

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

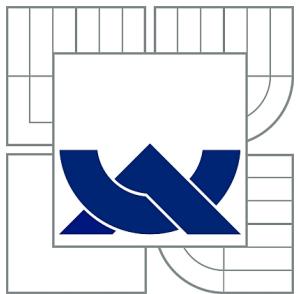
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

SEKVENČNÍ OSAZOVÁNÍ POVRCHOVĚ MONTOVANÝCH  
SOUČÁSTEK

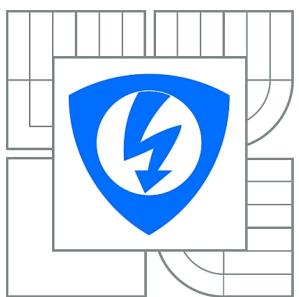
DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HYNEK ŠTĚTINA



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## SEKVENČNÍ OSAZOVÁNÍ POVRCHOVĚ MONTOVANÝCH SOUČÁSTEK

SEQUENTIAL PLACEMENT OF SURFACE MOUNTED DEVIDES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

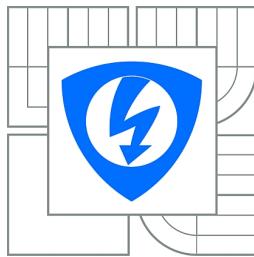
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. HYNEK ŠTĚTINA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Mikroelektronika**

**Student:** Bc. Hynek Štětina

**ID:** 98404

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Sekvenční osazování povrchově montovaných součástek**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku sekvenčních osazovacích SMD automatů. Charakterizujte současný stav a další směry vývoje. Podrobněji se zaměřte na systémy bezkontaktního centrování součástek.

Navrhněte a prakticky realizujte jednohlavový osazovací systém s manuálně výměnnou odebírací tryskou a spodní centrovací kamerou. Možnost odebírání z dvaceti 8 mm podavačů s manuálně řízeným krokem 20 odkrytých součástek. Osazování na DPS rozměru 150 x 250 mm umístěné na naváděcích trnech nebo hranově fixovaných. Načtení polohy naváděcích značek laserovou diodou nebo horní kamerou. Navrhněte odpovídající ovládací software.

Určete přesnost a reproducibilnost osazování pouzder R, C velikosti 0805.

Proveďte diskusi mechanického uspořádání, navržené řídící elektroniky i ovládacího SW. Uveďte technologické limitace a možnosti využití.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího práce

**Termín zadání:** 10.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Starý, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.**  
Předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Abstrakt práce v originálním jazyce

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Klíčová slova v originálním jazyce

## **ABSTRACT**

Překlad abstraktu v angličtině (nebo češtině pokud je originální jazyk angličtina)

## **KEYWORDS**

Překlad klíčových slov v angličtině nebo češtině

ŠTĚTINA, Hynek *Sekvenční osazování povrchově montovaných součástek*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2015. 69 s. Vedoucí práce byl Ing. Jiří Starý, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Sekvenční osazování povrchově montovaných součástek“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....  
podpis autora(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....  
.....  
podpis autora(-ky)



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Purkynova 118, CZ-61200 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....  
podpis autora(-ky)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Konstrukce</b>	<b>13</b>
1.1 Řešení pojezdů pro osy X a Y . . . . .	13
1.2 Systém vodících tyčí . . . . .	14
1.3 Lineární vedení. . . . .	14
1.4 Pohon os . . . . .	14
1.5 Uspořádání os X a Y . . . . .	15
1.5.1 H-Bot . . . . .	16
1.5.2 CoreXY . . . . .	17
1.6 Zásobníky na součástky . . . . .	17
<b>2 Vakuum</b>	<b>20</b>
2.1 Diferenciální zesilovač - TODO . . . . .	23
2.2 Měření výstupu z ADC . . . . .	23
2.3 Vakuová pipeta a tryska . . . . .	24
<b>3 Centrování součástek</b>	<b>27</b>
3.1 Použité zobrazovací jednotky - CCD kamery . . . . .	27
3.2 Vyhazování obrazu a redukce šumu . . . . .	28
3.2.1 Vyhazovací filtr Blur . . . . .	28
3.2.2 Vyhazovací filtr Gaussian Blur . . . . .	29
3.2.3 Vyhazovací filtr Median Blur . . . . .	30
3.2.4 Vyhazovací Bileteral filtr . . . . .	30
3.3 Centrovací značky a jejich detekce. . . . .	31
3.4 Houghova transformace a hledání kruhů v obrazu. . . . .	33
3.4.1 Spolehlivost detekčního algoritmu . . . . .	33
3.4.2 Vliv osvětlení na detekci centrovacích značek. . . . .	33
3.5 Detekce součástek v zásobnících . . . . .	34
3.6 Detekce za pomocí předlohy . . . . .	37
3.7 Centrování součástek spodní kamerou . . . . .	39
3.8 výsledky . . . . .	41
<b>4 Řídící elektronika</b>	<b>42</b>
4.1 Firmware . . . . .	42
4.2 Krokové motory a jejich drivery . . . . .	44
4.3 USB a elektromagnetická kompatibilita . . . . .	47
4.4 Zapojení konektorů . . . . .	48

<b>5</b>	<b>Řídící SW</b>	<b>50</b>
5.1	Data pro osazovací automat . . . . .	50
5.2	Workflow . . . . .	52
5.3	Program . . . . .	52
5.3.1	CAD data a přiřazení zásobníků . . . . .	53
5.3.2	Zaměření DPS . . . . .	54
5.3.3	Manažer zásobníků . . . . .	55
5.3.4	Ovládání pohybu automatu . . . . .	56
5.3.5	Vacuum . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Měření</b>	<b>58</b>
6.1	Přesnost . . . . .	58
6.2	Reprodukovanost . . . . .	58
6.3	XXX DPS . . . . .	58
6.4	Rychlosť osazování . . . . .	58
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>63</b>
<b>Literatura</b>		<b>64</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratek</b>		<b>65</b>
<b>Seznam příloh</b>		<b>66</b>
<b>A</b>	<b>Některé příkazy balíčku thesis</b>	<b>67</b>
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	67
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	67
<b>B</b>	<b>Druhá příloha</b>	<b>68</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>69</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Open Source Hardware.	12
1.1	XY.	15
1.2	H-bot.	16
1.3	Core XY.	17
1.4	Páska.	18
1.5	Zásobník.	18
1.6	Zásobník.	19
1.7	Zásobník.	19
2.1	Princip membránové pumpy.	20
2.2	Uspořádání vakuové soustavy.	21
2.3	Vnitřní uspořádání ventilu SMC V114A.	21
2.4	Rozvodný blok ventilu.	22
2.5	Vakuový sensor MPXM2202AS – Fotka FARNELL, nutno vyfotit vlastní.	22
2.6	0,5mm tryska.	23
2.7	0,9mm tryska.	24
2.8	Obrázek možných řešení vakuového vedení. Pro názornost byla moderným tečkováním naznačena cesta vakuového potrubí.	25
2.9	Ukázka použitého motoru Nema8 s dutou hřídelí.	25
2.10	Detail vysoustružené redukce s nasazenou 0.9 mm tryskou.	26
3.1	Blur.	29
3.2	Gaussian Blur.	30
3.3	Median Blur.	31
3.4	Billateral filter.	32
3.5	obrázek centrovacích značek + naznačení poloměrů.	32
3.6	Rozptyl výsledku z detektoru centrovacích značek.	34
3.7	Denní osvětlení.	34
3.8	Tma, prisviceno XXX.	35
3.9	Svetlo, prisviceno XXX.	35
3.10	stropní svetlo XXX.	36
3.11	Páska.	36
3.12	Páska - základní detekce.	37
3.13	Šablona pro detekci.	37
3.14	Detekce XXXXX.	38
3.15	Šablona pro detekci2.	38
3.16	Detekce XXXXX.	38
3.17	Vis0.	39

