Kamerové navádění robota

Michal Přívara

Bakalářská práce
2024

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Michal Přívara**
Osobní číslo:	**A21290**
Studijní program:	**B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**
Specializace:	**Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Kamerové navádění robota**
Téma práce anglicky:	**Robot-guidance with a camera**

Zásady pro vypracování

1. Popište součásti a principy robotického systému s kamerovým naváděním.
2. Popište metody používané pro zpracování kamerových obrazů.
3. Navrhněte vhodné grippery pro uchycování konkrétních typů součástek.
4. Navrhněte způsob zpracování kamerových snímků pro navádění robota.
5. Navrhněte program pro navádění robota na základě kamerových snímků. Robot bude sloužit k sestavování finálního výrobku ze součástek.
6. Navrhněte program pro kamerovou kontrolu finálního výrobku.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ÚŘEDNÍČEK, Zdeněk. *Robotika*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. ISBN 9788074542237.
2. LYNCH, Kevin M. a PARK, Frank C. *Modern robotics: mechanics, planning, and control*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2017. ISBN 978-1-107-15630-2.
3. SANKOWSKI, Dominik a NOWAKOWSKI, Jacek (ed.). *Computer vision in robotics and industrial applications*. Series in computer vision. Singapore: World Scientific, [2014]. ISBN 9789814583718.
4. CORKE, Peter I. *Robotics and control: fundamental algorithms in MATLAB*. Springer tracts in advanced robotics. Cham, Switzerland: Springer, [2022]. ISBN 978-3-030-79178-0.
5. ŠŮSTEK, Martin. *Pokročilé algoritmy zpracování obrazu v reálném systému řízení pohybu*. 2021.
6. WANG, Patrick S-P. *Pattern recognition, machine intelligence and biometrics*. Beijing: Higher Education Press, c2011. ISBN 9783642224072.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Chalupa, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta aplikované informatiky
DĚKAN
L.S.

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské 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;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou 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;
- beru na vědomí, že podle § 60 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 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 24.5.2024

Michal Přívara, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce není pouze naprogramovat robota pro skládání výrobku z více dílů a kameru pro detekci jednotlivých dílů a kontroly finálního výrobku, ale také navrhnout samotný výrobek, pro který byly navrhnuty platformy a grippery. Práce je rozdělena do dvou částí – teoretické a praktické. V teoretické části se zabývá hlavně kamerami, dále také průmyslovými roboty. Praktická část se věnuje jak návrhu výrobku, gripperů a platforem, tak i programování samotné kamery a robota.

Klíčová slova: Stäubli, Kamerová detekce dílů, Gripper

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is not only to program a robot to assemble a product from multiple parts and a camera to detect the parts and inspect the final product, but also to design the product itself, from which the platforms and grippers were designed. The work is divided into two parts, theoretical and practical. The theoretical part mainly deals with cameras and also industrial robots. The practical part deals with the design of the product, the grippers and platforms and also the programming of the camera and robot itself.

Keywords: Stäubli, Camera detection of parts, Gripper

Chtěl bych velmi poděkovat panu Ing. Petru Chalupovi, Ph.D. a panu Ing. Vlastimilovi Čablovi z AMV Technology s.r.o. za připomínky, odborné rady a hlavně za trpělivost při vedení této práce. Také velké poděkování patří rodině a kamarádům za podporu po dobu celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD **8**
I TEORETICKÁ ČÁST **9**
1 SOUČÁSTI A PRINCIPY ROBOTICKÉHO SYSTÉMU S KAMEROVÝM NAVÁDĚNÍM **10**
1.1 ROLE KAMERY PRO LEPŠÍ VNÍMÁNÍ 10
1.2 ZLEPŠENÍ PŘESNOSTI DÍKY MANIPULACI S ROBOTEM NAVÁDĚNÝM KAMEROU 11
1.2.1 Koordinace ruka-oko prostřednictvím visual servoing 11
1.2.2 Uchopování objektů a manipulace s nimi pomocí vizuální zpětné vazby 12
1.2.3 Adaptivní řídicí technika 12
1.3 POUŽITÍ KAMER V ROBOTICE ŘÍZENÉ VIDĚNÍM 13
1.3.1 Lokalizace a mapování 13
1.3.2 Navigace a vyhýbání se překážkám 13
1.3.3 Kontrola kvality 13
1.3.4 Interakce mezi člověkem a robotem 13
1.4 GRIPPER 14
1.4.1 Pneumatické 14
1.4.2 Hydraulické 15
1.4.3 Elektrické 15
1.4.4 Magnetické 16
1.4.5 Mechanické 17
1.5 PRŮMYSLOVÝ ROBOT 17
1.5.1 Typy průmyslových robotů 18
1.6 KAMERY 22
1.6.1 Snímač obrazu 22
1.6.2 Snímač CCD (Charged Coupled Device) 22
1.6.3 Snímač CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 22
1.6.4 Velikost snímače a matice světlocitlivých buněk 22
1.6.5 Elektrické obvody kamery 23
1.6.6 Optická soustava 24
1.6.7 Mechanické části kamery 26
2 METODY POUŽÍVANÉ PRO ZPRACOVÁNÍ KAMEROVÝCH OBRAZŮ **28**
2.1 CO JE ZPRACOVÁNÍ OBRAZU 28
2.2 JAK STROJ VIDÍ OBRÁZEK 28
2.2.1 Binární obraz 29
2.2.2 Obrázek ve stupnicích šedi 29
2.2.3 Barevný obrázek RGB 30
2.2.4 Obrázek RGBA 31
2.3 ZPRACOVÁNÍ OBRAZU 31
II PRAKTICKÁ ČÁST **33**
3 3D TISK **34**

3.1 NÁVRH VÝROBKU 34
3.2 PLATFORMY PRO ODKLÁDÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ 36
3.3 NÁVRH VHODNÉHO GRIPPERU PRO UCHYCOVÁNÍ KONKRÉTNÍCH TYPŮ SOUČÁSTEK 38
4 KAMERA A SIMULACE ROBOTA 40
4.1 ZPŮSOB ZPRACOVÁNÍ KAMEROVÝCH SNÍMKŮ PRO NAVÁDĚNÍ ROBOTA. 42
4.1.1 Komunikace mezi programem Hercules a Zebra Aurora Focus 44
4.1.2 Výpočet pozice pro robota 46
4.2 NÁVRH PROGRAMU PRO NAVÁDĚNÍ ROBOTA NA ZÁKLADĚ KAMEROVÝCH SNÍMKŮ A K SESTAVOVÁNÍ FINÁLNÍHO VÝROBKU ZE SOUČÁSTEK 47
4.3 NÁVRH PROGRAMU PRO KAMEROVOU KONTROLU FINÁLNÍHO VÝROBKU 51
ZÁVĚR 52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 56
SEZNAM OBRÁZKŮ 57
SEZNAM PŘÍLOH 59

ÚVOD

Průmyslové kamery jsou v současnosti nepostradatelným nástrojem pro zajištění kvality a efektivity v mnoha odvětvích, například automobilový průmysl. Průmyslové kamery dokážou pomocí algoritmů zpracování obrazu identifikovat vady, měřit rozměry a ověřovat kvalitu výrobků s vysokou přesností.

Roboti představují další významný prvek průmyslové automatizace. V dnešní době jsou využíváni v různých oblastech, od montáže a svařování až po balení a manipulaci s materiály. Moderní průmysloví roboti jsou navíc vybaveni pokročilými senzorickými systémy, které jim umožnují reagovat na změny v pracovním prostředí a přebírat tak obtížné úkoly, které dříve vykonávali lidé.

Kamerové navádění robota představuje moderní způsob, jak roboti řídí svůj pohyb a činnost v průmyslových prostředích. Tato technologie využívá pokročilé kamery a algoritmy zpracování obrazu na detekci a rozpoznaní objektů a prostředí kolem robota. Na základě těchto informaci může robot samostatně plánovat, jak se pohybovat a přizpůsobit se různým situacím v reálném čase. Tímto způsobem se zvyšuje produktivita a flexibilita výrobních procesů a zároveň se minimalizuje riziko kolizí a poruch.

Cílem první části této bakalářské práce je popsat součásti a principy robotického systému s kamerovým naváděním a dále popsat metody používané pro zpracování kamerových obrazů.

Druhá část práce se zabývá kamerovým naváděním robota, kde je potřeba vytvořit program pro kameru a robota a zároveň navrhnout výrobek společně s gripperem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOUČÁSTI A PRINCIPY ROBOTICKÉHO SYSTÉMU S KAMEROVÝM NAVÁDĚNÍM

Se zavedením robotiky řízené viděním prošla robotika během pár let hlubokou proměnou. Tuto revoluci představují kamery, nové procesory a pokročilé algoritmy počítačového vidění, které umožňují robotům získat schopnost vizuálního vnímání. Díky této schopnosti mohou roboti „vidět“ a interpretovat okolní prostředí, což jim umožňuje komunikovat s lidmi a předměty způsoby, které byly dosud nepředstavitelné. [1]

Doby, kdy roboti slepě plnili pokyny nebo spoléhali na externí senzory, jsou minulostí. Přišly kamery, které umožňují strojům získávat informace v reálném čase. Díky pokročilým algoritmům zpracování obrazu jsou roboti schopni analyzovat vizuální vstupy, identifikovat objekty a rozhodovat se na základě toho, co vidí. Jednou z klíčových výhod této nové technologie je potenciál zrakem naváděných robotů zlepšit jejich vnímání. Díky kamerám, které zachycují obrázky a videa ve vysokém rozlišení, jsou roboti schopni rozpoznat drobné detaily, jemné změny a odchylky ve svém okolí. To jim umožňuje manévrovat v obtížném terénu, rozpoznávat a vyhýbat se překážkám a přesně ovládat předměty pomocí hloubkových kamer. Hloubkové kamery získávají informace o vzdálenosti mezi zařízením a objektem a slouží k detekci objektu v okolí a k měření vzdálenosti při pohybu. Běžně používané a oblíbené hloubkové technologie jsou stereo vidění, čas letu (ToF) a strukturované světlo. [1] [2]

1.1 Role kamery pro lepší vnímání

Kamery hrají klíčovou roli v oblasti vizuálně naváděné robotiky, která posiluje schopnosti vnímání mobilních robotů. Tito roboti získávají informace o svém okolí prostřednictvím vizuálních dat shromážděných kamerovými senzory. Pomocí různých metod zpracování obrazu mohou roboti extrahovat relevantní informace z těchto dat, což jim umožňuje vidět, chápat a interagovat s prostředím do větší hloubky. Faktory, které posilují vnímání robotů:

- Kamery slouží jako oči robotů, které zachycují fotografie nebo videa z jejich okolí ve vysokém rozlišení. Od standardních RGB kamer až po specializované varianty jako jsou NIR nebo hloubkové kamery, tato zařízení zachycováním vizuálních dat poskytují robotům přístup k vizuálním informacím, které lidé používají pro vnímání.

- Po zachycení vizuálních dat roboti používají techniky zpracování obrazu k extrahování užitečných informací z pořízených snímků. Tato sada technik zahrnuje segmentaci obrazu, filtrování obrazu, detekci hran a extrakci příznaků. Díky těmto algoritmům jsou roboti schopni rozpoznat a lokalizovat příslušné objekty nebo oblasti zájmu na snímcích, což jim umožňuje provést další analýzu.
- Pomocí kamer roboti můžou identifikovat a sledovat objekty ve svém okolí. S využitím algoritmů počítačového vidění mohou roboti identifikovat a lokalizovat objekty na základě různých charakteristik, jako je velikost, tvar, barva, textura a další rozlišovací prvky. Populární algoritmy detekce objektu, například YOLO (You Only Look Once) nebo Faster R-CNN (Region Convolutional Neural Network), umožňují detekovat a identifikovat více objektů současně. Ze sledovacích dat shromážděných kamerami mohou roboti odvozovat užitečné informace pro interakci a manipulaci. [1][3]

Mobilní roboti mohou rozvíjet hloubkové vnímání a vytvářet 3D mapu svého okolí díky stereovizním kamerám, které se skládají ze dvou nebo více prostorově oddělených kamer. Roboti mohou odhadovat informace o vzdálenosti analýzou rozdílů mezi obrazovými body získanými každou kamerou. Kromě toho mohou využívat i jiné technologie hloubkového vnímání, jako je strukturované světlo nebo doba letu. Díky této rozšířené znalosti o hloubce jsou roboti schopni bez problému plnit úkoly, jako je navigace, plánování cesty a detekce překážky. [1]

1.2 Zlepšení přesnosti díky manipulaci s robotem naváděným kamerou

Využití kamer a vizuální zpětné vazby ke zlepšení přesnosti, účinnosti a kontroly robotické manipulace se označuje jako manipulace robotem řízená kamerou. Díky technikám jako je visual servoing, koordinace ruka-oko a adaptivní řídicí strategie mohou roboti provádět složité uchopovací a manipulační úkoly s větší efektivitou a přizpůsobivostí. [1]

1.2.1 Koordinace ruka-oko prostřednictvím visual servoing

Visual servoing je technika, která řídí pohyb a polohu koncového efektoru robota pomocí vizuální zpětné vazby z kamer. Robot plynule mění svůj pohyb, aby dosáhl požadovaného úkolu porovnáváním požadovaných vizuálních charakteristik se současnými snímky

z kamery. Tahle metoda nám umožňuje okamžitou kontrolu a zohledňuje nesrovnalosti v pohybech robota nebo poloze objektu. [1]

Pro lepší pochopení si lze představit situaci, kdy robotické rameno vybavené kamerou musí získat předmět z přeplněného stolu. Chapadlo robota je správně zarovnáno s umístěním a orientací objektu díky visual servoing, které využívá hloubkové kamery. I když je počáteční pozice objektu neznámá nebo se v průběhu úkolu mění, robot upraví své akce tak, aby dosáhl úspěšného uchopení pomocí vizuálních signálů. [1]

1.2.2 Uchopování objektů a manipulace s nimi pomocí vizuální zpětné vazby

Roboti využívají kamery k získávání aktuálních vizuálních informací, které jim pomáhají přizpůsobit jejich uchopovací a manipulační techniky podle vzhledu objektu a okolních podmínek. Díky vizuální analýze dat mohou roboti určit nejlepší způsoby uchopení objektů, přizpůsobit jejich manipulaci a pracovat s objekty různých tvarů, velikostí nebo textur. Uvažujte například o robotickém rameni vybaveném kamerou, který vybírá různé předměty z kontejneru. Kamera poskytuje vizuální zpětnou vazbu, což umožňuje robotovi analyzovat tvary a velikost objektů a na základě těchto informací volit vhodné strategie uchopení, jako je sevření dvěma prsty nebo paralelní chapadlo pro stabilní a efektivní manipulaci. [1]

1.2.3 Adaptivní řídicí technika

Kamery umožňují použití adaptivních řídicích technik, kdy se chování robota upravuje v reálném čase podle vstupů z kamery. Roboti mohou měnit své ovládací nastavení, trajektorie nebo sílu uchopení na základě změn v okolí, průběžným sledováním vizuálního vstupu. Tato přizpůsobivost zvyšuje odolnost a flexibilitu robota při provádění různých manipulačních úkolů. Uvažujme například robotické rameno s kamerou, které manipuluje pohybujícími se předměty na dopravníku. Kamera poskytuje neustálá vizuální data, což umožňuje robotovi upravit sílu uchopení podle odhadované hmotnosti předmětu a přizpůsobit trajektorii v případě změny polohy objektu. Adaptivní řízení umožňuje efektivní manipulaci i v dynamických a nejistých situacích. [1]

1.3 Použití kamer v robotice řízené viděním

Kamery mají klíčový význam v oblasti robotiky řízené viděním, umožňují robotům vnímat své okolí a interagovat s ním. Zde jsou některé důležité případy použití kamer v robotice řízené viděním: [1]

1.3.1 Lokalizace a mapování

Mobilní roboti využívají kamery ke své lokalizaci, což jim umožňuje pochopit jejich polohu a lépe se zorientovat v prostředí. Analýzou obrazových dat a využitím technik jako je simultánní lokalizace a mapování (SLAM) mohou roboti vytvářet mapy svého okolí a určovat svou polohu na mapě. [1]

1.3.2 Navigace a vyhýbání se překážkám

Kamery pomáhají robotům navigovat se bezpečně a vyhýbat se překážkám. Navigace může být buď řízená (pomocí čarových kódů a značek, které jsou umístěny na stěnách nebo na podlaze) nebo autonomní, kdy roboty řídí technologie jako stereo kamery, doba letu nebo strukturované světlo. Typ kamery se volí podle způsobu navigace. Kamery umožňují robotům snadněji identifikovat překážky a přizpůsobit svou navigaci. Pokud jde o vyhýbání se překážkám, může být použita hloubková kamera nebo RGB kamera, přičemž volba závisí na složitosti dané situace. [1]

1.3.3 Kontrola kvality

Kamery se v průmyslu využívají ke kontrole kvality. Roboti vybavení kamerou mohou provádět vizuální inspekce produktů a součástí, což umožňuje detekci vad nebo nepravidelnosti. To zajišťuje stálou kontrolu kvality a snižuje potřebu lidských kontrol. [1]

1.3.4 Interakce mezi člověkem a robotem

Kamery umožňují robotům efektivní a bezpečnou komunikaci s lidmi. Roboti mohou pomocí kamer rozpoznávat a sledovat lidské pohyby, výrazy obličeje a řeči těla, což umožňuje přirozenou interakci. Dále umožňují robotům rozpoznat přítomnost lidí a reagovat na ni, což snižuje riziko nehod a kolizí. To se používá v různých typech robotů, včetně robotů společníků, robotů pro manipulaci s nákladem a teleprezence. [1]

1.4 Gripper

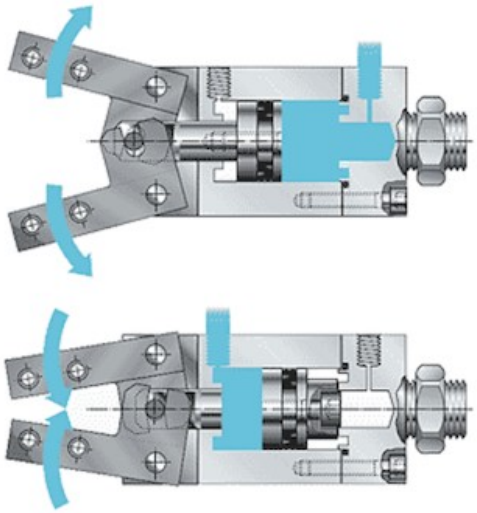
Robotický gripper je zařízení, které umožňuje robotům uchopit a držet předměty, se kterými vykonávají práci a pro kterou byl navržen. Jednoduše řečeno, dají se přirovnat k lidské ruce, konkrétně k prstům. [4][5]

V následujících podkapitolách si rozdělíme a vysvětlíme jednotlivé typy gripperů, se kterými se člověk může setkat.

