího svíracího modulu [17]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 17 Typické způsoby sevření pomocí uchopovacího svíracího modulu [17]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 18 Obecná struktura hlavice [11]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 19 Aktivní mechanické úchopné hlavice [15].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 20 Aktivní podtlaková úchopná hlavice [12]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 21 Pasivní podtlaková úchopná hlavice [11]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 22 Aktivní magnetická úchopná hlavice [13].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 23 Pasivní magnetická úchopná hlavice [14]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 24 Optická závora [27]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 25 Optická reflexní závora [28]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 26 Magnetický snímač [26]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 27 Indukční snímač [29].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 28 Kapacitní snímače [30]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 29 Princip silomomentového snímače [31]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 30 3D model výkovku (vlevo) a skutečný výkovek (vpravo)</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 31 Bedna plná výkovků.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 32 Koncepce typů chapadel.....</i>	<i>45</i>

<i>Obr. 33 Popis magnetického chapadla</i>	47
<i>Obr. 34 Detail navrženého magnetického chapadla</i>	49
<i>Obr. 35 Magnetická úchopná hlavice SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG</i>	50
<i>Obr. 36 Detail uchopení magnetickým chapadlem (úchop z boku)</i>	51
<i>Obr. 37 Detail založení výkovku ve stroji</i>	51
<i>Obr. 38 Uchopení chapadlem v jednotlivých krajních polohách bedny</i>	52
<i>Obr. 39 Závislost únosnosti úchopných hlavic na vzduchové mezeře [37]</i>	53
<i>Obr. 40 Řešení redukce magnetické síly na díl</i>	53
<i>Obr. 41 Rozvržení navrženého pracoviště (Layout)</i>	54
<i>Obr. 42 3D vizualizace navrženého pracoviště</i>	55
<i>Obr. 43 Pohledy na 3D vizualizaci navrženého pracoviště</i>	55
<i>Obr. 44 Pohled shora na vizualizaci pracoviště s popisem jednotlivých komponent</i>	56
<i>Obr. 45 PhoXi 3D scanner model L [22]</i>	57
<i>Obr. 46 Běžné řešení bin pickingu s lineárním posuvem kamery podél bedny [2]</i> ...	58
<i>Obr. 47 Rozměry snímaného objemu kamerou [35]</i>	58
<i>Obr. 48 Pohled na vizualizaci stanoviště pro bednu se snímaným objemem kamery</i> ..	59
<i>Obr. 49 Pohled na 3D vizualizaci stanoviště pro bednu s popisky</i>	59
<i>Obr. 50 Navržené překládací čelisti</i>	60
<i>Obr. 51 Robot IRB 1600 - 10 / 1,45 na navržené podstavě</i>	61
<i>Obr. 52 Diagram zatížení robota IRB 1600 - 10 / 1,45</i>	62
<i>Obr. 53 Pracovní rozsah robota IRB 1600 - 10 / 1,45</i>	62
<i>Obr. 54 Světelná závora GL-R14L</i>	63
<i>Obr. 55 Zámek Safe lock od firmy TROAX</i>	63
<i>Obr. 56 Schéma výrobního procesu</i>	66
<i>Obr. 57 Skenování obsahu v bedně</i>	67
<i>Obr. 58 Výběr výkovku z bedny</i>	67
<i>Obr. 59 Kontrola rozměrů a přeložení výkovku</i>	68
<i>Obr. 60 Zakládání výkovku do stroje</i>	68
<i>Obr. 61 Výkovek s vyfrézovanými závit</i>	69
<i>Obr. 62 Vykládání výkovku do bedny</i>	69

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Rozdělení úchopných prvků [10]</i>	25
<i>Tab. 2 Přehled základních uchopení [10]</i>	26
<i>Tab. 3 Technické parametry výkovku</i>	43
<i>Tab. 4 Technické parametry bedny</i>	43
<i>Tab. 5 Požadavkový list</i>	44
<i>Tab. 6 Srovnání magnetického a mechanického chapadla</i>	46
<i>Tab. 7 Výčet popsaných pozicí s udanou hmotností k Obr. 33</i>	48
<i>Tab. 8 Parametry navrženého magnetického chapadla</i>	49
<i>Tab. 9 Parametry magnetické úchopné hlavice SCHMALZ SGM-HP 20 G1/8-IG</i>	50
<i>Tab. 10 Základní specifikace kamery PhoXi 3D scanner model L [35]</i>	58
<i>Tab. 11 Základní specifikace robota IRB 1600 – 10/45</i>	61
<i>Tab. 12 Soupis cen jednotlivých součástí</i>	64
<i>Tab. 13 Odhadovaný časový cyklus bin pickingu dle společnosti Photoneo</i>	70
<i>Tab. 14 Odhadovaný časový cyklus výrobního procesu dle výsledku simulace</i>	71

SEZNAM PŘÍLOH

CD nosič obsahuje:

DP_Mikl.pdf	elektronická verze práce
Adresář „Výkresová _dokumentace“	Výkresová dokumentace navrženého chapadla a komponent
Adresář „Technické _listy“	Technické listy jednotlivých volených komponent
Adresář „3D_model“	3D model pracoviště
Adresář „Simulace“	3D simulace pohybu robota na pracovišti