3.18 Vis0.	40
3.19 Vis2.	40
3.20 Vis3.	40
3.21 Rezistor o velikosti 0806 před a po korekci rotace.	41
3.22 Ukázka algoritmu na pouzdrech D2-pak a LQFP100.	41
4.1 Diagram řídící elektroniky.	42
4.2 DRV8825.	45
4.3 DRV8825.	46
4.4 Koncové dorazy.	46
4.5 Zapojení USB.	47
4.6 Zapojení USB.	48
4.7 Zapojení konektorů.	48
4.8 Osazená řídící elektronika ve verzi 1.0.	49
5.1 Vývojové prostředí PyQt pro tvorbu grafického rozhraní.	50
5.2 Workflow.	53
5.3 Hlavní obrazovka řídícího SW.	53
5.4 Tabulka všech součástek a sdružené součástky podle pouzder a hodnoty.	54
5.5 Záložka s centrováním DPS.	55
5.6 Manažer zásobníků.	56
5.7 Motion záložka.	57
5.8 Vacuum záložka.	57
6.1 Repeatabilita TODO.	59
6.2 C X.	59
6.3 C Y.	60
6.4 D X.	60
6.5 D Y.	61
6.6 E X.	61
6.7 E Y.	62

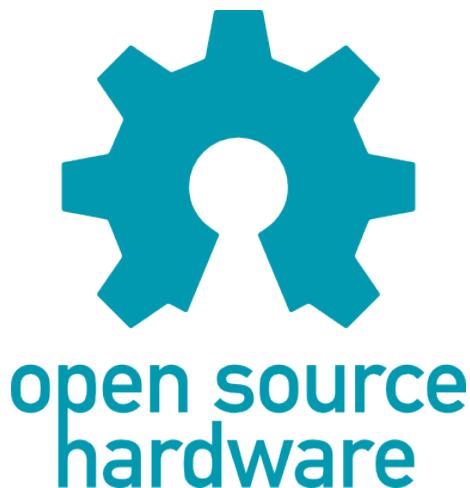
# SEZNAM TABULEK

1.1	Cena originálních dílů Misumi potřebných na jeden spoj (v Kč a včetně DPH) . . . . .	13
1.2	Rozměry pásek . . . . .	18
4.1	Katalogové parametry motoru SX17-1005LQEF . . . . .	44
4.2	Mikrokrokování . . . . .	46
4.3	Zapojení konektorů. . . . .	49
5.1	Ukázka exportu. . . . .	51
A.1	Přehled příkazů pro matematické prostředí . . . . .	67

# ÚVOD

Osazovací automaty pro povrchovou montáž, též známe pod názvem pick and place (PnP), jsou stroje sloužící na osazování desek plošných spojů SMD součástkami. Hrají tak nedílnou součást v celém procesu výroby elektronických zařízení. Na výrobních linkách pro sériovou výrobu mají svoje místo již desetiletí. Na druhou stranu v mlosériové výrobě (jednotky kusů) a prototypové výrobě se s nimi skrz jejich vysokou pořizovací cenu setkáváme zřídkakdy. Osazování DPS lze poptat také jako službu, která je již cenově dostupnější. Pro prototypovou výrobu to ale naráží na fakt, že dodavatelé těchto služeb vyžadují součástky ve strojově zpracovatelné formě. Tedy na rolích, platech a v tubách. V prototypové a malosériové výrobě se ale pracuje spíše se stříženými páskami a jednotlivými součástkami.

V posledních letech se čím dál častěji setkáváme s fenoménem Open Source Hardware. Je to filozofie tvorby hardware a jeho sdílení včetně všech zdrojových souborů s komunitou. Tedy jakási obdoba známého Open Source Software.



Obr. 1: Open Source Hardware.

Vzhledem k mojí potřebě častého prototypování a přispívání právě k Open hardware je cenově dostupný osazovací automat velice žádaný. Jak plyne se zadání, cílem této diplomové práce je tedy kompletní tvorba vlastního osazovacího automatu na SMD součástky za dostupnou cenou. Jedná se tak o komplexní projekt vyžadující schopnosti od návrhu mechanické konstrukce, elektroniky a řídícího software.

Celá práce je vedena v duchu opensource a open hardware, všechny části projektu včetně zdrojových kódů jsou tak volně dostupné na internetu pro širokou veřejnost.

# 1 KONSTRUKCE

Základ mechanické konstrukce tvoří extrudované hliníkové profily 30x30mm od firmy Misumi, konkrétně typ GFS6-3030. Profil má drážky které za pomocí zásuvných matek umožňují snadné přichycení dalšího příslušenství k profilu. Stejně tak spojování profilů je díky drážkám velice jednoduché. Vzhledem k tomu, že v celé konstrukci je zapotřebí velké množství spojů, vycházelo by použití originálních spojek draho. V následující tabulce je seznam riginálních dílů Misumi potřebných pro jeden spoj a jejich cena.

Tab. 1.1: Cena originálních dílů Misumi potřebných na jeden spoj (v Kč a včetně DPH).

Název dílu	Kód dílu	Cena	Počet ks
Rohová spojka	HBLTS6	37	1
Zásuvná matka	HNTP6-6	16	2

Jen spojky k sestavení rámu by tak přišly na přibližně 2000Kč. Proto byla zvolena úspornější varianta za použití 3D tisku FDM technologií. Díl HNTP6-6 byl nahrazen M6 matkou vsazenou do vytištěného dílu a rohová spojka HBLTS6 byla nahrazena celá tištěným dílem. Bez započtení energií a amortizace stroje vyšla cena plastových dílů na jeden spoj pod 5 Kč, což je výrazná úspora oproti 69Kč v originálních dílech.