1.4.1 Pneumatické

Pneumatický gripper funguje na principu stlačeného vzduchu, který je přiváděn do válce, ve kterém se pomocí tlaku pohybuje píst. Pohybem pístu se gripper uzavírá nebo otvírá. Přiváděním stlačeného vzduchu do válce se gripper uzavírá a uchopí předmět. Uvolňováním tlaku se gripper otvírá a uvolní předmět. [4][6][7][8]

Výhodou pneumatického gripperu je cena a rychlá doba odezvy. Nevýhodou pneumatických gripperů je vykonávat práci pouze s jednodílným předmětem a mají omezenou sílu. [4][6][7][8]

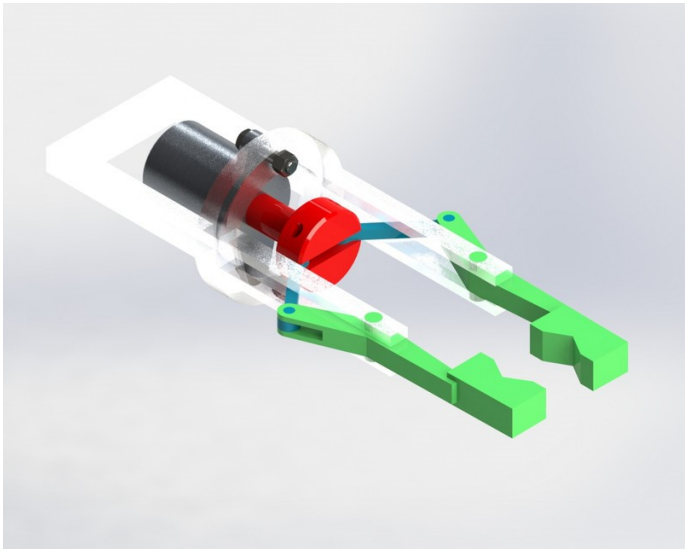


Obrázek 1: Princip činnosti dvouprstového pneumatického gripperu [8]

1.4.2 Hydraulické

Hydraulický gripper je poháněn hydraulickou kapalinou, která pohybuje pístem a umožňuje větší uchopovací sílu než pneumatický gripper. Díky tomu je hydraulický gripper vhodný pro náročnější aplikace. [5][9]

Nevýhodou hydraulického gripperu je větší a složitější údržba, která může vyžadovat kvalifikované techniky pro údržbu oleje, čerpadla a nádrže. Dále není vhodný do čistých prostor, je nákladnější a méně přesný než pneumatický gripper. [5][9]



Obrázek 2: Hydraulický gripper [10]

1.4.3 Elektrické

Elektrický gripper, známý taky jako servoelektrický gripper pomocí elektromotoru ovládá své prsty gripperu. Elektromotor je poháněn elektřinou, díky které se snadno používá. Je vhodný pro aplikace, které vyžadují lehkou/střední uchopovací sílu a vysokou rychlost.

Je znám svým snadným použitím v průmyslu a svou přesností, zejména u obsluhy strojů a pick & place. Některé grippery poskytují větší kontrolu a nastavitelnost než pneumatický gripper. Dále je vhodnější do kontrolovaných prostředí (čisté prostory, lékařské) než zmíněný pneumatický gripper. Nevýhodou je uchopovací síla, která není tak silná jak u hydraulického. [5][11][12]

Obrázek 3: Elektrický gripper [11]

1.4.4 Magnetické

Magnetický gripper funguje na principu magnetického pole, který se využívá k držení a uvolňování feromagnetických předmětů jako je ocel. Pomocí cívky, která funguje jako spínač se ovládá směr magnetického pole neboli pouze v okamžiku magnetizace a demagnetizace využívá elektřinu, kde magnetické pole nezmizí po dokončení magnetizace. Cívka se pohybuje pomocí stlačeného vzduchu pro ovládání gripperu (rukojeti). [4][13][14][15]

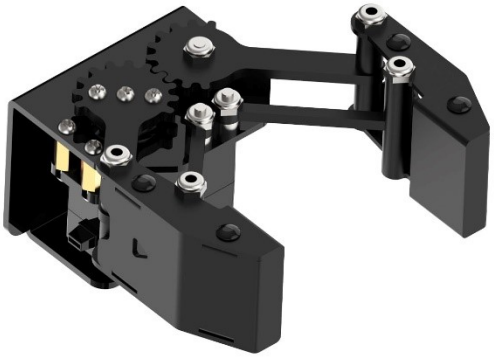
Je nejlepší volbou pro manipulaci se železnými materiály. Při uchopení tenkých nebo velmi hladkých ocelových dílů nezpůsobí deformaci ani opotřebení. Není vhodný pro manipulaci s nemagnetickými předměty.

Obrázek 4: Magnetický gripper [14]

1.4.5 Mechanické

Mechanický gripper se skládá ze dvou nebo více prstů, které jsou poháněny elektrickou, pneumatickou nebo hydraulickou sílou. Využívají se v průmyslovém prostředí a v závislosti na aplikaci se používají i ve specializovaných variantách. [15][16]

Gripper nabízí jednoduché řešení pro manipulaci. Výhodou je rychlost pohybu, přesnost a konzistentní síla uchopení oproti ruční práci. Gripper může být poměrně těžký a objemný a může tedy vyžadovat přesné umístění a mít omezenou flexibilitu. [15][16]



Obrázek 5: Mechanický gripper [17]

1.5 Průmyslový robot

Průmyslový robot je robot, který byl vyvinut pro automatizaci náročných výrobních procesů. Je náhradou člověka ve výrobním procesu a bývá většinou umístěn na pevných pozicích v průmyslovém závodu a provádí úkoly. Automobilový průmysl by v dnešní době těžko fungoval bez průmyslových robotů. Podle mezinárodní normy ISO 8373:2012 definice průmyslového robota zní: „*Průmyslový robot je autonomní programovatelný víceúčelový manipulátor s třemi nebo více osami, který může být stacionární nebo mobilní a je určen pro použití v průmyslu*“. [22] Pojem „robot“ představuje zařízení, které má tyto vlastnosti:

- 1. Manipulační schopnost – schopnost uchopovat objekty, přenášet je, provádět na nich úpravy a schopnost vykonávat montážní činnost a manipulaci s nástroji
- 2. Univerzálnost – zařízení neslouží pouze pro jeden účel, ale i pro jiné účely na jiném pracovišti

- 3. Vazba s prostředím – vnímaní okolí pomocí senzorů
- 4. Autonomnost chování – schopnost vykonávat automaticky složité jednotlivé úkoly podle určitého programu
- 5. Prostorová soustředěnost jednotlivých složek [18][19][20][21]

1.5.1 Typy průmyslových robotů

Existují různé typy robotů, kde každý typ robota je vhodnější na konkrétní aplikaci. Typy průmyslových robotů, se kterými se můžeme setkat:

Kartézský robot – známý taky jako portálový nebo lineární robot, který má tři lineární osy a využívá kartézský souřadnicový systém (X, Y a Z), po kterých se pohybuje (dopředu, dozadu, doleva, doprava, nahoru, dolů). Jedná se o oblíbené roboty, u kterých je možné upravovat konfigurace (jako je rychlost, přesnost a délka zdvihu) v závislosti na danou aplikaci. Jedná se o jeden z nejpoužívanější typů robotů v průmyslu, které se často používají pro CNC stroje. [18][23]

Obrázek 6: Kartézský robot [18]

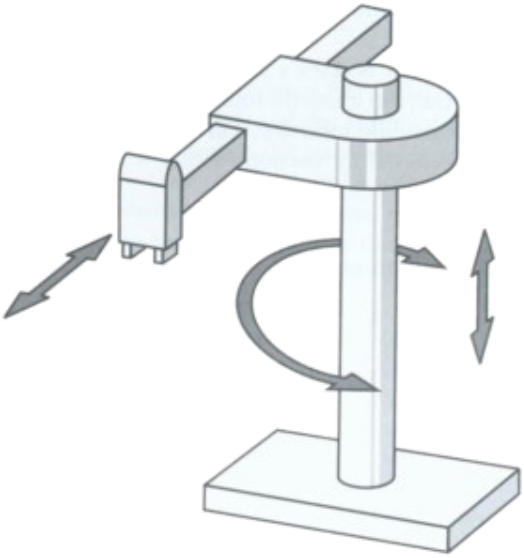
Robot SCARA – zkratka SCARA znamená Selective Compliance Articulated Robot Arm nebo Selective Compliance Assembly Robot Arm. Jedná se o roboty, kteří mají tři osy (X, Y a Z) a rotační pohyb, pomocí kterých, oproti kartézským robotům, mají lepší stranové pohyby, pohybují se rychleji a lépe se integrují. Tito roboti se běžně používají pro nakládací stroje, montáž, pro paletizaci a pájení. [18][23]

Obrázek 7: Robot SCARA [18]

Kloubový robot – jedná se o robota, který je flexibilní a svými mechanickými pohyby připomíná lidskou paži. Rameno robota je spojené se základnou pomocí otočného kloubu. Roboti mívají čtyři nebo šest os. Díky tomu můžou tihle roboti provádět úkoly, které většina ostatních nemůžou. Běžně se používají pro montáž, manipulaci, obsluhu strojů, pro svařování a balení. [18][23]

Obrázek 8: Kloubový robot [18]

Válcový robot – jedná se o robota, který má lineární a rotační pohyby, pomocí kterých se pohybuje lineárně a horizontálně. Tento robot má válcový pracovní prostor díky otočnému hřídeli. Nejsou univerzální a ani tak přesné. Běžně se používají pro obsluhu strojů, pro montáž a pro nátěr. [18][23]



Obrázek 9: Kloubový robot [18]

Robot Delta – známý taky jako paralelní robot, který má tři ramena spojená se základnou, která se nachází nad pracovním prostorem. Tato tři ramena přímo ovládají každý kloub koncového efektoru a díky tomu je tento robot schopen se pohybovat přesně a vysokou rychlostí. Běžně se používají pro letecké simulátory, balení potravin a pro farmaceutický průmysl. [18][23]

Obrázek 10: Robot Delta [18]

Polární robot – známý taky jako sférický robot, má rameno, které je spojené se základnou a pomocí otočného spoje je upevněno. Disponuje polárním souřadnicovým systémem, který obsahuje tři osy, díky kterým má sférický pracovní prostor. Prodloužením ramena je možné zvětšit pracovní prostor, i když je omezen na poloměr kolem stroje. Tento robot se může označit jako jeden z prvních průmyslových robotů, které byly vyvinuty. Běžně se používají pro manipulaci, svařování a pro vstřikování. [18][23]

Obrázek 11: Polární robot [23]

Kolaborativní robot – známý taky jako kobot, protože se jedná o roboty, kteří spolupracují s lidmi a umožňují přímou a bezpečnou komunikaci, aby nedocházelo k nehodám. Běžně se používají pro obsluhu strojů, kontroly kvality, pro manipulaci s materiálem, svařování apod. [18][23] [24]

Obrázek 12: Kolaborativní robot [18]

1.6 Kamery

Kamera je zařízení, které vytváří z trojrozměrné reality dvojrozměrný jasový obraz, který se převádí na měronosné veličiny. Kamera poté ve vhodném rozhraní vysílá tyto veličiny jako analogový signál (video-signál), nebo jako digitální signál (digitalizovaný obraz). [25]

1.6.1 Snímač obrazu

Snímač obrazu je matice polovodičových buněk, které jsou citlivé na světlo, ve kterých se po dobu expozice akumuluje elektrický náboj úměrný osvětlení buňky. Vlastnosti a typ snímače jsou dány nejen způsobem sběru náboje z buněk, ale i technologií výroby. Abychom mohli použít systémy strojového vidění v praxi, je třeba znát většinou alespoň základní vlastnosti dvou nejpoužívanějších snímačů. [25]

1.6.2 Snímač CCD (Charged Coupled Device)

Snímače obrazu CCD přenášejí elektrický, který se hromadí ve světlocitlivých buňkách pomocí analogových posuvných registrů. Výstupem snímače je analogový signál, který si pomocí řídicích obvodů kamery doplní chybějící informace potřebné pro synchronizaci. Podle způsobu snímání řádků se kamery CCD dělí na kamery, které pracují metodou progressive scan a na kamery interlaced, tedy s prokládaným řádkováním. Tato technologie je nákladná, protože snímače potřebují k činnosti více napájecích napětí a je nutné digitalizovat jejich analogový signál v následných obvodech, které se už vyskytují v technologii CMOS. [25][26]

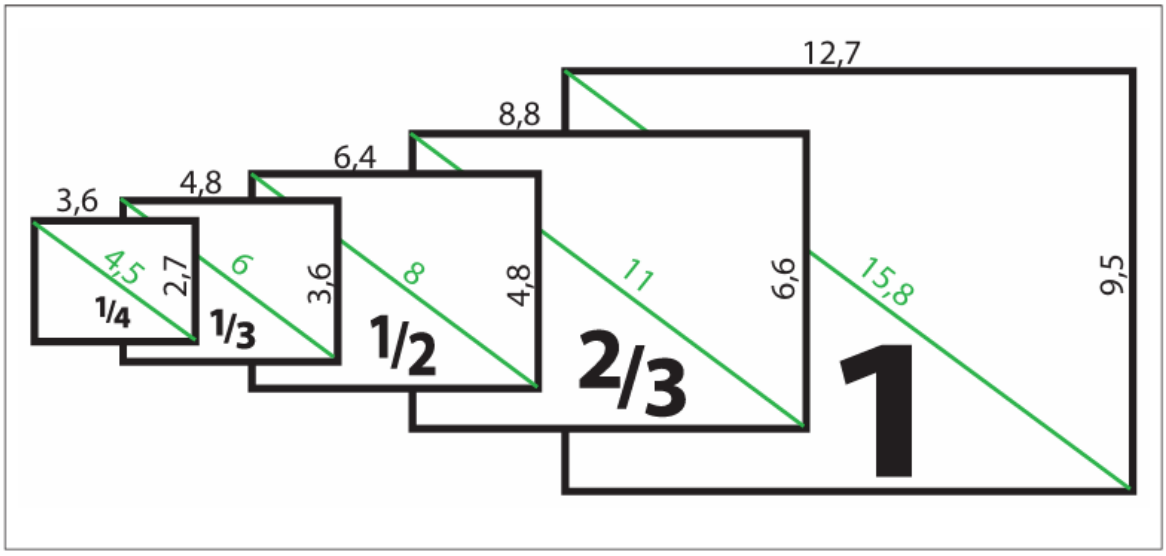
1.6.3 Snímač CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

Snímače CMOS jakž bylo zmíněno mají už digitalizovaný analogový signál, díky kterému je kamera konstrukčně jednodušší. Díky odlišnému způsobu výběru náboje z obrazových buněk lze získávat obraz jen z části plochy snímače obrazu (tzv. subscan). V dnešní době kamery se snímači CMOS jsou více populární a konkurují ve kvalitě snímačů CCD. [25][26]

1.6.4 Velikost snímače a matice světlocitlivých buněk

Průměr skleněné trubice odpovídající ekvivalentní historické snímací elektronce je vyjádřen velikostí snímače obrazu, který nevyjadřuje rozměry snímače a je obvykle udáván

v palcích. Skutečné rozměry snímací plochy je ukázáno na obrázku v milimetrech (Obrázek 13). [25]



Obrázek 13: Rozměry snímačů [25]

Snímače mají obvykle poměr stran 4 : 3 avšak lze se setkat s nestandardní velikostí snímače. Velikost matice je udávána počtem světlocitlivých buněk. U černobílé kamery se rozlišovací schopnost nejsnadněji určuje dvojnásobkem rozměru světlocitlivé buňky a provádí se to z toho důvodu, aby byl splněn vzorkovací teorém. U barevných kamer jsou potřeba pro údaj o jednom obrazovém bodu tři světlocitlivé buňky, kde pro každou barevnou složku dopadajícího světla je potřeba jedna buňka. Tři buňky zaberou více místa než jedna v černobílé kameře. Velikost náhradní světlocitlivé buňky, která dává informaci o barvě je větší než u černobílého obrazu, a proto má barevná kamera při zachování stejné velikosti snímače menší rozlišení než černobílá kamera. Dále u barevné kamery jsou buňky pro jednotlivé barvy vzájemně posunuty. Kamery s optickou korekcí geometrického posunu obrazu, které jsou nákladné, se používají pro úlohy, kde je posun barev zásadním problémem. [25]