Dle zadání má automat být schopen osazovat DPS o velikosti 150x250mm. Při návrhu velikosti pracovní plochy bylo také nutné počítat s prostorem pro zásobníky součástek a kamery. Jelikož bylo použito lineárního vedení s typyzovanou délkou po 10cm, zvolil jsem délku vedení pro osu X 60cm a pro osu Y 40cm. Při započtení rozměrů samotné osazovací hlavy tak šlo počítat s reálnou pracovní plochou přibližně 300x500 mm. Pro samotnou desku 150x250 mm a požadovaných 20 zásobnících na součástky je to dostatečně velký prostor.

## 1.1 Řešení pojezdů pro osy X a Y

Konstrukci pojezdů pro osy X a Y lze realizovat z běžně dostupných součástí třemi různými způsoby. Nejlevnější variantou je použití speciálně tvarovaných hliníkových profilů/kolejnic, po kterých budou jezdit ložiska nebo plastová kolečka. Použití ložisek v kombinaci s hliníkovou kolejnicí není kvůli nízké tvrdosti hliníku příliš vhodné, časem pak dochází k vyjezdění drážky v profilu. Proto se namísto ložisek

používají spíše tvrdé plasty jako je POM (Paraformaldehyd) konkrétně ve své variantě pod obchodním názvem Delrin.

Ukázka hliníkového profilu MakerSlide s Delrinovými kolečky.

Delrinová kolečka jsou tvarována do tvaru písmene V stejně jako hliníková kolejnice. Tento systém zamezuje nežádoucímu pohybu osy ve směru kolmém na směr pohybu po kolejnici.

## 1.2 Systém vodících tyčí

Pojezd tvoří lineární ložiska jezdící po hlazené tyči. Hlazená tyč je buď uložená jen na koncích a ložisko ji celou obepíná, nebo je tyč po celé délce podepřená a lineární ložisko je s výrezem. Rozdíl mezi těmito variantami je z hlediska maximální zatížitelnosti vedení. V našem případě by tak stačila varianta uložení na koncích, váha celého pojezdu i s vakuovou pinzetou byla odhadována pod 1kg.

## 1.3 Lineární vedení.

Poslední zvažovanou a zároveň nejdražší možností bylo použití lineárního vedení. Tato varianta slibovala dosažení největších přesností. Dle zadání práce má být osazovací automat schopen osazovat součástky o velikosti 0805 pro které by bylo odatačující použití i první zmiňované varianty s Delrinovými kolečky. Osobním cílem ale bylo realizovat co nejpřesnější stroj který by byl schopen osazovat i součástky o velikostech 0402. Proto bylo i přes svou vysokou cenu zvoleno právě toto řešení.

## 1.4 Pohon os

Pokud se omezíme na základní principy přenosu rotačního pohybu motoru na lineární pohyb, zůstávají dvě varianty jak osy pohánět. A to za pomocí řemenů a nebo šroubovicového systému. Šroubovicový systém pracuje na podobném principu jako matka (pohyblivá část) našroubovaná na závitové tyči (šroubovice). Rozdílem je ale větší stoupání a jiný profil závitu minimalizující tření, což zvyšuje účinnost převodu. Takovým příkladem je trapézová štoubalice. Mnohem přesnější variantou je pak kuličková štoubalice. Místo závitu jsou v matce kuličky, které v ní recirkulují. Účinnos převodu je tak ještě vyšší než u trapézového šroubu. Při změně směru otáčení mají ale obě varianty tzv mrtvý chod. Tuto hysterezi je možné eliminovat použitím předepnutých matek matic. Spojení štoubalice s motorem musí být přes pružnou spojku, aby se eliminovala chyba souososti.

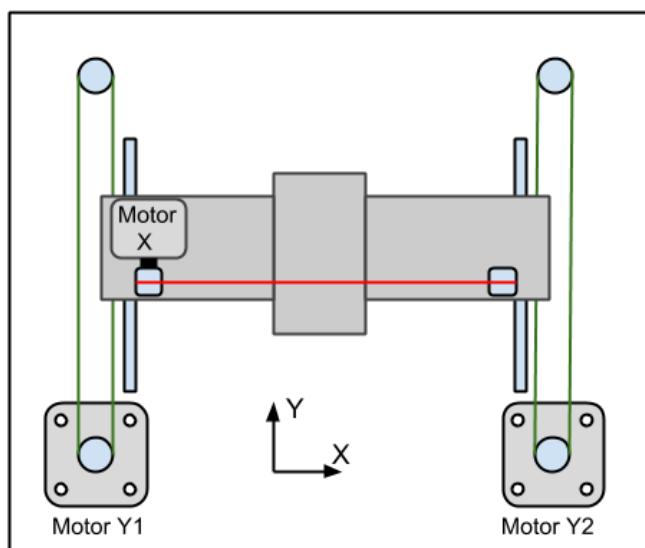
Řešení s řemeny je koncipováno tak, že přímo na hřídel motoru je přidělána řemenice. Druhá řemenice (nebo ložisko) je umístěna na opačném konci osy a mezi nimi je natažen uzavřený řemen. Při správné volbě profilu řemenu je mrtvý chod zanedbatelný. Při velké délce řemenů může při jejich zatížení docházet k negativnímu propínání řemenů. Proto jsou řemeny vyztužovány tkaninou, nebo ocelovými dráty.

Použití řemenů výrazně zjednoduší a zlevňuje celou konstrukci, proto byly do konstrukce zvoleny řemeny. Konkrétně řemen s profilem GT2, který je určen právě do aplikací s lineárním pohybem. Tvar zuba je zakulacený pro potlačení mrtvého chodu viz následující obrázek.

## 1.5 Uspořádání os X a Y

V předchozích kapitolách byly na základě úvah o přesnosti zařízení zvoleny pojedy tvořené lineárním vedením poháněné řemeny. V této kapitole bude popsána problematika uspořádání jednotlivých os.

Samotný polohovací systém osazovacího automatu pracuje v kartézském souřadnicovém systému. Z konstrukčního hlediska bylo několik možností jak systém řešit. Základní konstrukční princip je, že každá osa má svůj vlastní motor (nebo více motorů), který ji pohání. Portálová konstrukce našeho osazovacího automatu by tak mohla vypadat dle následujícího obrázku.



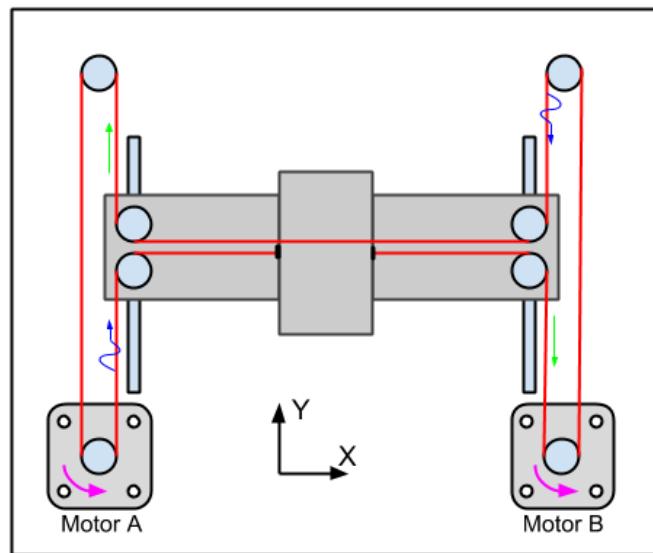
Obr. 1.1: XY.

V případě použití jednoho motoru pro osu Y bylo nutné spřažení pravé a levé části portálu, aby nedocházelo k nežádoucí rotaci při hnaní jen jedné části portálu. Alternativou by bylo na každou stranu portálu dát jeden motor a jejich otáčky řídit

synchroně. Osa X by měla po boku vlastní motor a celá by byla uložena na ose Y. Tzn s pohybem v ose Y by se pohybovala i celá váha osy X. Na ose X je navíc ještě umístěna osa Z s vakuovou pipetou což je další hmota navíc. Dá se očekávat, že dynamické vlastnosti, rychlosť a kompaktnosť tohto řešení nebude pro osazovací automat ideální (za předpokladu použití dostupných komponent).

### 1.5.1 H-Bot

Zajímavým uspořádáním, které úplně eliminuje nutnosť aby se motor X pohyboval s osou Y z předchozího uspořádání je systém H-bot. V tomto řešení jsou motory staticky připevněné k rámu a řemen je uspořádán do tvaru H, proto H-bot. Hmotu motorů se tak již nepohybuje s pohybem os, tudíž celá sestava bude mít menší setrvačnosť a lze tak dosáhnout rychlých akcelerací a vysokých rychlosťí. Systém využívá dva motory, kde pro pohyb mechanismu jen v jedné ose je zapotřebí obou motorů. Pokud se motory točí stejným směrem, pohybují s jednou osou. Pro pohyb v druhé ose se točí v protifázi.

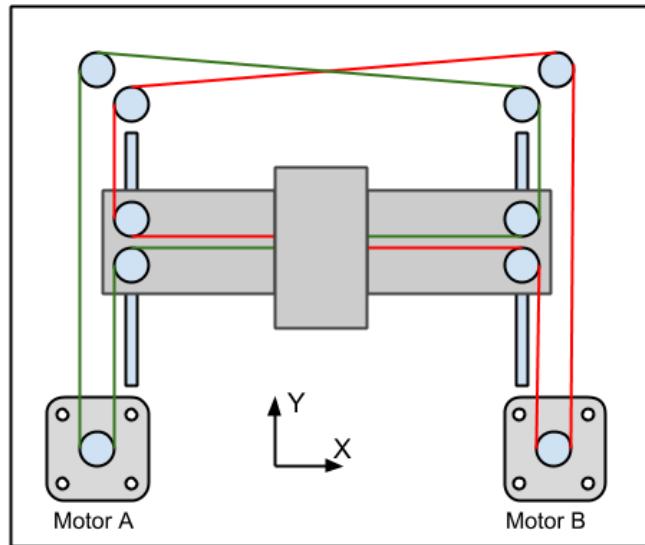


Obr. 1.2: H-bot.

Nevýhodou tohto uspořádání je fakt, že síly působící na pohyblivý portál jsou v opačném směru což může vést k jeho mírné rotaci. Na obrázku je naznačen pohyb v pozitivním směru osy X, motor A i motor B se točí na stejnou stranu. Do obrázku byly naznačeny tahové a tlakové síly (zelená a modrá šipka), které by se měli v ideálním případě navzájem vyrušit. V reálném světě tomu tak není a portál má tendenci rotovat ve směru zelených šipek. S tímto systémem se tak dá dosahovat precizního polohování jen za předpokladu použití dostatečně tuhé konstrukce.

### 1.5.2 CoreXY

Výše zmíněné nevýhoda systému H-bot jde eliminovat podobným, avšak mírně komplikovanějším uspořádáním zvaným coreXY.



Obr. 1.3: Core XY.

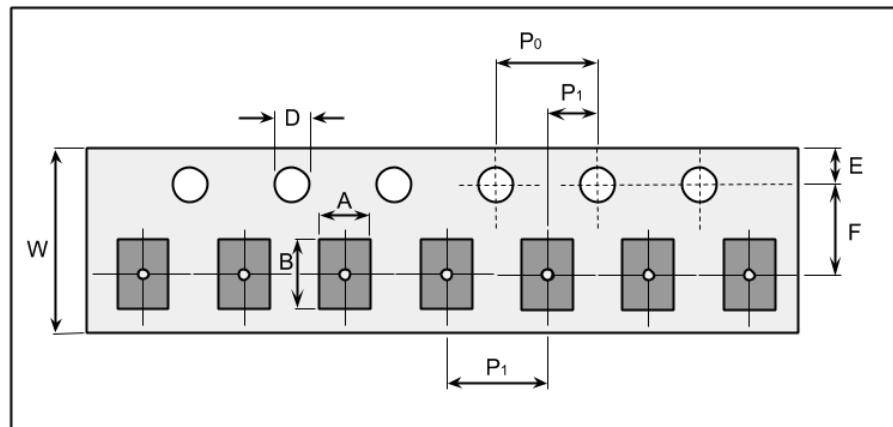
Jak je vidět z obrázku, síly působící na portál působí oproti H bot již v jednom směru a nedochází tak k nechtěné rotaci portálu.

## 1.6 Zásobníky na součástky

Jedním z požadavků zadání práce je možnost odebírání součástek z dvaceti 8mm zásobníků. Kde každý zásobník musí obsahovat minimálně 20 součástek o velikosti 0805. Při návrhu designu zásobníků byl kladen důraz na univerzálnost, tedy nejen možnost zavedení 8mm pásky, ale i jiných rozměrů.

Návrh tak vychází z tabulky XXX, kde je uvedena specifikace rozměrů pro jednotlivé šířky pásek od výrobce OnSemiconductors. Kde parametr K udává maximální výšku součástky. Aby byl zásobník univerzální, musí být schopen pojmut pásku o šířce 8-24 mm s minimální výškou 11,9mm.

Byl proto navržen modulový systém zásobníku, který má variabilní šířku a na výšku je schopen pojmut 12mm vysoké součástky. Schématické znázornění zásobníku je na následujícím obrázku. Jednotlivé moduly zásobníku byly vytiskeny z plastu za pomocí 3D tiskárny. Z obavy z možných problémů s ESD byl pro jistotu použit ABS materiál s přídavkem uhlíku, který omezuje statický náboj.