1.6.5 Elektrické obvody kamery

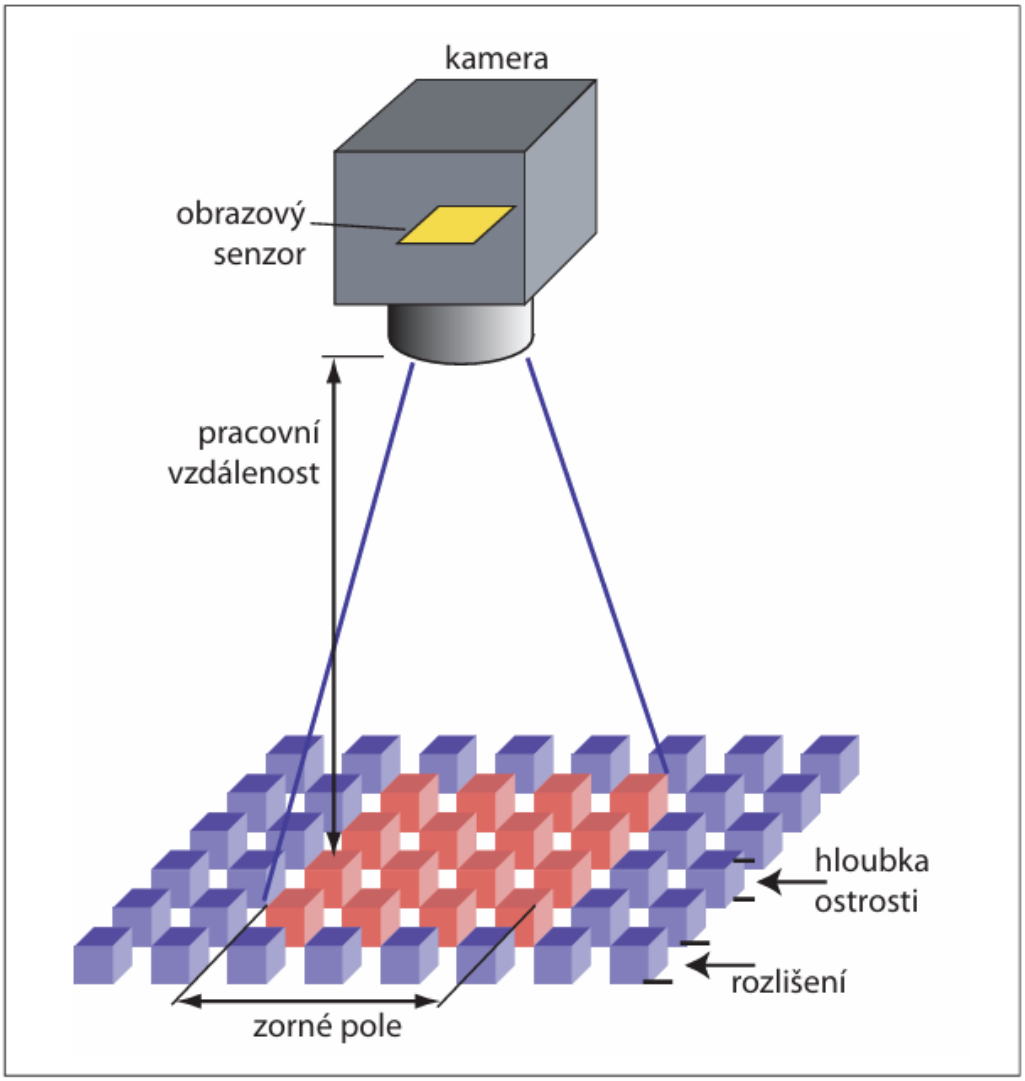
Elektrické obvody kamery musí umožnit uživateli volbu nastavení kamery tak, aby množství náboje akumulovaného ve světlocitlivých buňkách (měronosná veličina) optimálně prezentovalo informaci představenou dvourozměrným jasovým obrazem snímaného objektu. Pomocí inspekčního softwaru lze obvykle nastavit celkový jas (offset), kontrast či zesílení (gain) nebo závěrku, tedy dobu akumulace náboje (shutter). Kamery pro strojové

vidění musí umožňovat synchronizaci sejmutí snímku s časováním výrobní operace. Proto tyto kamery bývají pomocí inspekčního programu vybaveny několika režimy spouštění, jako je například:

- řada snímků jsou pořizovány v pravidelných intervalech s nastavitelnou frekvenci,
- jednotlivé snímky jsou pořizovány na základě povelu přijatého komunikačním rozhraním nebo digitálním vstupem. [25]

1.6.6 Optická soustava

Optická soustava, která se skládá z vhodných objektivů a osvětlení, má za úkol vytvořit dvojrozměrný obraz ze třírozměrné skutečnosti, který obsahuje vyhodnotitelnou informaci. Základní veličiny při snímání trojrozměrného objektu kamerou jsou ukázány na obrázku. (Obrázek 14) [25]



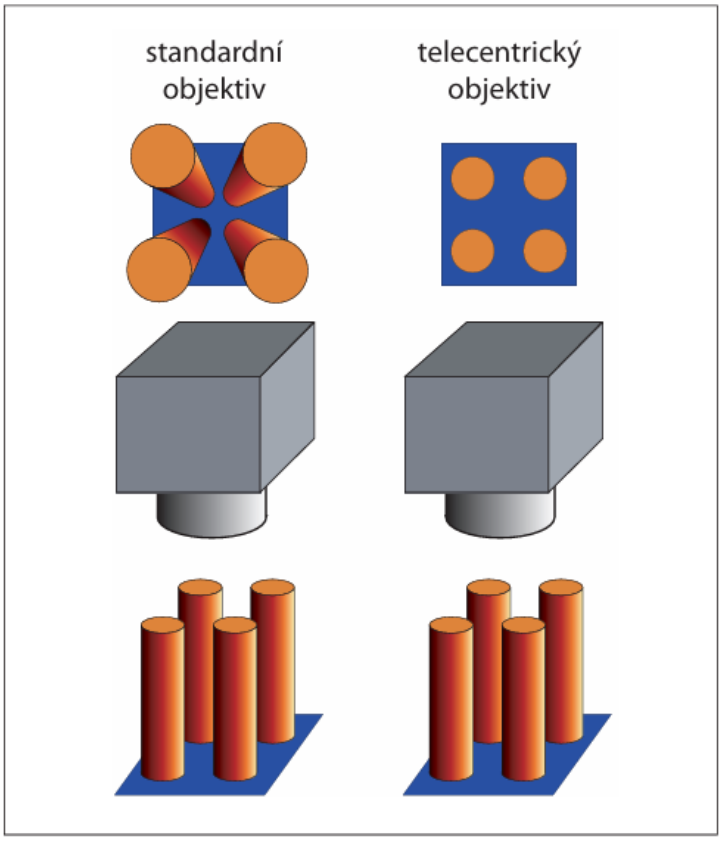
Obrázek 14: Snímání obrazu [25]

Obraz, který vytváří optická soustava by měl splňovat tyto parametry:

- dostatečné rozlišení,
- vhodný kontrast,
- dostatečnou hloubku ostrosti
- přijatelné perspektivní a geometrické zkreslení [25]

Je třeba si uvědomit, že tyto parametry jsou ovlivňovány zaostřením a zacloněním objektivu, a tudíž nejsou nezávislé. Kameru většinou není možné umístit do optimální snímací vzdálenosti od snímaného objektu. Detailní znalosti principů geometrické a často i fyzikální optiky a podrobné znalosti parametrů použitého objektivu jsou vyžadovány ke kvalifikovanému návrhu a k nastavení optické soustavy. Na objektivy, které jsou používané pro strojové vidění jsou kladeny větší požadavky (rozlišení a kontrast) než na objektivy, které jsou používané například v kamerách pro dohledové systémy. Rozlišení a kontrast jsou u méně kvalitních objektivů snižovány vinětací (snížený jas na stranách snímku), geometrickým zkreslením způsobeným aberací či nepřiměřenou vadou barvy. Objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom) nejsou také vhodné pro strojové vidění, protože není konstrukčně možné dosáhnout stability parametrů v celém rozsahu nastavení ohniskové vzdálenosti. [25][28]

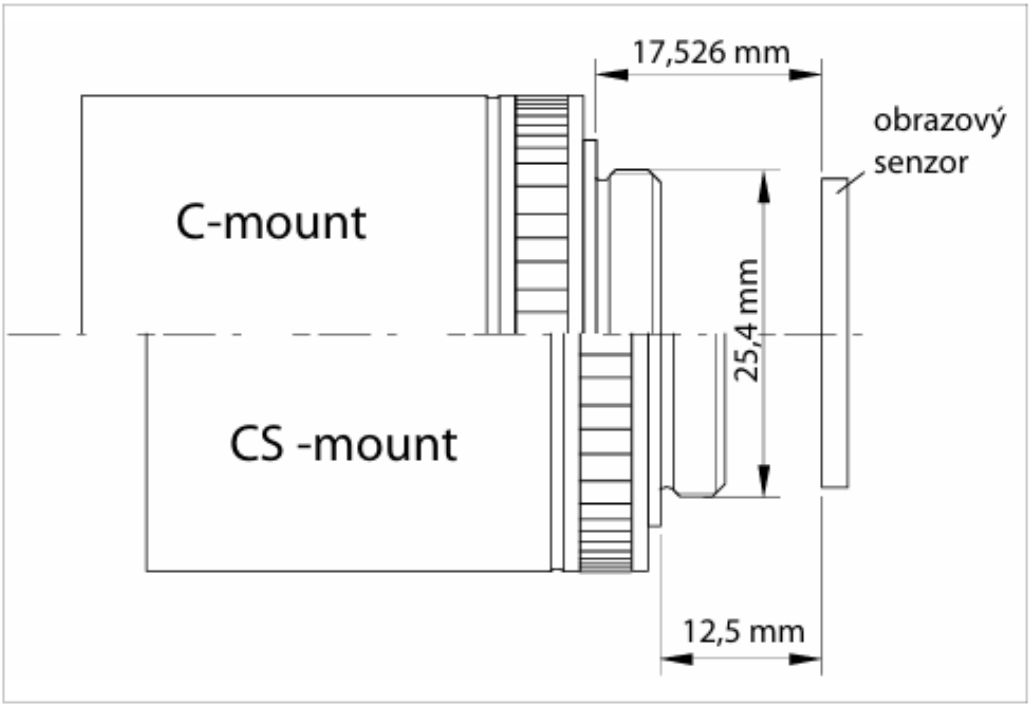
Perspektivní zkreslení obrazu se vždy projevuje při používání standardních objektivů, protože velikost obrazu objektu se mění podle vzdálenosti objektu od kamery. Tzv, telecentrický objektiv řeší tuhle chybu tím, že průměr vstupní čočky je stejný jako úhlopříčka zorného pole a velikost se vlivem snímací vzdálenosti nemění (Obrázek 15). Ve větším zorném poli už je potřeba pro měření nákladný a rozměrný objektiv se vstupní čočkou velkého průměru. [25]



Obrázek 15: Zobrazení standardním a telecentrickým objektivem [25]

1.6.7 Mechanické části kamery

Z hlediska prostředí, ve kterém bude kamera pracovat, je důležité pouzdro a mechanické provedení kamery. Důležité je si všimnout objektivu, který se montuje na kameru, protože existují dva nejběžnější typy montáže označované jako C-mount a CS-mount. Pro oba typy montáže lze určené objektivy od sebe těžko rozeznat, protože mají upevňovací závit o průměru jeden palec se stoupáním 32 závitů na palec. Jediný rozdíl je pouze ve vzdálenosti osazení na konci upevňovacího závitu od obrazového ohniska, tedy snímače obrazu (Obr.16). [25]



Obrázek 16: C-mount a CS-mount [25]

2 METODY POUŽÍVANÉ PRO ZPRACOVÁNÍ KAMEROVÝCH OBRAZŮ

Zpracování obrazu je proces, při kterém se manipuluje s digitálním obrazem. [27]

2.1 Co je zpracování obrazu

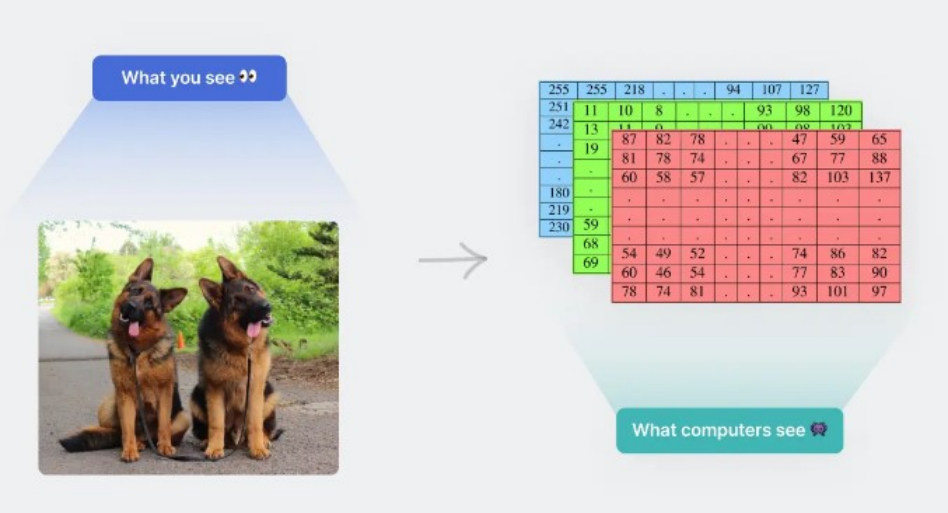
Digitální zpracování obrazu je třída metod, které se zabývají manipulací s digitálními obrazy pomocí počítačových algoritmů. Je to nezbytný krok předzpracování v mnoha aplikacích, včetně detekce objektů, rozpoznání obličeje a komprese obrazu. [27]

Účelem zpracování obrazu je vylepšit existující obraz nebo extrahovat důležité informace z něj. Tento proces je klíčový v několika aplikacích počítačového vidění založených na Deep Learning, kde předzpracování může dramaticky zvýšit výkon modelu. Další využití se nachází v zábavním průmyslu, kde se provádí manipulace s obrázky, jako je přidávání nebo odebírání objektů z obrázků. [27]

2.2 Jak stroj vidí obrázek

Digitální obrázky jsou interpretovány počítačem jako 2D nebo 3D matice, kde každá hodnota nebo pixel v matici představuje amplitudu, která je známá jako intenzita pixelu. Obvykle se pracuje s 8-bitovými obrázky, kde se hodnota amplitudy pohybuje v rozmezí od 0 do 255. [27]

Počítač digitální obrázky vidí jako funkci: *I(x, y)* pro binární obrázky a obrázky ve stupních šedi, nebo *I(x, y, z*) pro RGB obrázky, kde *I* je intenzita pixelu a *(x, y)* nebo *(x, y, z)* představují souřadnice pixelu v obrázku. [27]



Obrázek 17: Jak PC vidí obrázky [27]

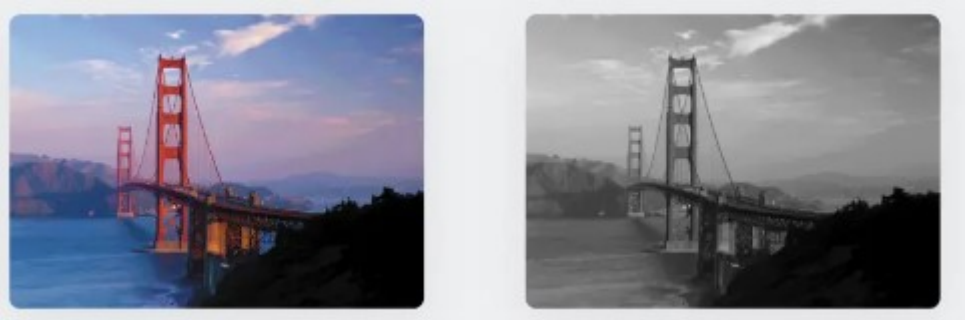
2.2.1 Binární obraz

Binární obraz má pouze dvě hodnoty intenzity pixelů a to 0 (představuje černou barvu) a 1 (představuje bílou barvu). Tyhle obrazy se používají ke zvýraznění rozlišující části barevného obrazu. Obvykle se používá pro segmentaci obrazu. [27]

Obrázek 18: Binární obraz [27]

2.2.2 Obrázek ve stupnicích šedi

Obrazy ve stupních šedi nebo 8-bitové obrázky se skládají z 256 jedinečných hodnot, u kterých intenzita pixelů 255 představuje bílou barvu a intenzita pixelů 0 představuje naopak černou barvu. Zbylých 254 hodnot jsou jedinečné šedé odstíny. [27]

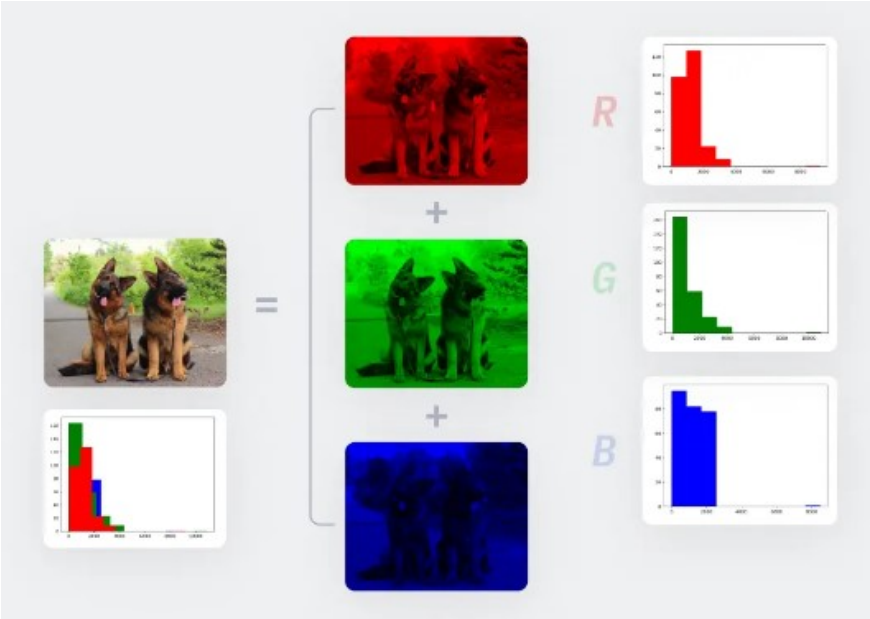


Obrázek 19: RGB obrázek převeden ve stupnicích šedi [27]

2.2.3 Barevný obrázek RGB

Jedná se o obrázky, se kterými se v dnešní době nejvíce setkáváme. Tyto barevné obrázky mají 8-bitové nebo 16-bitové matice a to znamená, že každý pixel může mít pro 8-bitové obrázky až 256 různých barev. RGB představuje červené(red), zelené(green) a modré(blue) kanály obrazu. [27]

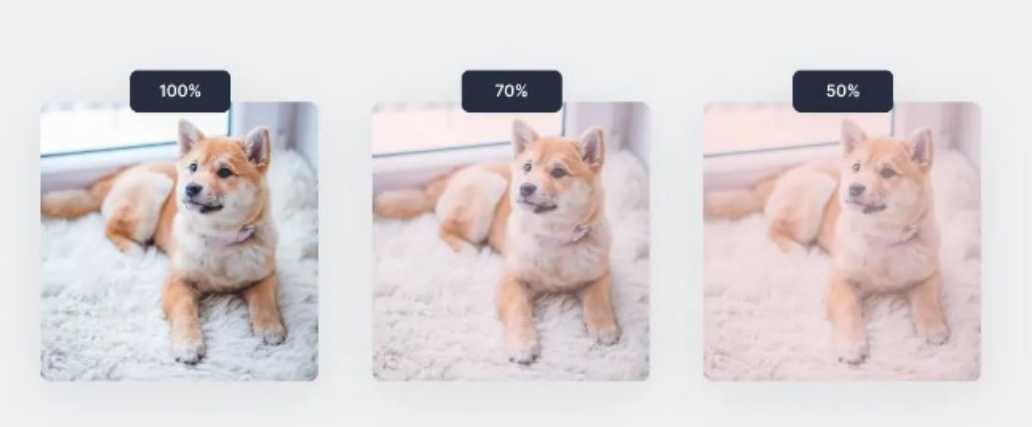
V jedné matici se vyskytují tři kanály, které mají stejnou velikost, kde každá z nich má hodnoty od 0 do 255. Tedy pixel v obrázku RGB bude mít černou barvu, když bude nabývat hodnotu (0, 0, 0,) a bílou barvu, když bude nabývat hodnoty (255, 255, 255). Jakákoli kombinace čísel mezi nimi vede ke vzniku všech různých barev, které existují v přírodě. Například modrá barva bude mít (0, 0, 255), protože zde nabývá hodnoty jenom modrý kanál. [27]



Obrázek 20: Rozdělení RGB obrázku [27]

2.2.4 Obrázek RGBA

Jedná se o barevné obrázky RGB, které jsou rozšířeny o další kanál známý jako alfa, který určuje průhlednost obrázku RGB. Průhlednost se pohybuje od hodnoty 0% do 100%, kde 0% je zcela průhledný a 100% zcela neprůhledný. [27]



Obrázek 21: Změny parametru alfa [27]

2.3 Zpracování obrazu

Jednotlivé základní kroky procesu ke zpracování obrazu:

- Pořízení obrazu
  - Obraz je zachycen a digitalizován pomocí analogově-digitálního převodníku, který se většinou nachází v kameře, pro další zpracování. [27]
- Vylepšení obrazu
  - Zachycený obraz je upraven tak, aby splňoval požadavky konkrétní úlohy, pro který bude tento obraz použit. Primárně se zaměřuje na zvýraznění skrytých nebo důležitých detailů v obraze. (např. změna kontrastu a jasu). [27]
- Obnova obrazu
  - Zabývá se zlepšením vzhledu obrazu a je objektivní, protože za degradaci obrazu může matematický nebo pravděpodobnostní model. Například rozmazání nebo smazání snímků. [27]
- Zpracování barevného obrazu
  - Zabývá se zpracováním barevných obrázků (8-bitové nebo 16-bitové obrázky RGB nebo RGBA) jako je korekce barev nebo barevného modelování v obrázcích. [27]
- Wavelety a zpracování ve více rozlišeních

  - Wavelety, známé taky jako vlnky, jsou základními stavebními kameny pro prezentaci obrázků v různých úrovních rozlišení. Pomocí nich jsou obrázky rozděleny do menších oblastí, což umožňuje efektivní kompresi dat a vytváření pyramidální struktury zobrazující různé úrovně detailů. [27]
- Morfologické zpracování
  - Morfologické zpracování je proces, který umožňuje extrahovat komponenty obrazu, které jsou užitečné pro reprezentaci a popis tvaru, a to pro další zpracování nebo následné úlohy. Poskytuje nástroje (matematické operace), které umožňují tento proces. Například operace dilatace a eroze se často používají k ostření a rozmazání okrajů objektů v obraze. [27]
- Segmentace obrazu
  - Zde dojde k rozdělení obrázku na různé klíčové části, což usnadňuje reprezentaci obrázku a jeho následnou analýzu. Segmentace obrazu umožňuje počítačům zaměřit svou pozornost na důležitější části obrazu a zbytek zahodit, čímž se zlepšuje výkon automatizovaných systémů. [27]
- Znázornění a popis
  - Po procesu segmentace obrazu obvykle následuje krok znázornění a popisu, kde je cílem rozhodnout, zda bude segmentovaná oblast zobrazena jako hraniční čáry objektu nebo celá oblast. Popis se zabývá extrakcí atributů, které poskytují kvantitativní informace nebo jsou základem pro odlišení jedné třídy objektů od druhé. [27]
- Detekce a rozpoznání objektů
  - Poté, co jsou objekty segmentovány z obrázku a jsou dokončeny fáze znázornění a popisu, automatizovaný systém musí přiřadit objektu štítek, aby uživatelé věděli, jaký objekt byl detekován. [27]
  - Detekce objektu je technika počítačového vidění, kde probíhá identifikace konkrétního objektu v prostředí. Rozdíl mezi detekcí a rozpoznání objektů je takový, že rozpoznávání objektu je proces, u kterého dochází k identifikaci konkrétních kategorií objektů bez nutnosti jejich lokalizace, a naopak detekce objektů je proces, u kterého dochází k identifikaci, lokalizaci objektů a poskytování informací o jejich přítomnosti a umístění. Ve většině případů má rozpoznávání objektů definováno více kategorií objektů k rozpoznávání, zatímco detekce objektů má definováno určité typy objektů. [29][30]

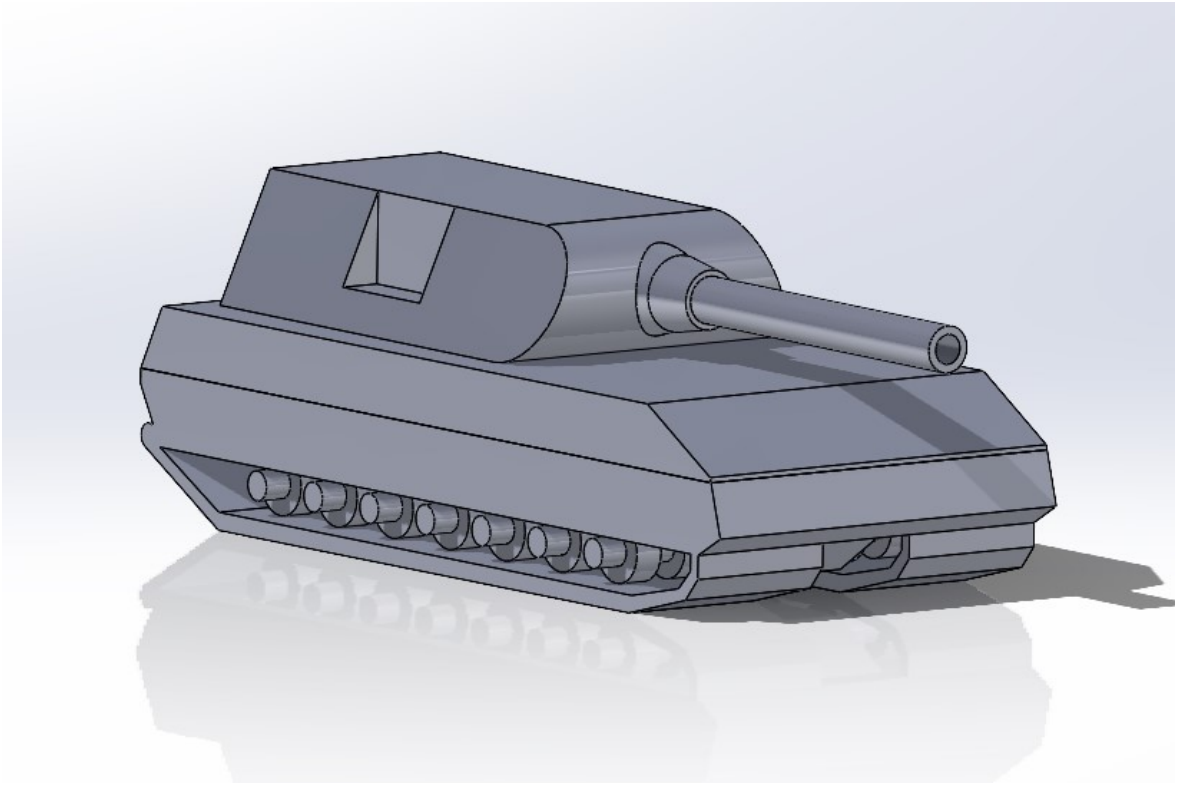
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 3D TISK

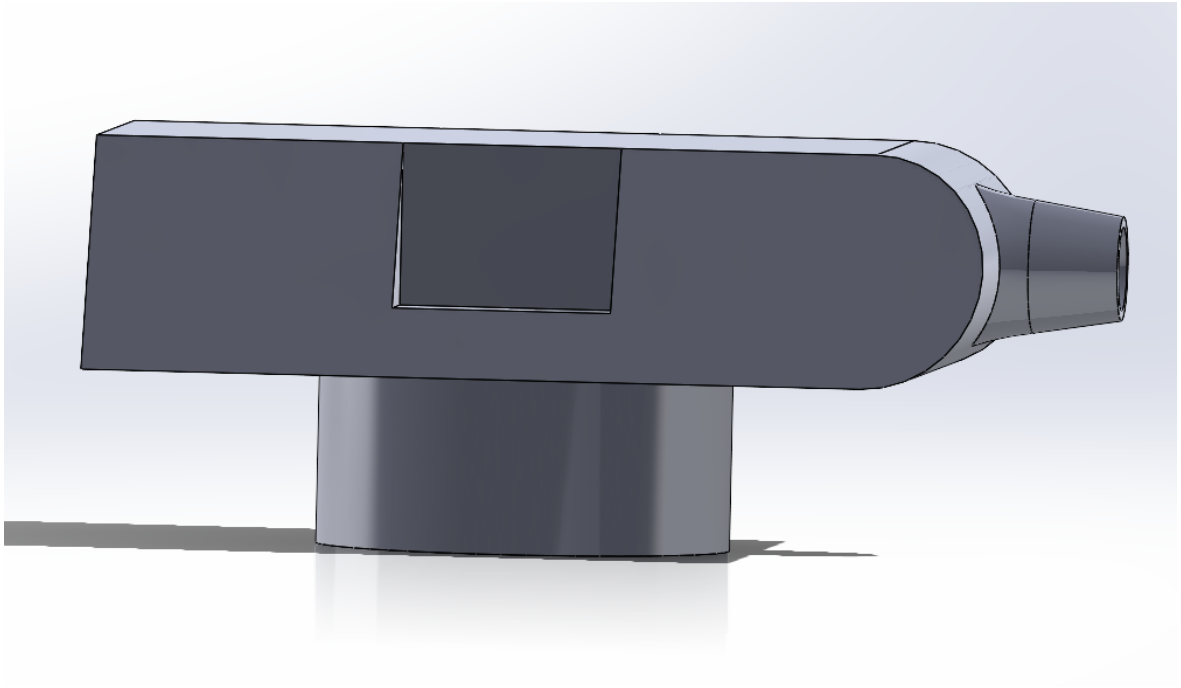
Součástí praktické části je navrhnutí libovolného výrobku, který by se skládal minimálně ze 3 dílů. Dále podle návrhu výrobku byly navrhnuty jak grippery, tak platformy, na které se budou jednotlivé díly výrobku odkládat. Všechny návrhy byly provedeny v programu SOLIDWORKS, který nám škola umožňuje a poskytuje. Tyto návrhy byly dále vytisknuty na 3D tiskárně Original Prusa Mini +.

3.1 Návrh výrobku

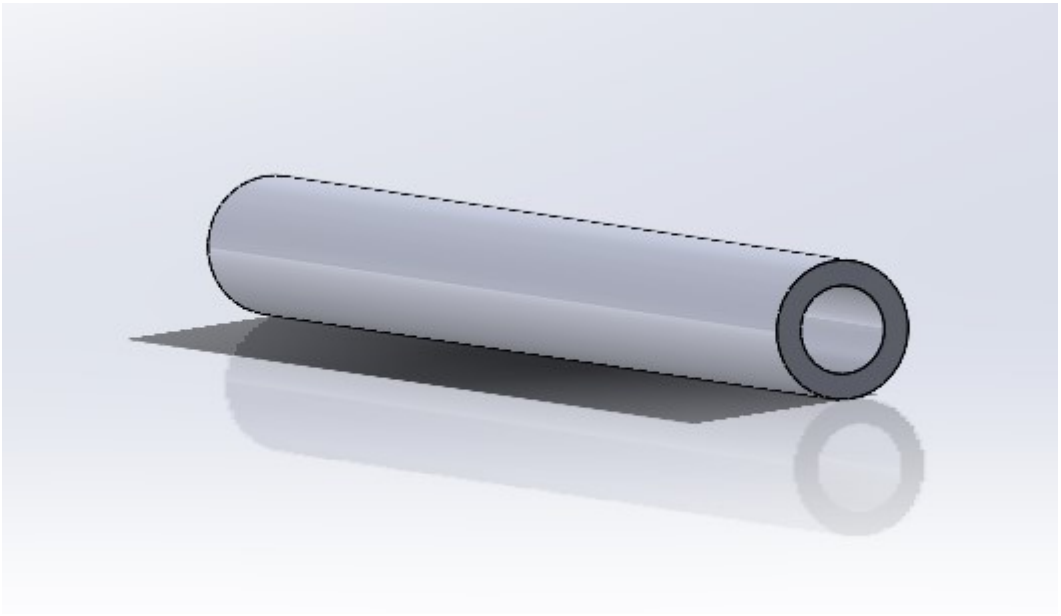
Jedná se o výrobek, který by měl mít podobu německého těžkého tanku Mause, který se skládá ze 4 částí, konkrétně ze spodního a vrchního podvozku, z věže a děla. Celkový výrobek dále prošel různými úpravami, jak z důvodu lepšího uchycení pomocí gripperu, tak i kvůli vzhledu. Tento výrobek je vytisknutý z ABS materiálu. Maximální rozměry výrobku jsou 155x70x58 mm.



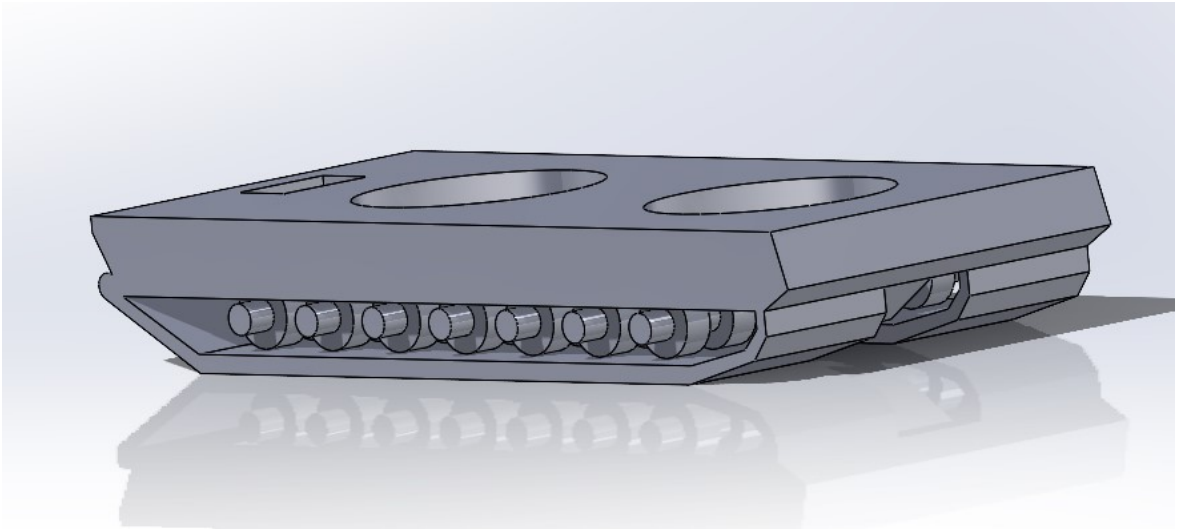
Obrázek 22: Návrh finálního výrobku



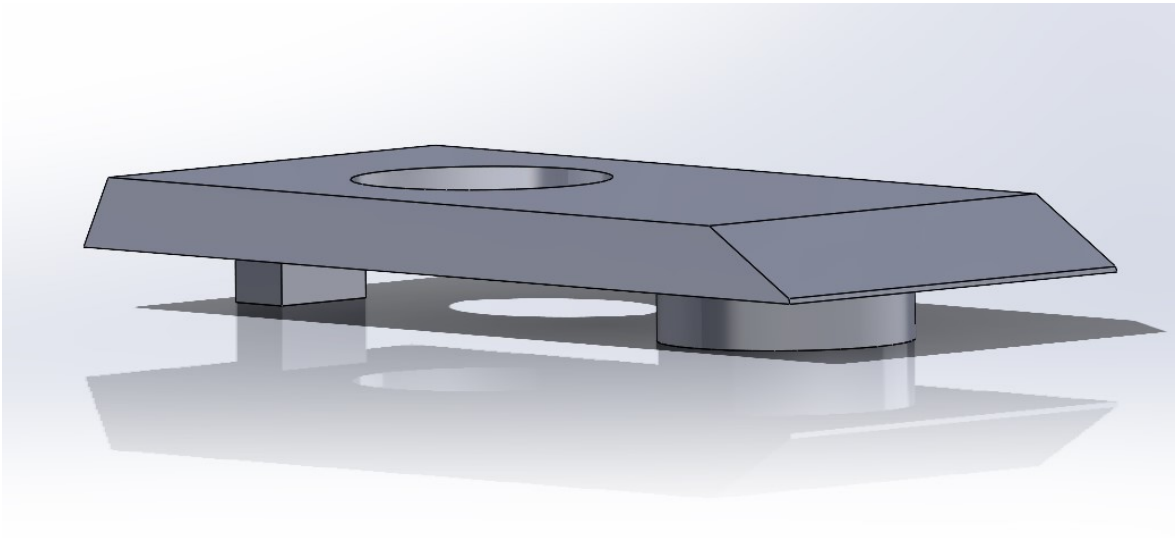
Obrázek 23: Díl výrobku – Věž



Obrázek 24: Díl výrobku – Dělo



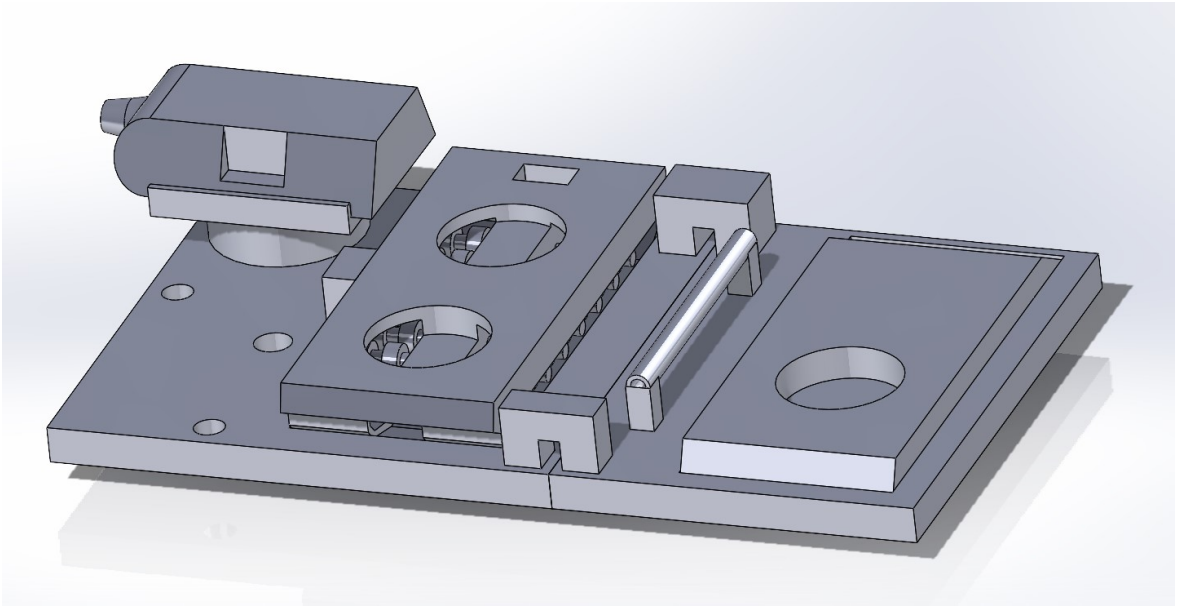
Obrázek 25: Díl výrobku – Spodní část podvozku