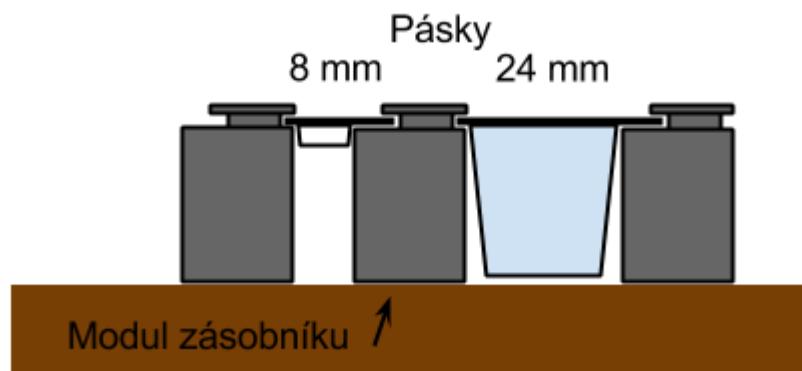


Obr. 1.4: Páska.

Tab. 1.2: Rozměry pásek

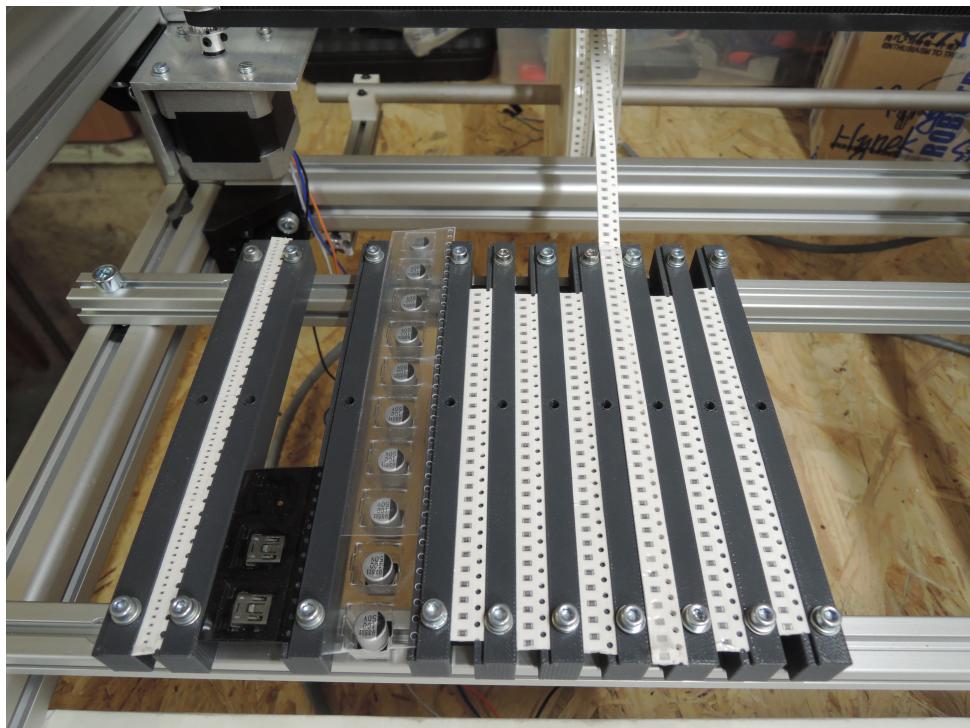
Šířka pásky	D [mm]	K [mm]	P0 [mm]	P2 [mm]	E [mm]	F [mm]	B [mm]
8 mm	1,5	2.4	4,0	2.0	1,75	3,5	4,55
12 mm	1,5	6.4	4,0	2.0	1,75	5,5	8,2
16 mm	1,5	7.9	4,0	2.0	1,75	7,5	12,1
24 mm	1,5	11.9	4,0	2.0	1,75	11,5	20,1

Předpokladem je používání jen ústřížků pásek se součástkami. U frekventované používaných součástek jako jsou odpory 10k, kondenzátory 100nF a dalších by byla neustálá příprava ústřížků pasky zbytečně zdlouhavá. Proto byla přidána možnost založení celé role ke každému zásobníku.



Obr. 1.5: Zásobník.

Výsledné provedení



Obr. 1.6: Zásobník.

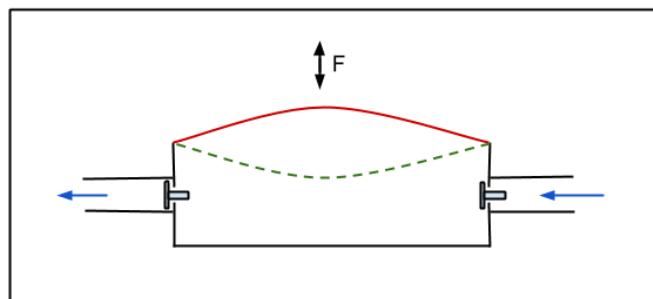


Obr. 1.7: Zásobník.

## 2 VAKUUM

Pro přemisťování součástek mezi zásobníkem a DPS je použita vakuová pipeta. Principiálně pipeta najede nad součástku v zásobníku, zapne se odčerpávání vzduchu a součástka je nasáta na trysku. Po té přístroj s nasátou součástkou odjede na danou pozici DPS. Tam pipeta sjede v ose Z přímo nad DPS a vypne se odčerpávání – součástka se uvolní z trysky. V tomto stádiu je součástka osazena a celý proces se může opakovat.

Pro osazovací automat je základním požadavkem na zdroj vakua bezolejový provoz. V případě použití bežně dostupných olejových rotačních pump hrozí riziko kontaminace součástek a DPS olejovými parami. Mohlo by tak dojít ke snížení pájitelnosti. Komerčně dostupnou variantou bezolejových – suchých pump jsou Scrool pumpy a membránové pumpy. Jejich pořizovací cena je sice vyšší, ale odpadá problém s možnou kontaminací součástek.



Obr. 2.1: Princip membránové pumpy.

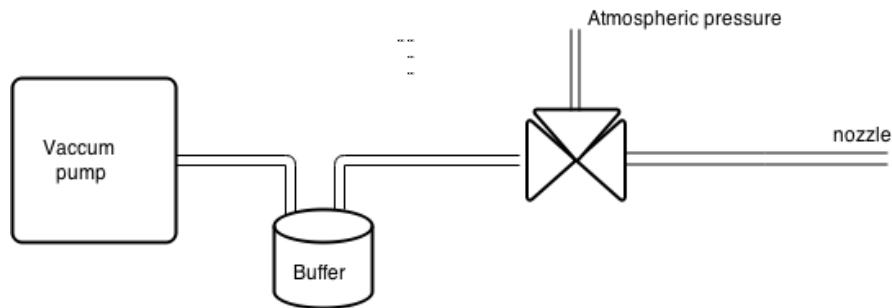
Pro použití v osazovacím automatu byla zvolena právě membránová pumpa. Její výhodou je také minimální hlučnost. Pro srovnání u membránové pumpy Pfeiffer MVP 020-3 výrobce uvádí hlučnost (MENSINEBOROVNO) 48 dB. Rotační pumpa Pfeiffer Hena 25 se srovnatelnou čerpací rychlostí má pak hlučnost (MENSINEBOROVNO) 60 dB.