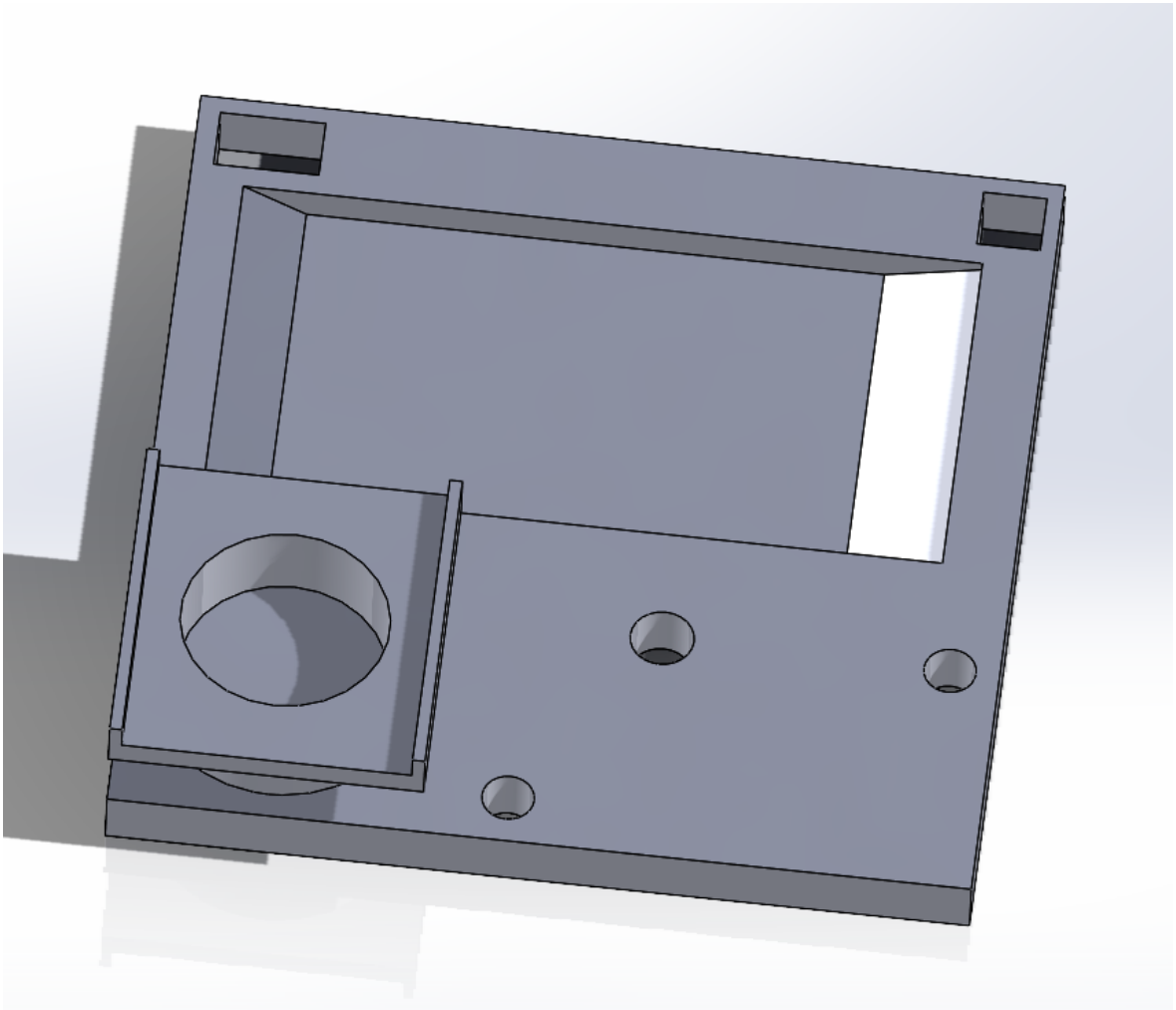
Obrázek 26: Díl výrobku – Vrchní část podvozku

3.2 Platformy pro odkládání jednotlivých dílů

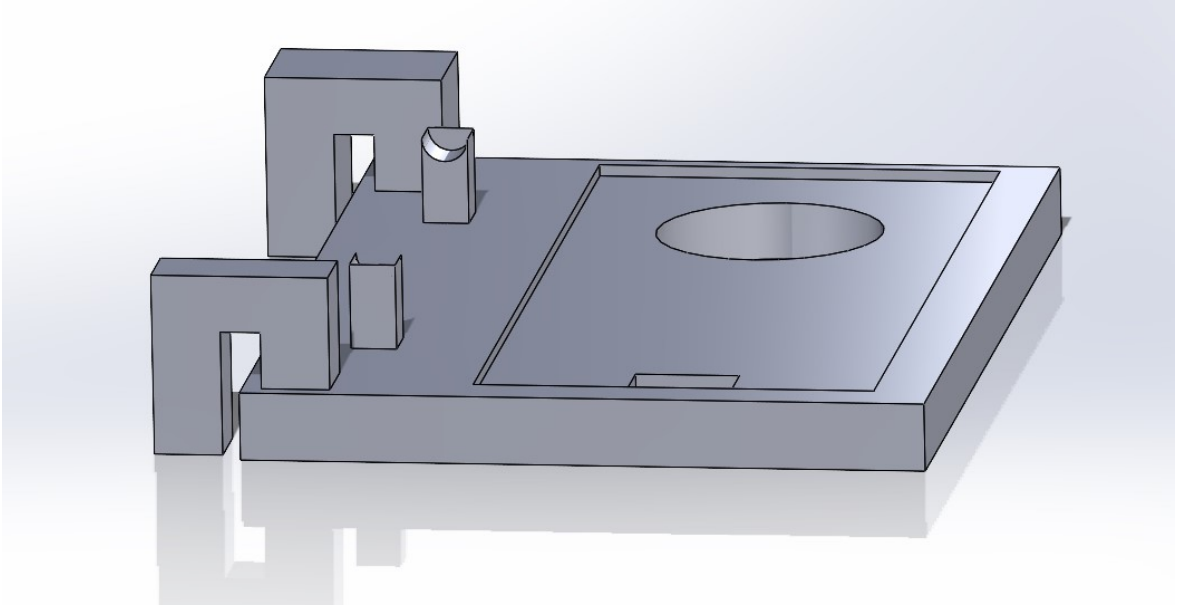
Tyto platformy slouží k odkládání jednotlivých dílů, konkrétně tanku. Jelikož cílem praktické části je skládání výrobku, jehož základem je spodní podvozek, na který se skládají postupně jednotlivé části tanku, bylo potřeba navrhnout platformy i pro případ, kdyby se k robotovi dostala dřív jiná část výrobku. Z důvodu rozměrových limitů tiskárny byly navrhnuty 2 platformy. Platformy jsou vytisknuty z PLA materiálu.



Obrázek 27: Platformy



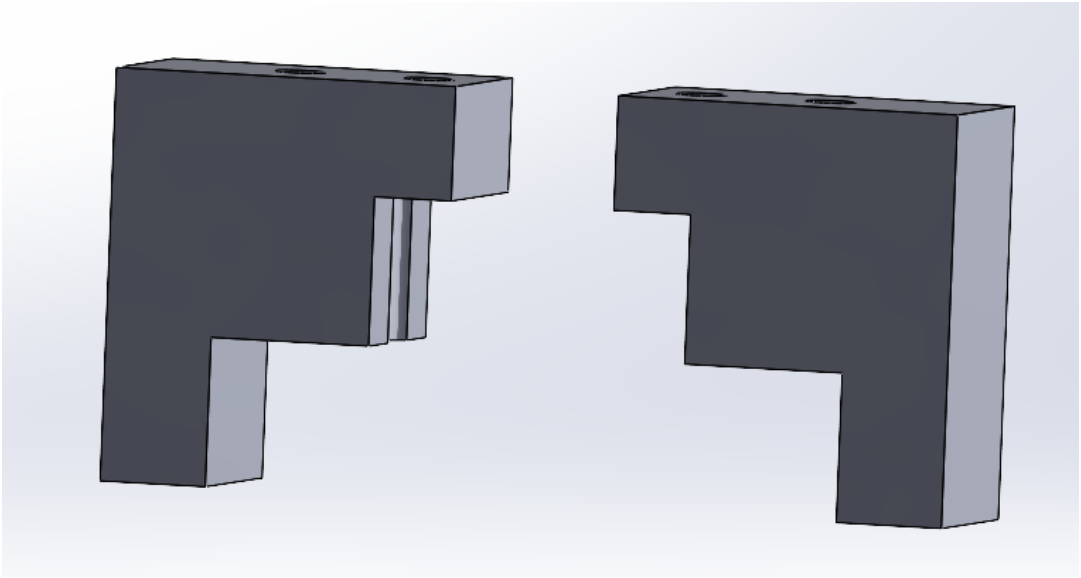
Obrázek 28: Hlavní platforma



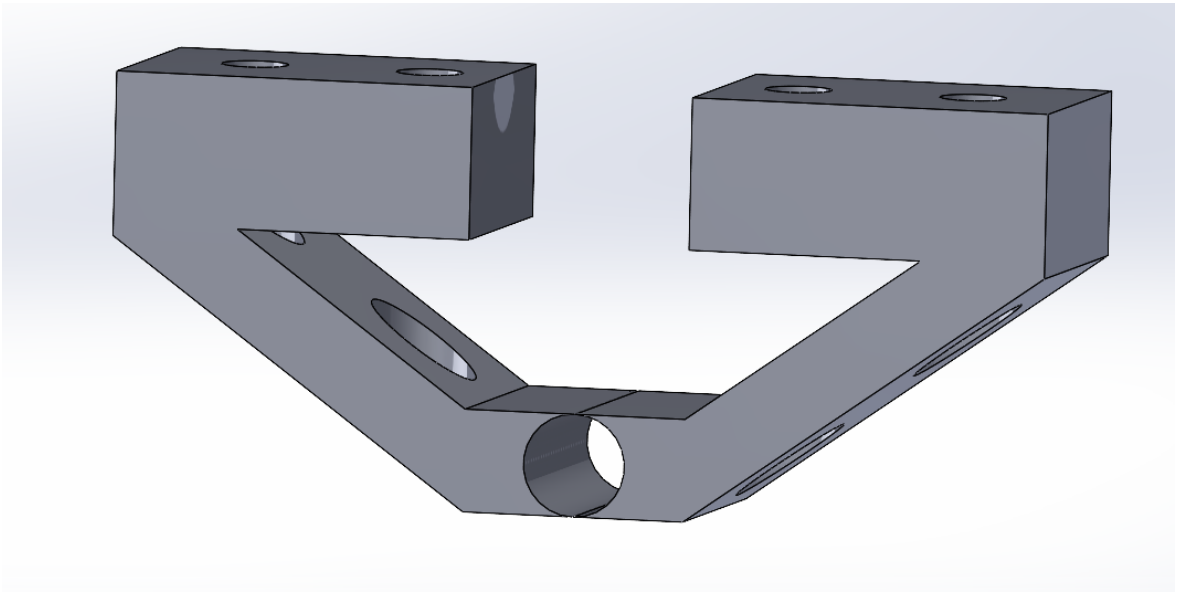
Obrázek 29: Sekundární platforma

3.3 Návrh vhodného gripperu pro uchycování konkrétních typů součástek

Byly navrhnuty 2 grippery, které slouží k uchopení jednotlivých dílů. Jeden gripper uchycuje horní a spodní část podvozku a dále věž, druhý gripper uchycuje dělo. Gripper prošel úpravami, jak z důvodu toho, aby správně uchopil části výrobku, tak i z důvodu jeho poškození (prasknutí). Grippery jsou vytisknuty z ABS materiálu.



Obrázek 30: Gripper na podvozek a věž

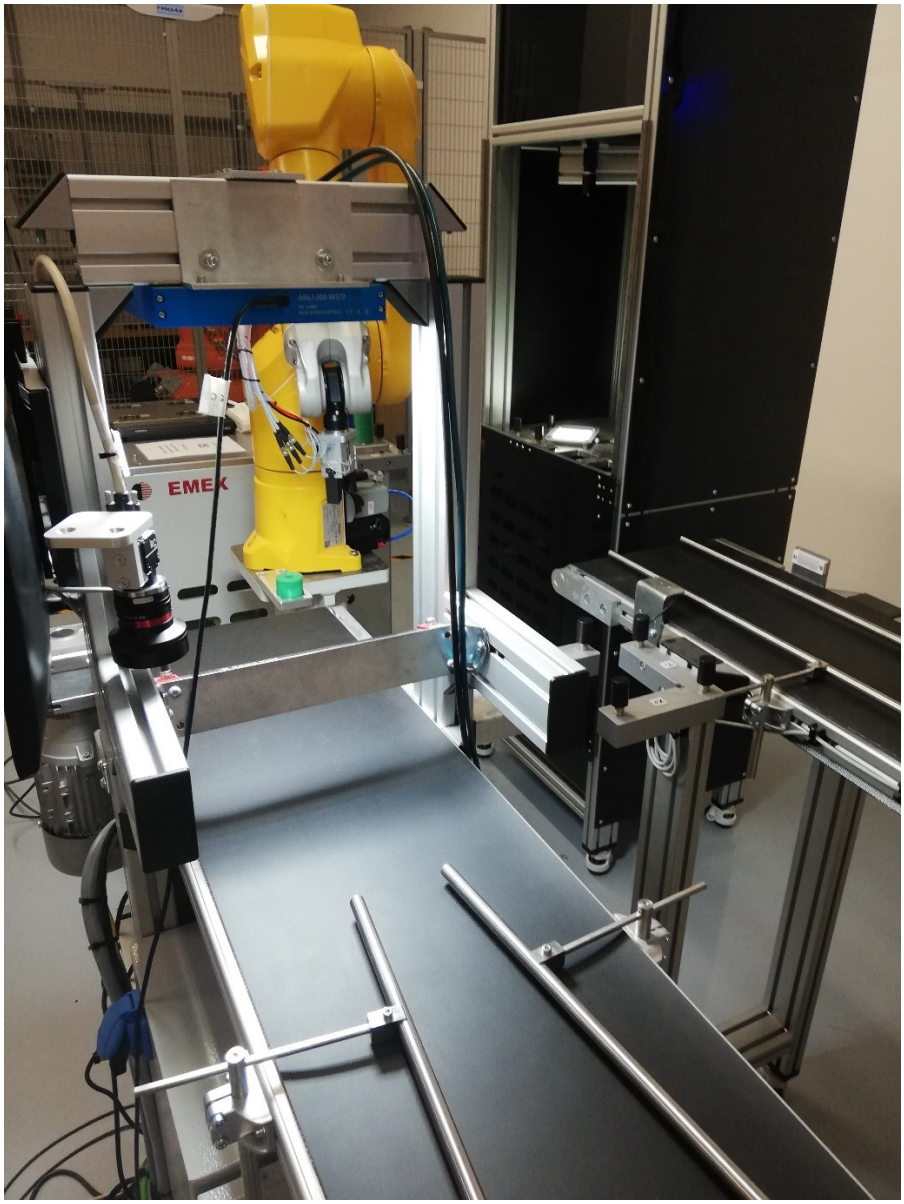


Obrázek 31: Gripper na dělo

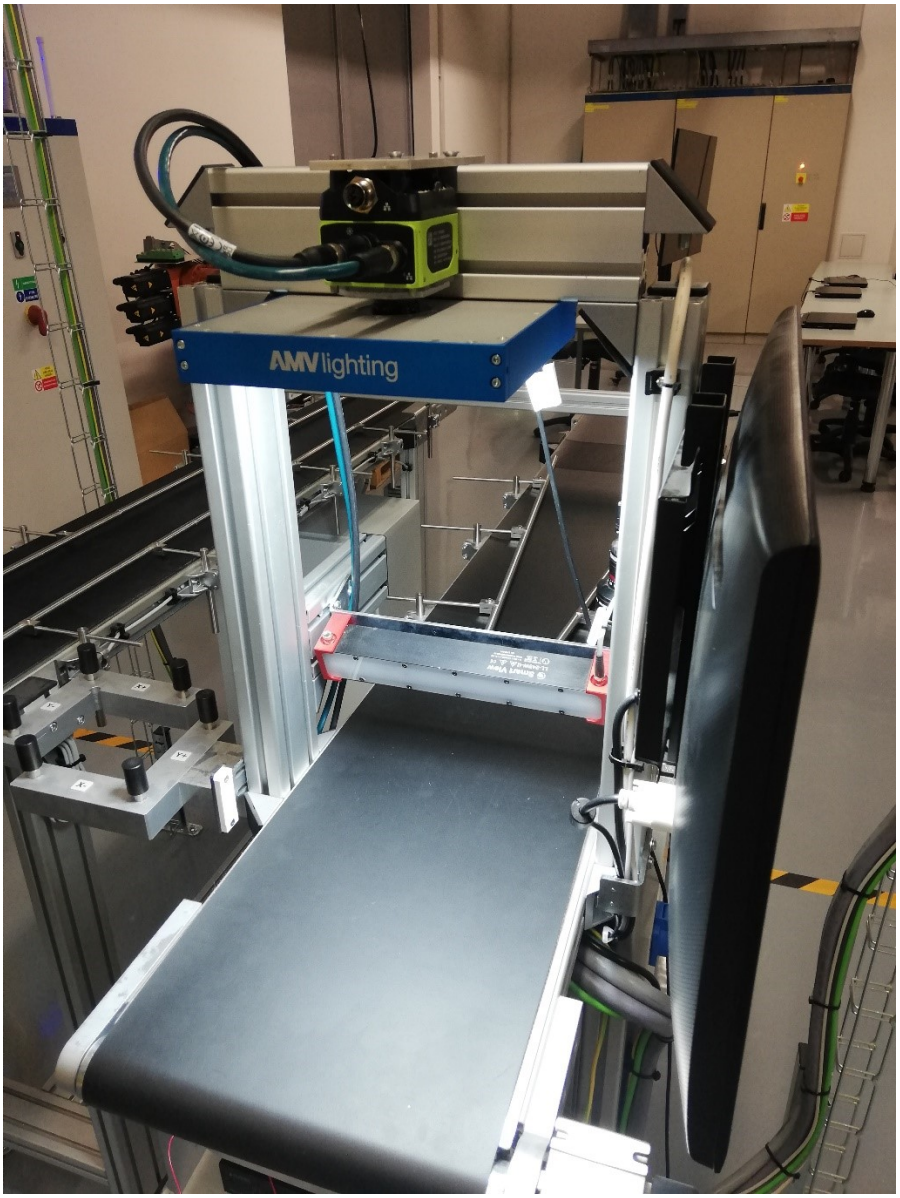
4 KAMERA A SIMULACE ROBOTA

Kamera a osvětlení byly propůjčeny firmou AMV Technology s.r.o., která se specializuje a nabízí široké spektrum osvětlovačů pro kamerové systémy, navrhují a realizují sestavy kamer pro kontrolu kvality nebo pro navádění robotů a dodávají kamerové systémy od světových výrobců. Jedná se o osvětlení ARLI a o kameru FS708B52. Nejdříve bylo potřeba nainstalovat osvětlení a kameru do laboratoře tak, aby se jednotlivé díly, které jsou dopravovány do prostoru kamery pomocí pásu, nacházely v zorném poli. V prostoru kamery se nachází čidlo, které způsobí zastavení pásu při detekci libovolného objektu a kamera je tedy schopna snímat jednotlivé díly. Dále se vybíral i vhodný objektiv tak, aby v zorném poli byly vidět celé díly.

Obrázek 32: Připojení kamery



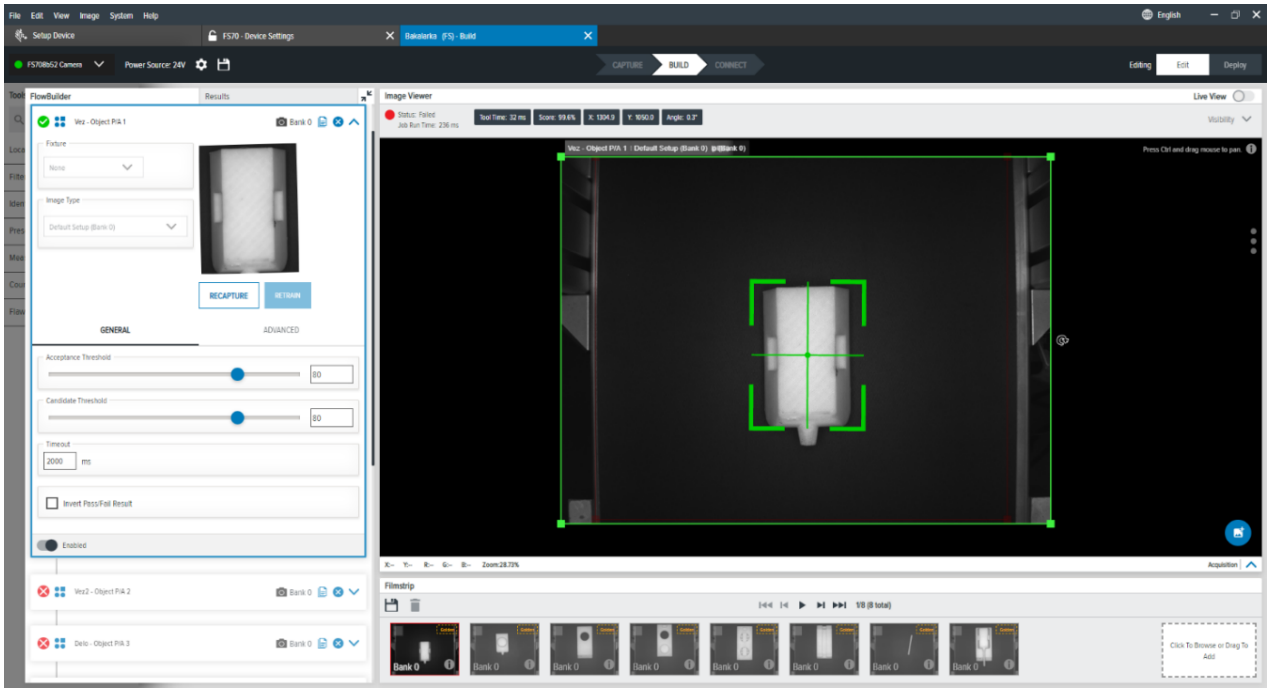
Obrázek 33: Dopravník



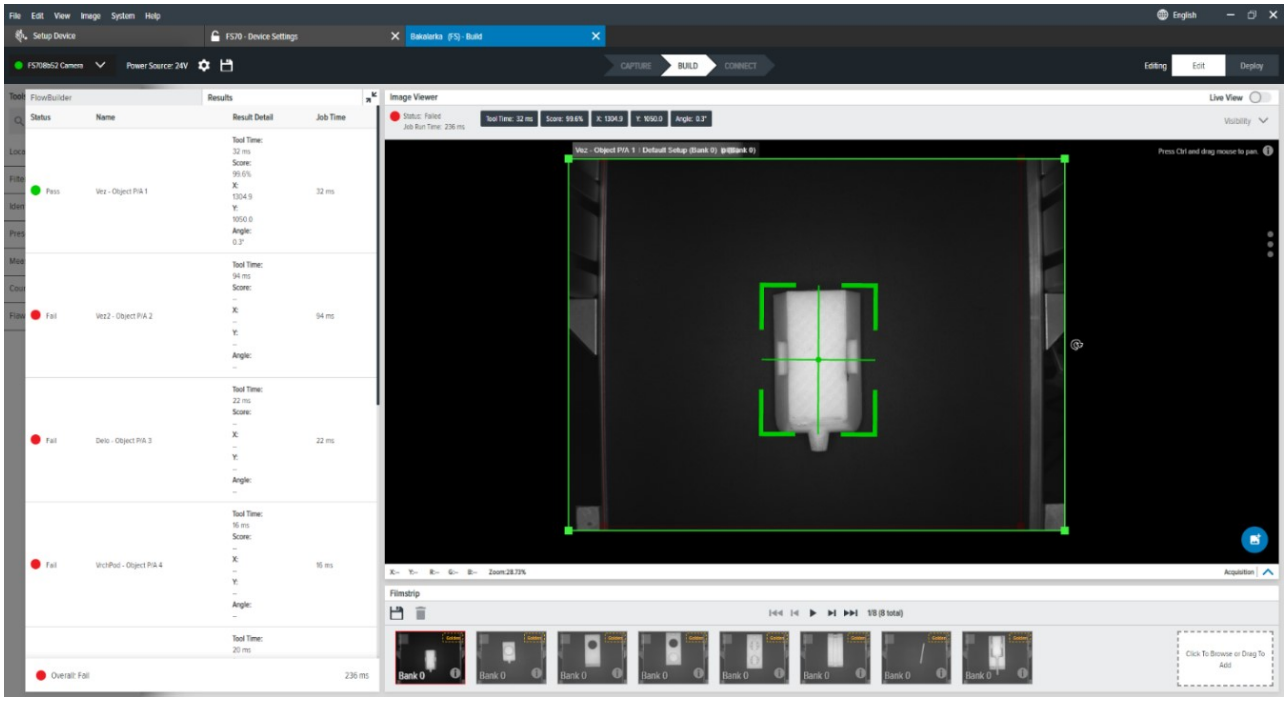
Obrázek 34: Kamera a osvětlení

4.1 Způsob zpracování kamerových snímků pro navádění robota.

Detekce jednotlivých dílu se provádí pomocí programu Zebra Aurora Focus. Po výběru správného objektivu a instalaci tohoto programu, kamery a osvětlení bylo třeba nastavit nejdřív co největší clonu z toho důvodu, abychom dosáhli co největšího zaostření dílu pomocí objektivu. Dále bylo potřeba najít v programu zmíněnou kameru a naučit ji detekovat jednotlivé díly ze dvou stran (vrchní a spodní) a určit jejich polohu.



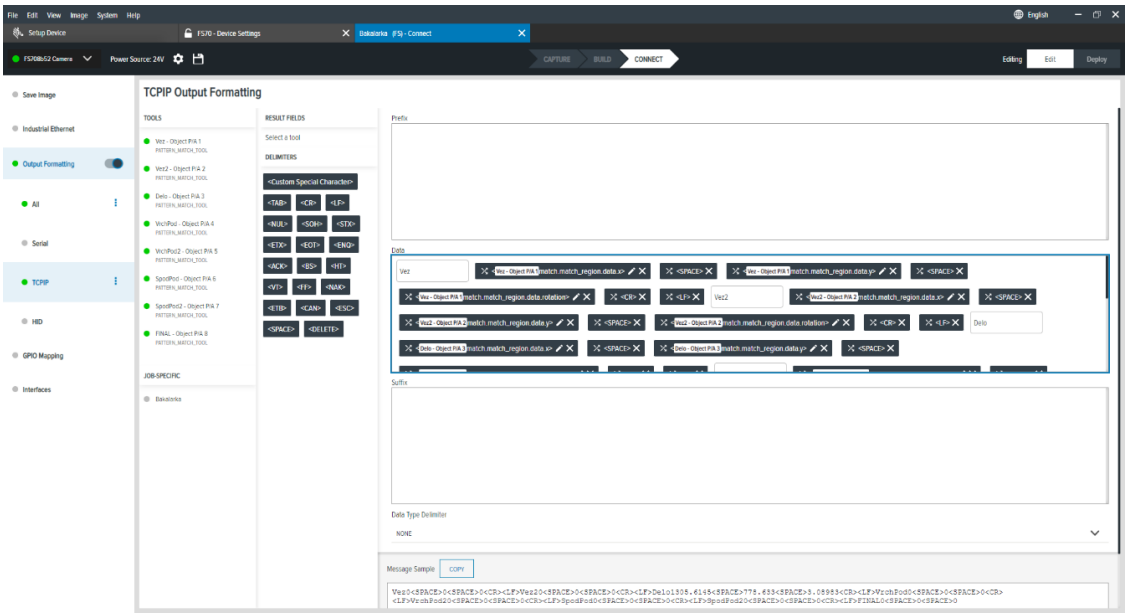
Obrázek 35: Program Zebra Aurora Focus a detekce věže



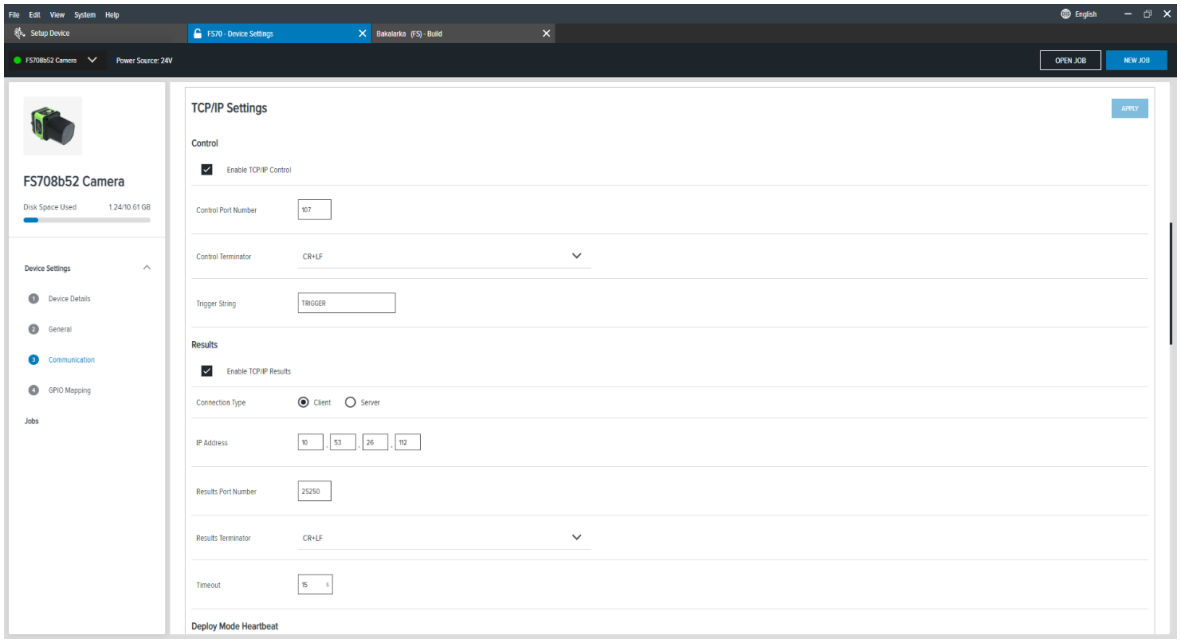
Obrázek 36: Program Zebra Aurora Focus a detekce věže

4.1.1 Komunikace mezi programem Hercules a Zebra Aurora Focus

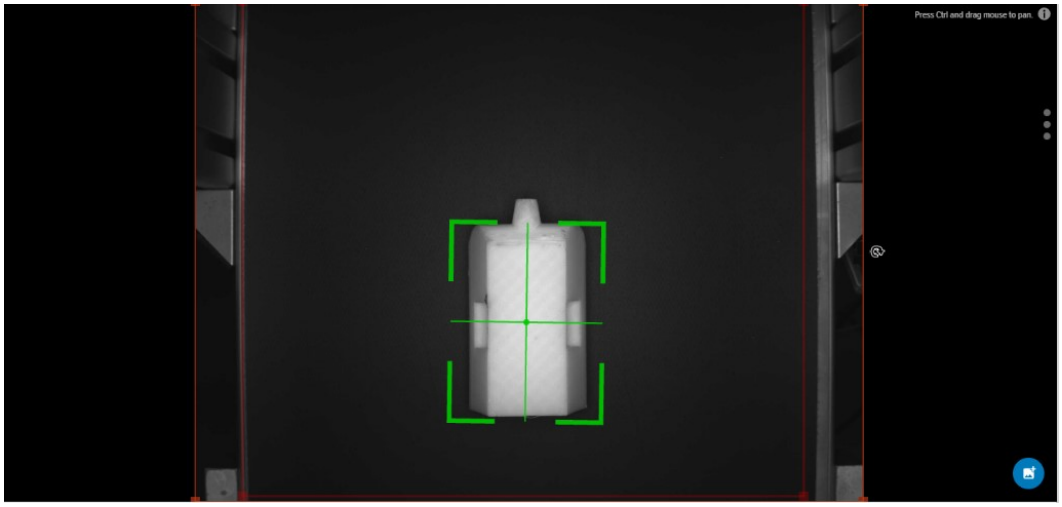
Pomocí komunikačního protokolu TCP probíhá komunikace mezi programem Zebra Aurora Focus a Hercules u kterých bylo potřeba nastavit stejné porty a IP adresu. V programu Zebra Aurora Focus bylo třeba nastavit u TCPIP Output, co bude předmětem výstupu. V tomto případě to znamená, o jaký díl se jedná, pozice (x, y) a rotace. Z programu Hercules tedy lze vyčíst pomocí příkazu TRIGGER o jakou část dílu se jedná a zároveň lze vyčíst i pozici dílu, ve které bude díl uchycen.



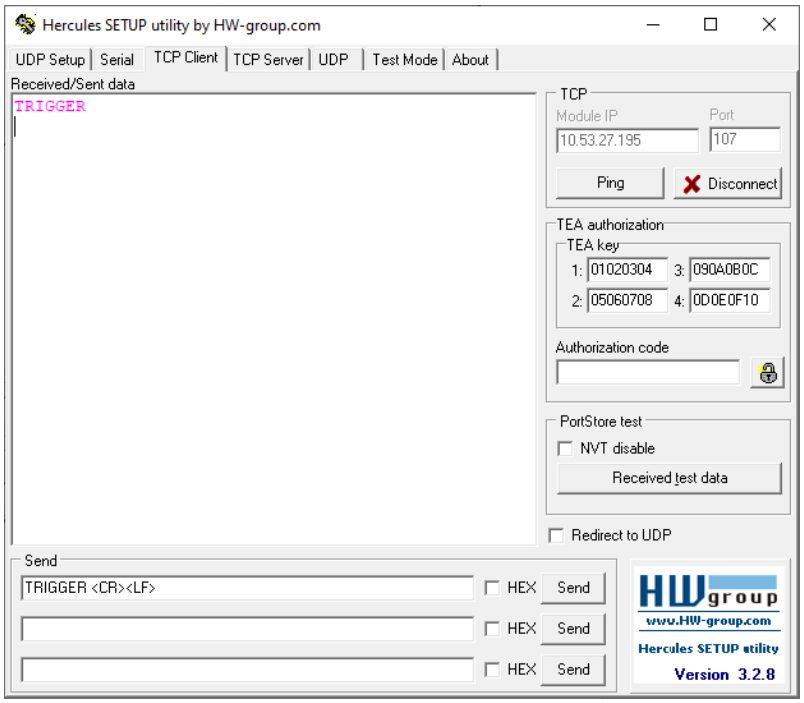
Obrázek 37: Nastavení výstupu kamery



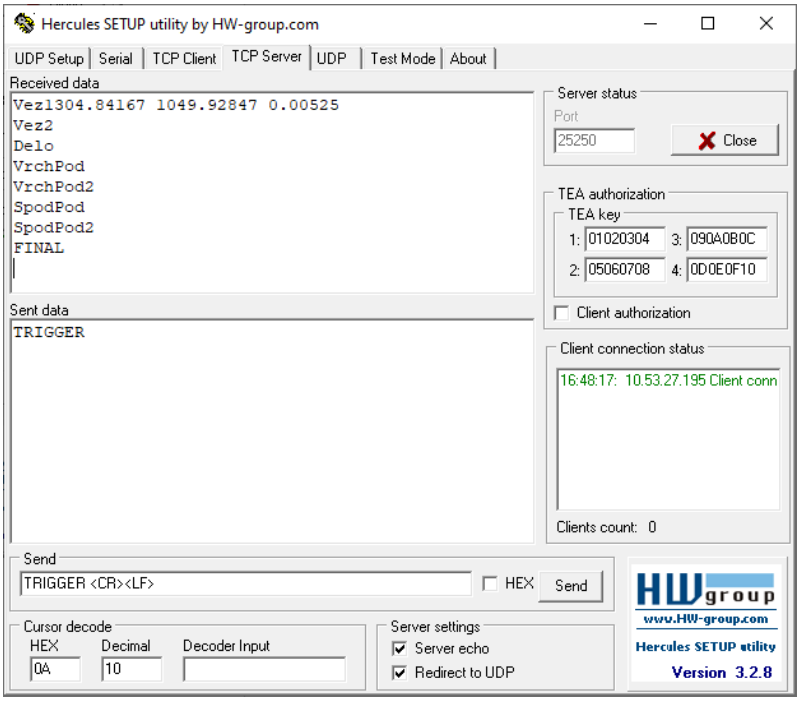
Obrázek 38: Nastavení komunikace přes port