### Membránová pumpa Pfeiffer MVP 020-3

Jako efektivní způsob řízení vakua se ukázalo mít pumpu neustále zapnutou a zapínání/vypínání pipety řídit pomocí ventilu. A to hlavně z důvodu čerpací rychlostí. V případě zapínání a vypínání celé pumpy by se muselo vyčerpat celé vakuové potrubí, kdežto při použití ventilů se zčerpává jen malý oběm mezi ventilem a tryskou. Celý proces je tak i za použití pumpy s nižší čerpací rychlostí dostatečně rychlý a není tak limitním faktorem pro rychlosť osazování.

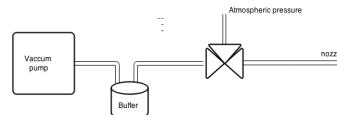
Z výhodou se dá mezi pumpou a ventilem použít vakuový buffer. Pumpa ho neustále předčerpává a tvoří tak vakuovou rezervu na výkryv náhlého zvýšení tlaku

po otevření ventilu. Tímto trikem se opět dosáhne mírného zrychlení k provedení jednoho cyklu.



Obr. 2.2: Uspořádání vakuové soustavy.

S ventilem je potřeba se vypořádat s nežádoucím jevem, že součástky v operaci umisťované na DPS zůstavají přisáty na trysce i po jeho zavření. V oblasti mezi tryskou a ventilem totiž zůstává podtlak a je proto nutné ji dostat na atmosférický tlak. To se dá řešit za pomocí druhého 'napouštěcího' ventilu, který se otevře ihned po zavření ventilu od pumpy. A nebo lépe dvoucestným ventilem. Z důvodu úspory místa a zjednodušení konstrukce jsem zvolil dvoucestný ventil. Konkrétně typ V114A-5GU od firmy SMC s napájením 24V.



Obr. 2.3: Vnitřní uspořádání ventilu SMC V114A.

Ventil je velice kompaktní, ale nemá možnost přímého připojení vakuového potrubí. Bylo tak nutné vyrobit rozvodný blok viz následující obrázek. Zleva je port na připojení pipety, port uprostřed je určený na připojení tlkového senzoru. Pravý port se pak připojuje k pumpě.

Vakuové potrubí je z většiny tvořeno PTFE trubičkou s vnějším průměrem 4mm a s vnitřním 2mm. PTFE trubička je dostatečně tuhá, že u ní nedochází ke deformaci/zborcení stěn při jejím vyčeprání. Pouze na místech kde bylo potřeba malého rádiusu vedení a nebo jeho pružnosti byla použita měkká SMC hadička z ČEHO? K připojení potrubí posloužily rychlospojky od SMC.

Při nasávání součástek na trysku se se může stát, že se součástku nepovede nasát. Jako jeden z kontrolních mechanismů je k vakuovému potrubí připojena tlaková sodna. Pro měření vakua od atmosférického tlaku až po XXX Pa se v průmyslu používají Piraniho měrky. Pro naši aplikaci ale postačí polovodičový piezorezistivní sensor v absolutní verzi. Tzn porovnávání měřeného tlaku vůči referenčnímu vakuu.



Obr. 2.4: Rozvodný blok ventilu.

Senzorem je potřeba detekovat následující stavy:

- atmosférický tlak
- součástka přisáta na pipetě
- součástka nepřisáta na pipetě



Obr. 2.5: Vakuový sensor MPXM2202AS – Fotka FARNELL, nutno vyfotit vlastní.

Vybraný typ senzoru je Freescale semiconductor MPXM2202AS s rozsahem měření od 200kPa až do 0kPa. Senzor pracuje v rozsahu napájecích napětí 10-16V a jeho výstup je diferenciální.

Diferenciální výstup senzoru je pouhých 40mV pro celý rozsah měřených tlaků. Vybraný mikroprocesor disponuje 12 bitovým ADC převodníkem což dává 4096 měřených úrovní. Pokud by se diferenciální napětí měřilo napřímo bez zesílení, výstup z ADC by se pohyboval pouze v rozmezí úrovní 0-50. Z toho polovina by navíc případala pro tlaky větší než atmosférické. Rozlišení by tak bylo nedostačující.

Finální podoba řídícího obvodu se tak skládá z lineárního stabilizátoru 7812 a diferenciálního zesilovače. Při atmosférickém tlaku byl výstup zesilovače nastaven

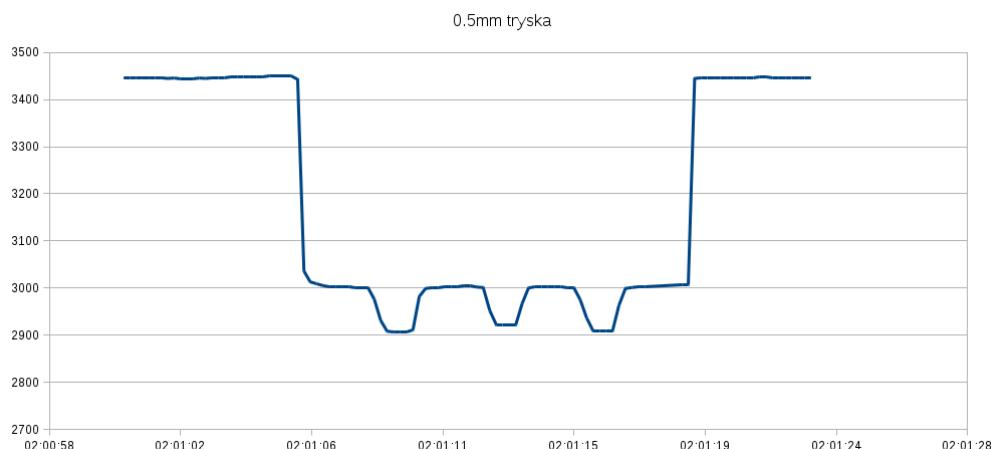
pomocí trimru Rxxx na 3V. Se snižujícím se tlakem se výstupní napětí také snižuje.

Senzor i s řídící elektronikou je umístěn přímo u vakuové pipety. Signálový kabel tak povede v kabelové šachtě zároveň s kably pro Z a R motory. Z obavy, že by se na výstupním analogovém signálu mohlo indukovat rušivé napětí je řídící obvod vybaven i komparátorem, který bude mikroprocesoru signalizovat log 1, nebo 0 dle přítomnosti atmosféry, nebo vakua. Snahou ale bylo, aby šel analogový výstup připojit přímo na ADC mikroprocesoru.

## 2.1 Diferenciální zesilovač - TODO

## 2.2 Měření výstupu z ADC

Bylo zapotřebí vhodně zvolit odpovídající hodnoty ADC pro rozlišení jednotlivých detekovaných stavů. Proto byla provedena série měření. Předpokladem bylo, že nejhorská rozlišovací schopnost bude v případě trysky nejmenšího průměru (0,5mm), kde rozdíl v tlacích mezi stavů součástka přítomna/nepřítomna bude minimální. To se i potvrdilo, viz následující graf.