Obrázek 39: Detekce dílu



Obrázek 40: Program Hercules



Obrázek 41: Výstup kamery pomocí programu Hercules

4.1.2 Výpočet pozice pro robota

Pro výpočet pozice pro robota z kamery je potřeba nejdřív vypočítat převodní koeficient kamery, tedy skutečnou délku dílu v mm, která se vydělí délkou na kameře (v programu) v pixelech. Dále je potřeba znát jednu stejnou pozici, kterou známe jak v kameře, tak i v robotovi. Za předpokladu, že souřadné systémy kamery a robota jsou rovnoběžné jsme schopni vypočítat jakoukoliv pozici na kameře a transformovat tuto pozici do robota (viz. příklad)

Výpočet rozlišení kamery:

$$k = 55\ mm \div 455\ px = 0{,}12\ mm/px$$

Kalibrační bod v souřadném systému kamery:

$$x_1c = 1285\ px, \qquad y_1c = 1050\ px$$

Kalibrační bod v souřadném systému robota:

$$x_1r = 254{,}17\ mm, \qquad y_1r = 697{,}51\ mm$$

Nalezený bod v kameře

$$x_2c = 1000\ px, \qquad y_2c = 1500\ px$$

Výpočet pozice:

$$x_2r = x_1r + \big((x_2c - x_1c) * k\big)$$

$$y_2r = y_1r + \big((y_2c - y_1c) * k\big)$$

Výpočet pozice:

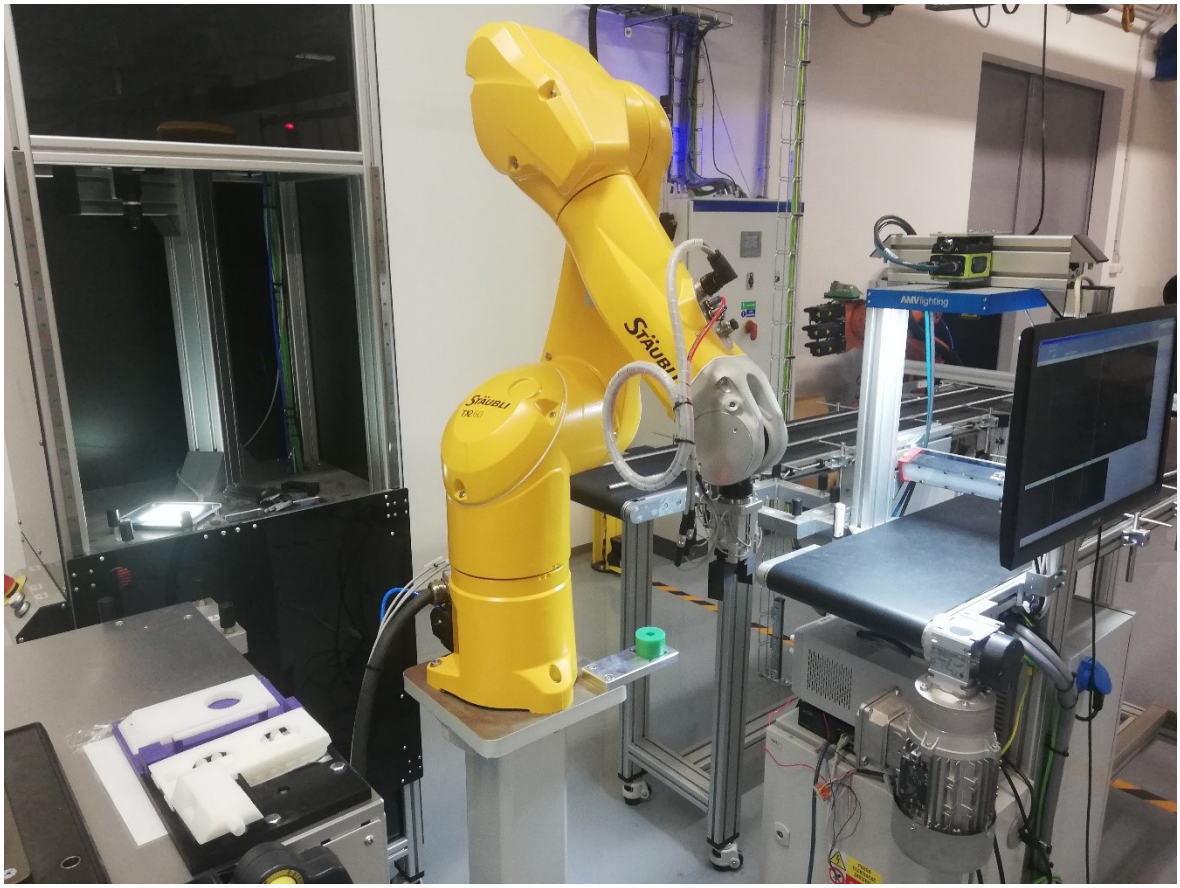
$$x_2r = 254{,}17 + \big((1000 - 1285) * 0{,}12\big) = 219{,}97\ mm$$

$$y_2r = 697{,}51 + \big((1500 - 1050) * 0{,}12\big) = 751{,}51\ mm$$

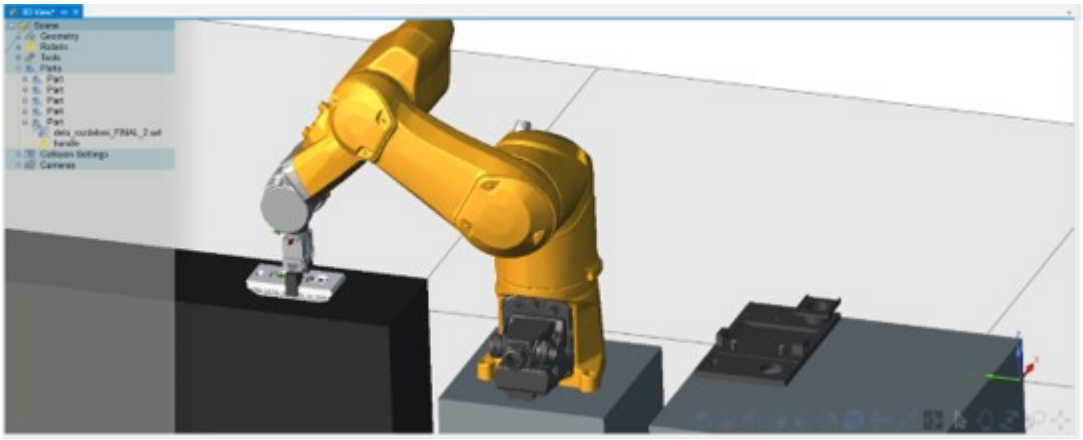
Výsledkem pozice pro robota je $x_2r = 219{,}97\ mm$ a $y_2r = 751{,}51\ mm$.

4.2 Návrh programu pro navádění robota na základě kamerových snímků a k sestavování finálního výrobku ze součástek

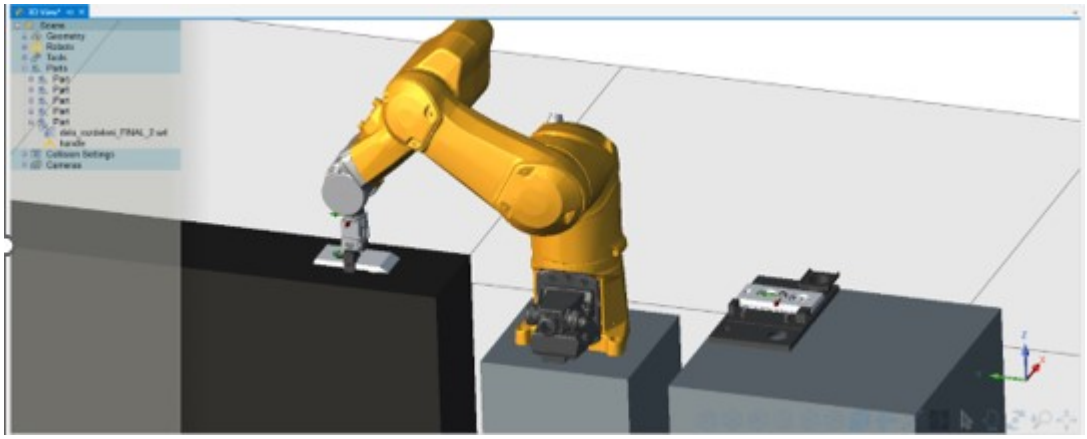
Programování a simulace probíhá v programu Stäubli Robotics Suite 2019, kde bylo potřeba nejdřív při zakládání nového projektu vybrat správného robota, který se nachází v laboratoři, tedy Stäubli TX2-60. V novém projektu byly naimportovány STL soubory jednotlivých dílů tanku, platforem a gripperů. Dále bylo potřeba navrhnout pomocí Geometry okolí robota, které by bylo podobné laboratoři. V programu bylo nadefinováno několik jednotlivých pozic pro uchycení, pokládání a pohyb. Program funguje pomocí podmínek a boolovských proměnných, které většinou definují stav jednotlivých dílů jako je jejich umístění, či zda byl proces u dílu dokončen. Simulace robota probíhá v programu, kde se většinou manuálně mění bool proměnné, které by se v reálu manuálně neměnily, protože by robot komunikoval s kamerou přímo. Ukázka pohybu robota je v příloze na CD.