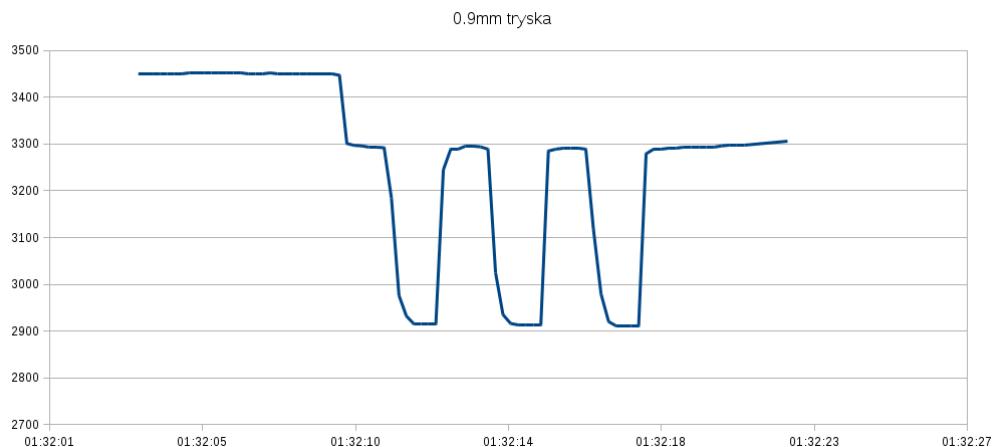


Obr. 2.6: 0,5mm tryska.

Rozdíl ve výstupu ADC mezi stavem součástka přítomna/nepřítomna je přibližně 100.

Jelikož osazovací automat má výměnné trysky, byl stejný test proveden i pro trysku o průměru 0,9mm. V tomto případě byl rozdíl mezi stavů součástka přítomna/nepřítomna mnohem markantnější – 400.

Rozlišovací hodnoty ADC pro jednotlivé stavů byly na základě měření stanoveny následovně. Atmosféra – 4096 až 3350 Součástka nepřítomna 3550 až 2950 Součástka přítomna 2950 až 0 Tyto hodnoty byly následně implementovány do řídícího SW.



Obr. 2.7: 0,9mm tryska.

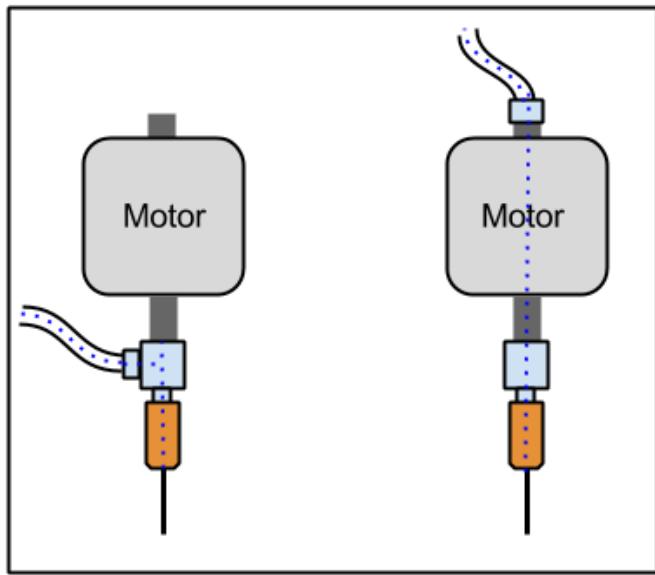
## 2.3 Vakuová pipeta a tryska

Sestava vakuové pipety musí být schopna pro vyzvednutí součástek motorizovaného pohybu v ose Z. Rozsah pohybu v ose Z je dán minimálně dvojnásobkem výšky nejvyšší osazované součástky. Dle tabulky XXX je maximální výška součástek pro 24mm pásku 11.9mm. Minimální rozsah osy tak vychází na 23.8mm. Dále je před osazením potřeba nasáté součástky na pipetě narotovat do požadované rotace. Proto musí být pipeta motorizovaná i v ose R. Oba tyto požadavky komplikují vedení vakuového potrubí.

Tryska Použití komerčně dostupné varianty trysek pro osazovací automaty nebylo pro svoji cenu a složitost adaptace uvažováno. Jako alternativa posloužily upravené injekční jehly k injekčním stříkačkám. Jehly jsou dostupné v širokém rozpětí průměrů, což je ideální pro možnost přizpůsobení velikosti trysky k dané osazované součástce. Samotnou jehlu bylo pootřeba vhodným způsobem připevnit ke hřídeli rotačního motoru. S tím také vyvstala otázka jak řešit připojení vakuového potrubí. Jedním z požadavků zadání diplomové práce byla možnost manuální výměny trysky/pipety. Bylo tedy zapotřebí vytvořit adaptér mezi jehlou a motorem, ke kterému se připojí vakuové potrubí.

Jak ale při praktických experimentech ukázalo, tak z hlediska využitelnosti obrazu je žádoucí mít při pohledu spodní kamerou okolo součástky uniformní pozadí. Řešení pomocí bočně připojeného potrubí tak bylo zavrženo. Namísto toho byl použit pro osu R motor s dutou hřídelí, která byla použita jako vakuové vedení. Toto řešení umožnilo získávat ze spodní kamery snímky s uniformním pozadím.

Vysoustružená mosazná redukce byla k hřídeli připevněna pomocí stavěcích šroubů a zatěsněna dvousložkovým lepidlem Torrseal, který je určen do aplikací vyžadujících vakuovou těnost. Jak zadání práce vyžadovalo, vznikla tak funkční sestava s možností