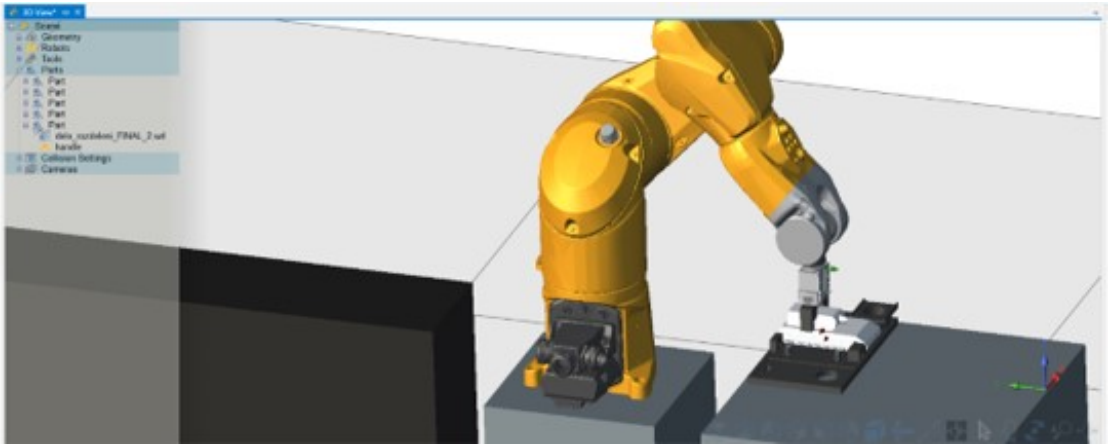
Obrázek 42: Pracoviště v laboratoři



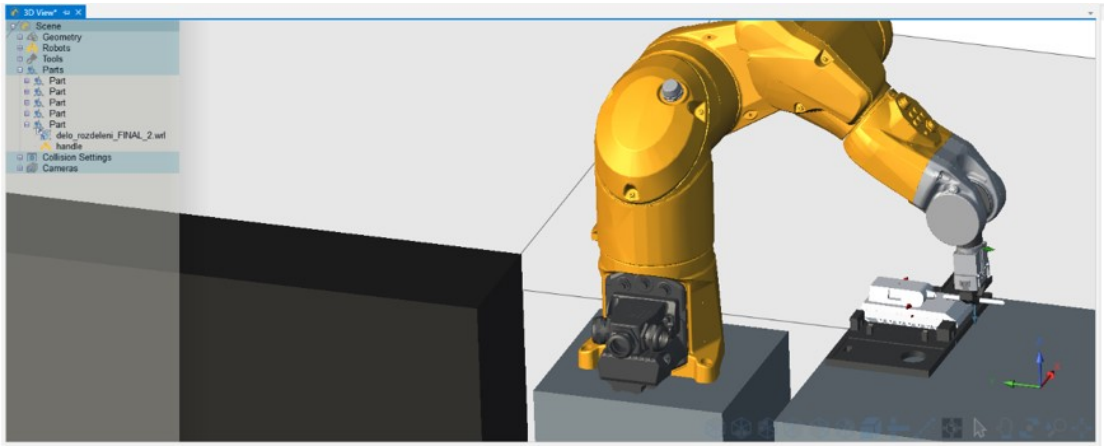
Obrázek 43: Ukázka simulace



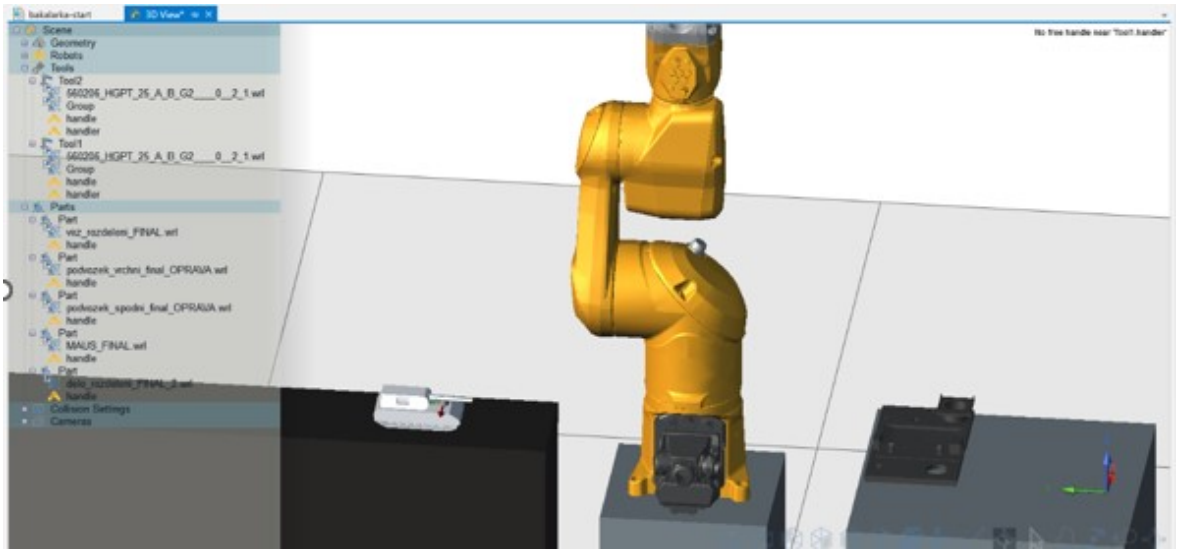
Obrázek 44: Ukázka simulace



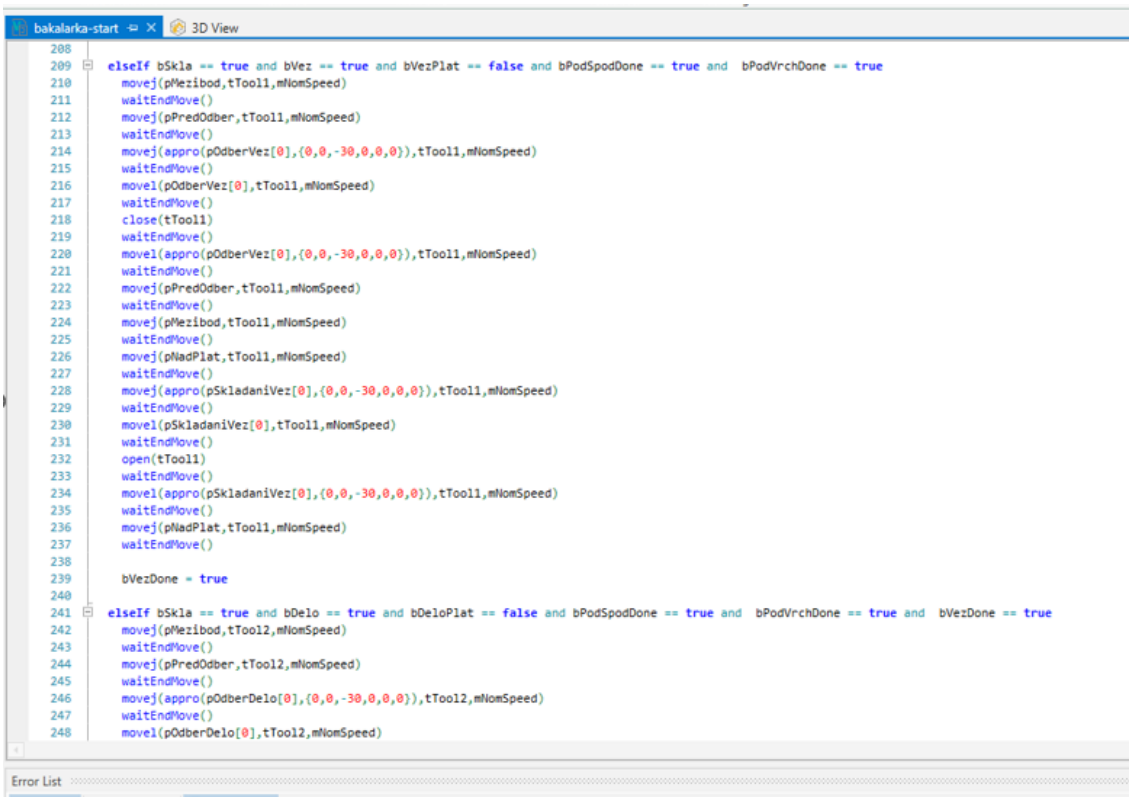
Obrázek 45: Ukázka simulace



Obrázek 46: Ukázka simulace



Obrázek 47: Konec simulace a provádění kamerové kontroly



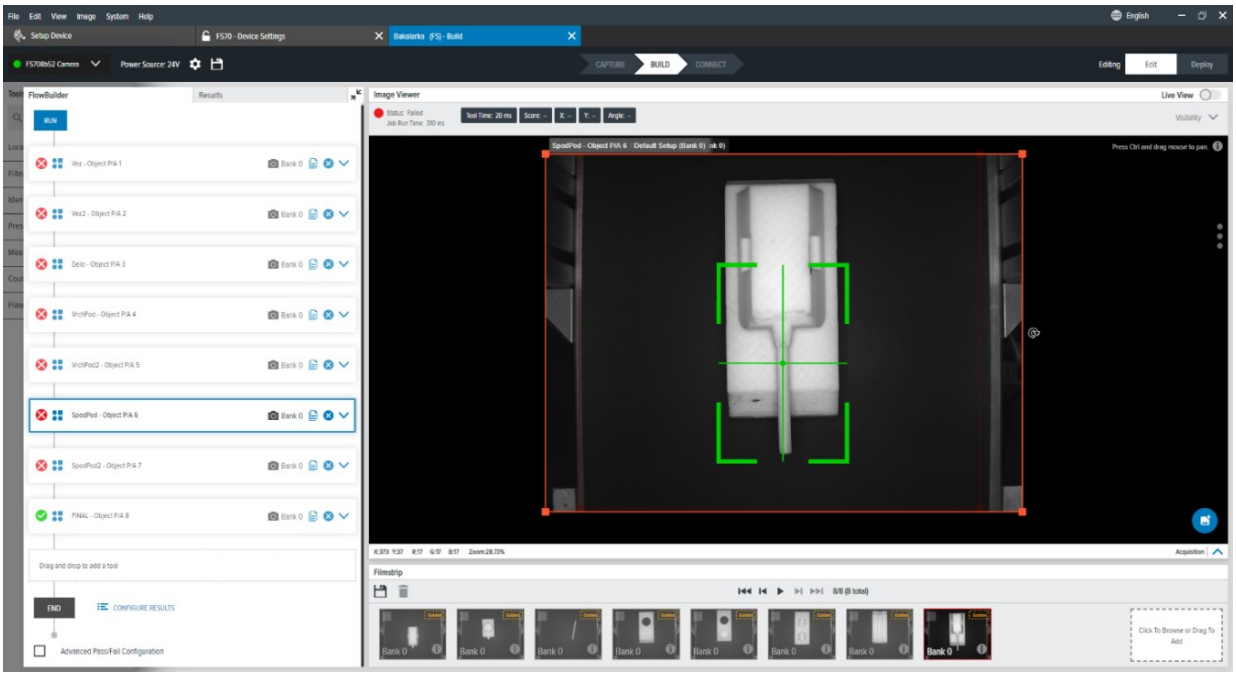
```
208
209  elseIf bSkla == true and bVez == true and bVezPlat == false and bPodSpodDone == true and  bPodVrchDone == true
210    movej(pMezibod,tTool1,mNomSpeed)
211    waitEndMove()
212    movej(pPredOdber,tTool1,mNomSpeed)
213    waitEndMove()
214    movej(appro(pOdberVez[0],{0,0,-30,0,0,0}),tTool1,mNomSpeed)
215    waitEndMove()
216    movel(pOdberVez[0],tTool1,mNomSpeed)
217    waitEndMove()
218    close(tTool1)
219    waitEndMove()
220    movel(appro(pOdberVez[0],{0,0,-30,0,0,0}),tTool1,mNomSpeed)
221    waitEndMove()
222    movej(pPredOdber,tTool1,mNomSpeed)
223    waitEndMove()
224    movej(pMezibod,tTool1,mNomSpeed)
225    waitEndMove()
226    movej(pNadPlat,tTool1,mNomSpeed)
227    waitEndMove()
228    movej(appro(pSkladaniVez[0],{0,0,-30,0,0,0}),tTool1,mNomSpeed)
229    waitEndMove()
230    movel(pSkladaniVez[0],tTool1,mNomSpeed)
231    waitEndMove()
232    open(tTool1)
233    waitEndMove()
234    movel(appro(pSkladaniVez[0],{0,0,-30,0,0,0}),tTool1,mNomSpeed)
235    waitEndMove()
236    movej(pNadPlat,tTool1,mNomSpeed)
237    waitEndMove()
238
239    bVezDone = true
240
241  elseIf bSkla == true and bDelo == true and bDeloPlat == false and bPodSpodDone == true and  bPodVrchDone == true and  bVezDone == true
242    movej(pMezibod,tTool2,mNomSpeed)
243    waitEndMove()
244    movej(pPredOdber,tTool2,mNomSpeed)
245    waitEndMove()
246    movej(appro(pOdberDelo[0],{0,0,-30,0,0,0}),tTool2,mNomSpeed)
247    waitEndMove()
248    movel(pOdberDelo[0],tTool2,mNomSpeed)
```

Obrázek 48: Ukázka části programu

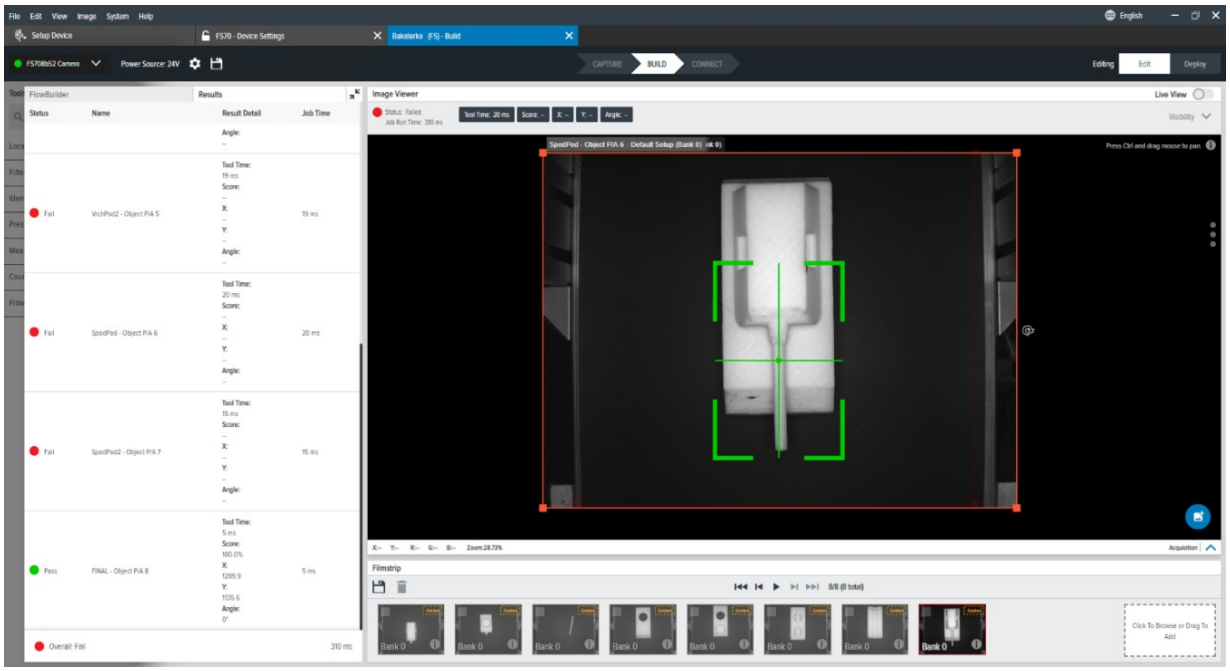
V této části programu má robot při splnění určitých podmínek za úkol určitý díl (věž) uchopit a umístit do podvozku. V podmínkách je uvedeno, že když kamera detekuje věž a vrchní podvozek se již nachází na spodním podvozkem, může být provedeno skládání věže.

4.3 Návrh programu pro kamerovou kontrolu finálního výrobku

Kamerová kontrola finálního výrobku je prováděna stejnou kamerou a programem, jakými jsou detekovány jednotlivé díly výrobku. Program ověřuje celek výrobku a procentuální podobu s naučeným vzorem. Finální kontrola nastává po sestavení všech dílů do jednoho celku a přemístění do pozice pro závěrečnou kontrolu výrobku v zorném poli kamery.



Obrázek 49: Kamerová kontrola finálního výrobku



Obrázek 50: Kamerová kontrola finálního výrobku

ZÁVĚR

V této práci nebylo mým úkolem pouze naprogramovat robota pro skládání výrobku z více dílů a kameru pro detekci jednotlivých dílů a kontroly finálního výrobku, ale také navrhnout libovolný výrobek, pro který byly navrhnuty platformy a grippery. Nejdřív byl navrhnut výrobek, který prošel vzhledovými úpravami, postupným vylepšením a byl vytisknut ve 3D tiskárně. Tento výrobek byl dále testován kamerou ve firmě AMV. Grippery a platformy prošly úpravou tak, aby jednotlivé díly robot dostatečně silně uchytil a tyto díly správně pasovaly do platforem.

Poté, co mi byla půjčena kamera a osvětlení, byla provedena instalace v laboratoři. Po zapojení jednotlivých kabelů a zdroje bylo zjištěno, že je potřeba použít jiný objektiv, který bude zobrazovat celé díly v zorném poli. Po dosažení co největšího zaostření dílu a provedení jednotlivých úprav v programu byl navrhnut program pro detekci jednotlivých dílů, kde výstupem je typ a pozice dílu.

Po nastudování programu Stäubli Robotics Suite a vytvoření projektu byly naimportovány STL soubory jednotlivých dílů tanku, platforem a gripperů. Byl vytvořen program pro skládání jednotlivých dílů do jednoho celku, ve kterém bylo vytvořeno několik pozic pro uchycení, umístění a pohyb. Celá tato simulace probíhá ve zmíněném programu. Na konci programu je výrobek poskládán a přemístěn do pozice pro závěrečnou kontrolu finálního výrobku.

Kamerová kontrola finálního výrobku je prováděna stejnou kamerou, jakou jsou detekovány jednotlivé díly výrobku. Kontrola probíhá i ve stejném programu, ze kterého lze číst výsledky. Tento program ověřuje celek výrobku a procentuální podobu s naučeným vzorem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Vision-guided Robotics. Online. B. r. Dostupné z: https://www.technexion.com/RESOURCES/VISION-GUIDED-ROBOTICS-HOW-CAMERAS-ARE-TRANSFORMING-ROBOTICS/. [cit. 2024-04-18].

[2] What are depth-sensing cameras? How do they work? Online. 2024. Dostupné z: https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-are-depth-sensing-cameras-how-do-they-work/. [cit. 2024-04-18].

[3] Object Detection: A journey from R-CNN to Mask R-CNN and YOLO. Online. 2023. Dostupné z: https://medium.com/augmented-startups/object-detection-a-journey-from-r-cnn-to-mask-r-cnn-and-yolo-698ba097d490. [cit. 2024-04-18].

[4] A Comprehensive Guide To Grippers. Online. B. r. Dostupné z: https://soft-gripping.com/discover/a-comprehensive-guide-to-grippers/. [cit. 2024-04-18].

[5] Types of Grippers Used in Manufacturing | Universal Robots. Online. 2020. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/blog/types-of-grippers-used-in-manufacturing/. [cit. 2024-04-18].

[6] How Do Pneumatic Grippers Work? Online. C2024. Dostupné z: https://www.gripshape.com/how-do-pneumatic-grippers-work/. [cit. 2024-04-18].

[7] Robot Grippers Explained. Online. 2020. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/blog/robot-grippers-explained/. [cit. 2024-04-18].

[8] Pneumatic Gripper - How They Work. Online. 2020. Dostupné z: https://tameson.co.uk/pages/pneumatic-gripper. [cit. 2024-04-18].

[9] Industrial gripper showdown: pneumatic gripper vs. hydraulic gripper. Online. 2021. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/blog/industrial-gripper-showdown-pneumatic-gripper-vs-hydraulic-gripper/. [cit. 2024-04-18].

[10] Hydraulic Gripper. Online. 2016. Dostupné z: https://grabcad.com/library/hydraulic-gripper-2. [cit. 2024-04-18].

[11] What is an Electric Gripper? Online. B. r. Dostupné z: https://www.pfa-inc.com/what-is-an-electric-gripper/. [cit. 2024-04-18].

[12] How to Choose the Right Gripper? Online. 2023. Dostupné z: https://qviro.com/blog/how-to-choose-gripper/. [cit. 2024-04-18].

[13] End of Arm Tooling Grippers. Online. 2023. Dostupné z: https://www.hvrmagnet.com/blog/end-of-arm-tooling-grippers/. [cit. 2024-04-18].

[14] Magnetic Gripper Working Principle. Online. 2023. Dostupné z: https://www.hvrmagnet.com/blog/magnetic-gripper-working-principle/. [cit. 2024-04-18].

[15] Types of Robot Grippers: Pros and Cons. Online. 2022. Dostupné z: https://www.zivarobotics.com/types-robot-grippers-pros-cons/. [cit. 2024-04-18].

[16] Mechanical Gripper. Online. 2023. Dostupné z: https://www.linkedin.com/pulse/mechanical-gripper-p-radhika-me. [cit. 2024-04-18].

[17] BigClaw Mechanical Gripper for Robot DIY. Online. C2024. Dostupné z: https://www.hiwonder.com/products/bigclaw-mechanical-gripper?variant=32473859620951. [cit. 2024-04-18].

[18] What are the different types of industrial robots and their applications. Online. C2024. Dostupné z: https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/. [cit. 2024-04-18].

[19] What is an industrial robot? Industrial robot definition. Online. 2022. Dostupné z: https://robotnik.eu/what-is-an-industrial-robot-industrial-robot-definition/. [cit. 2024-04-18].

[20] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno : Vysoké učení technické v Brně: VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.

[21] KLYMOSHENKO, Mykyta. Návrh řízení pro malý průmyslový robot. Online, Diplomová práce. Praha: ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ, 2021. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97367/F2-DP-2021-Klymoshenko-Mykyta-DP_Klymoshenko.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [cit. 2024-04-18].

[22] ISO 8373:2012. Robots and robotic devices – Vocabulary. Technical Committee ISO/TC 184., 2012[online] [cit. 2024-04-18] Dostupné z: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en

[23] Jaké jsou různé typy průmyslových robotů. Online. B. r. Dostupné z: https://www.evsint.com/cs/industrial-robots-types/. [cit. 2024-04-18].

[24] Cobot Applications. Online. 2020. Dostupné z: https://www.universal-robots.com/blog/cobot-applications/. [cit. 2024-04-18].

[25] HAVLE, Otto. Strojové vidění III: Kamery a jejich části. Online. AUTOMA. 2008, s. 42-44. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36925.pdf. [cit. 2024-04-18].

[26] CCD vs CMOS: A Review of Sensor Technology. Online. In: CMOS SENSOR INC. [1999]. Dostupné z: https://www.csensor.com/ccd-vs-cmos. [cit. 2024-05-11].

[27] KUNDU, Rohit. Image Processing: Techniques, Types, & Applications [2023]. Online. 2022. Dostupné z: https://www.v7labs.com/blog/image-processing-guide. [cit. 2024-04-18].

[28] Vinětace. Online. C2012-2017. Dostupné z: https://tipyjakfotit.cz/foto-slovnik/vinetace/. [cit. 2024-04-18].

[29] What Is Object Detection? Importance, Models and Types. Online. In: G2. 2022. Dostupné z: https://www.g2.com/articles/object-detection. [cit. 2024-05-23].

[30] Object Detection vs. Object Recognition: What's the Difference? Online. AUGMENTED A.I. 2023. Dostupné z: https://www.augmentedstartups.com/blog/object-detection-vs-object-recognition-what-s-the-difference. [cit. 2024-05-23].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NIR Near Infrared

RGB RGB color model

CNC Computer Numerical Control

TCP Transmission Control Protocol

TCPIP Transmission Control Protocol Internet Protocol

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Princip činnosti dvouprstového pneumatického gripperu [8] 14
Obrázek 2: Hydraulický gripper [10] 15
Obrázek 3: Elektrický gripper [11] 16
Obrázek 4: Magnetický gripper [14] 16
Obrázek 5: Mechanický gripper [17] 17
Obrázek 6: Kartézský robot [18] 18
Obrázek 7: Robot SCARA [18] 19
Obrázek 8: Kloubový robot [18] 19
Obrázek 9: Kloubový robot [18] 20
Obrázek 10: Robot Delta [18] 20
Obrázek 11: Polární robot [23] 21
Obrázek 12: Kolaborativní robot [18] 21
Obrázek 13: Rozměry snímačů [25] 23
Obrázek 14: Snímání obrazu [25] 24
Obrázek 15: Zobrazení standardním a telecentrickým objektivem [25] 26
Obrázek 16: C-mount a CS-mount [25] 27
Obrázek 17: Jak PC vidí obrázky [27] 29
Obrázek 18: Binární obraz [27] 29
Obrázek 19: RGB obrázek převeden ve stupnicích šedi [27] 30
Obrázek 20: Rozdělení RGB obrázku [27] 30
Obrázek 21: Změny parametru alfa [27] 31
Obrázek 22: Návrh finálního výrobku 34
Obrázek 23: Díl výrobku – Věž 35
Obrázek 24: Díl výrobku – Dělo 35
Obrázek 25: Díl výrobku – Spodní část podvozku 36
Obrázek 26: Díl výrobku – Vrchní část podvozku 36
Obrázek 27: Platformy 37
Obrázek 28: Hlavní platforma 37
Obrázek 29: Sekundární platforma 38
Obrázek 30: Gripper na podvozek a věž 38
Obrázek 31: Gripper na dělo 39
Obrázek 32: Připojení kamery 40

Obrázek 33: Dopravník....41
Obrázek 34: Kamera a osvětlění....42
Obrázek 35: Program Zebra Aurora Focus a detekce věže....43
Obrázek 36: Program Zebra Aurora Focus a detekce věže....43
Obrázek 37: Nastavení výstupu kamery....44
Obrázek 38: Nastavení komunikace přes port....44
Obrázek 39: Detekce dílu....45
Obrázek 40: Program Hercules....45
Obrázek 41: Výstup kamery pomocí programu Hercules....46
Obrázek 42: Pracoviště v laboratoři....48
Obrázek 43: Ukázka simulace....48
Obrázek 44: Ukázka simulace....49
Obrázek 45: Ukázka simulace....49
Obrázek 46: Ukázka simulace....49
Obrázek 47: Konec simulace a provádění kamerové kontroly....50
Obrázek 48: Ukázka části programu....50
Obrázek 49: Kamerová kontrola finálního výrobku....51
Obrázek 50: Kamerová kontrola finálního výrobku....51

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy na CD:

Příloha č. 1/CD: Staubli Robotics Suite – program pro robota

Příloha č. 2/CD: Zebra Aurora Focus – program pro kameru

Příloha č. 3/CD: Ukázka pohybu robota – simulace