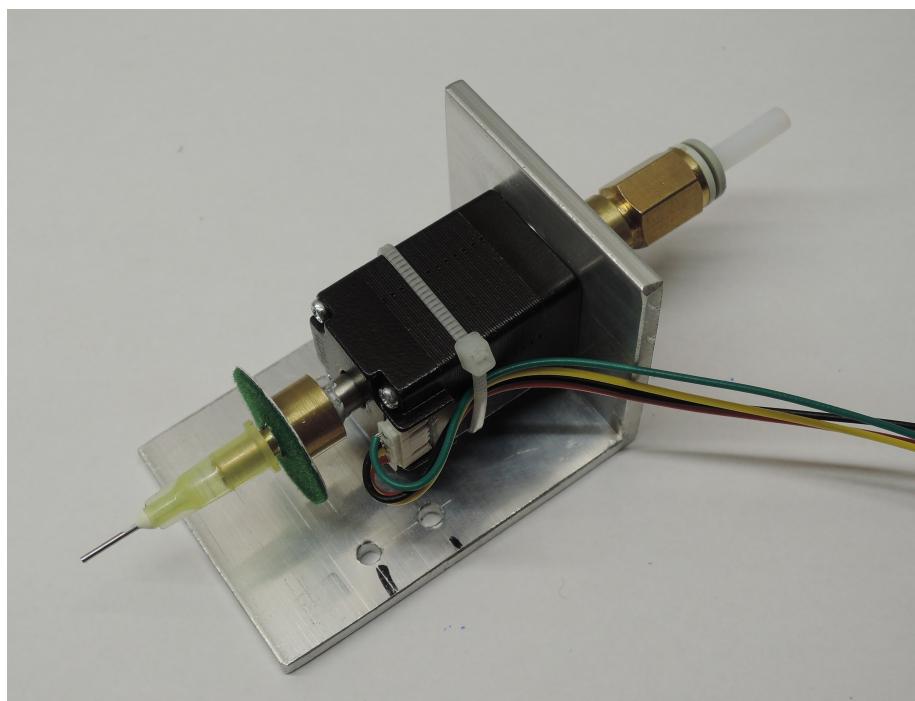


Obr. 2.8: Obrázek možných řešení vakuového vedení. Pro názornost byla modrým tečkováním naznačena cesta vakuového potrubí.

manuální výměny trysky.



Obr. 2.9: Ukázka použitého motoru Nema8 s dutou hřídelí.



Obr. 2.10: Detail vysoustružené redukce s nasazenou 0.9 mm tryskou.

### 3 CENTROVÁNÍ SOUČÁSTEK

Pro dosažení co nejvyšší osazovací přesnosti je zapotřebí přesně zaměřit a vycentrovat osazovanou DPS a stejně tak osazované součástky. K tomuto účelu byl automat vybaven dvěma CCD kamerami. Jedna umístěná na pohyblivém portálu s pohledem na součástky shora (dále horní kamera). Druhá kamera je umístěna staticky v pracovním prostoru a je s pohledem na spodní stranu součástek (dále spodní kamera). Horní kamera má za úkol zaměření osazované DPS a zaměření jednotlivých součástek v zásobnících. Hlavní funkcí spodní kamery je pak finální zcentrování již nasátych součástek na vakuové pipetě.

Alternativou k použití CCD kamer je laserové zaměřování. Pro zaměření DPS se využívá laserový kříž, se kterým se zaměří hrana desky. K centrování součástek se pak používá detektor pracující na principu laserové závory, který je umístěn přímo u pohyblivé osazovací hlavy. Oproti použití CCD kamer to má tedy výhodu, že součástka se může centrovat v mezičase kdy se pohybuje od zásobníku k cílové pozici. To u použití statické CCD kamery není možné a součástka tak musí putovat od zásobníku nad spodní kameru a až poté na cílové místo. S použitím laserového centrování tak lze dosáhnout vyšších osazovacích rychlostí. Další výhodou je schopnost detektovat tombstoning součástky případně její boční nasátí, s čímž si řešení na základě vyhodnocování obrazu ne vždy dokáže poradit. Navíc laserové sensory mají mnohem větší rozlišení než CCD sensory a dokáží tak spolehlivě centrovat i součástky o velikostech 01005. Například u námi použité spodní kamery vychází šířka součástky 01005 v obrazu pod XXX pixely. To v případě vyhodnocování obrazu z CCD kamery nestačí ani na vycentrování součástky, natož pro kompenzaci chyby rotace.

Tuhle pasáž je potřeba podložit referencí a obrázkem.

#### 3.1 Použité zobrazovací jednotky - CCD kamery

Jako horní kamera byla použita webkamera Genius s rozlišením 640x480 pixelů. Webkamery mají široké zorné pole, proto musel být její objektiv nahrazen za jiný s užším zorným polem. Nejfrequentovanější operací k čemu je obraz z kamery využíván je hledání 1mm kruhových obrazců (centrovací značky a děrování na páskách ze součástkami). Obraz z webkamery je tak sice slabé kvality s velkým obsahem šumu ale k danému účelu plně dostačující.

Pokud by se součástky centrovaly již horní kamerou, zanášely by se následující chyby: Házivost vakuové pipety – Pokud by pipeta byla vyosená zanášela by se chyba při rotaci součástky. Úskok součástky při nasávání na vakuovou pipetu – vlivem sání má součástka při nasávání tendenci k pohybu. Spodní kamera tak hráje

klíčovou roli ve výsledné přesnosti osazení součástky, protože součástka je již na pevně dané pozici na vakuové pipetě. Z toho důvodu je kvalita obrazu mnohem důležitější než u horní kamery. Experimentálně bylo použito stejné webkamery jako pro horní kameru. Při dané ohniskové vzdálenosti vycházela pro součástky o velikosti 0402 šířka hrany pouhý jeden pixel. Pro spolehlivou detekci hran a kontur součástek byla tak tato hodnota nedostačující. Z toho důvodu byla webkamera nahrazena průmyslovým řešením. A to průmyslovou CCD kamerou Neměcké výroby od firmy iDS Imaging Development Systems. Konkrétně typem USB 2 uEye LE. Kamera má excelentní rozlišení 5MPixelů, tzn rozlišení 2650x1920 a velice nízký šum. Bohužel tomu i odpovídala cena, která se pohybovala v řádech tisíců. Kamera byla v základu bez objektivu, ten musel být přikoupen dodatečně.

## 3.2 Vyhazování obrazu a redukce šumu

Ideálním vstupním obrázkem pro spolehlivé vyhodnocování obrazu je snímek bez jakéhokoliv šumu a s homogením osvětlením. To je ovšem v reálných pracovních podmínkách těžko realizovatelné. Proto je zapotřebí postprocesing každého snímku k odstranění všech negativních vlivů.

První operací po sejmutí obrázku z kamery je redukce šumu. Zjednodušeně se dá říci, že redukce šumu je prováděna rozmazáváním obrazu. To má však za následek i nežádoucí rozmazávání hran, které jsou pro rozpoznávání obrazu klíčové. Rozostření obrazu lze realizovat přímo pomocí čočky na kameře (změnou ohniskové vzdálenosti), tím ale zbytečně ztrácíme obrazovou informaci – hrany, které nám pak budou při vyhodnocování obrazu chybět. Lepší variantou je tak realizovat redukci šumu pomocí SW algoritmů na co nejostřejším obrázku. Tato strategie pak byla pro vyhodnocování obrazu použita. Na obrázku XXX1 je vidět originální snímek centrovací značky z horní kamery. Pro demonstraci je záměrně podbarvený aby vinikly všechny rušivé elementy. Na snímek byl pak aplikován vyhledávací algoritmus (popsaný v následující kapitole) jehož výsledek je vidět na obrázku XXX3. Je zcela evidentní, že vyhledávací algoritmus selhal a nenašel přesný střed centrovací značky. Na originální obrázek pak byly použity jednotlivé typy vyhazovacích filtrů a znova aplikován vyhledávací algoritmus.

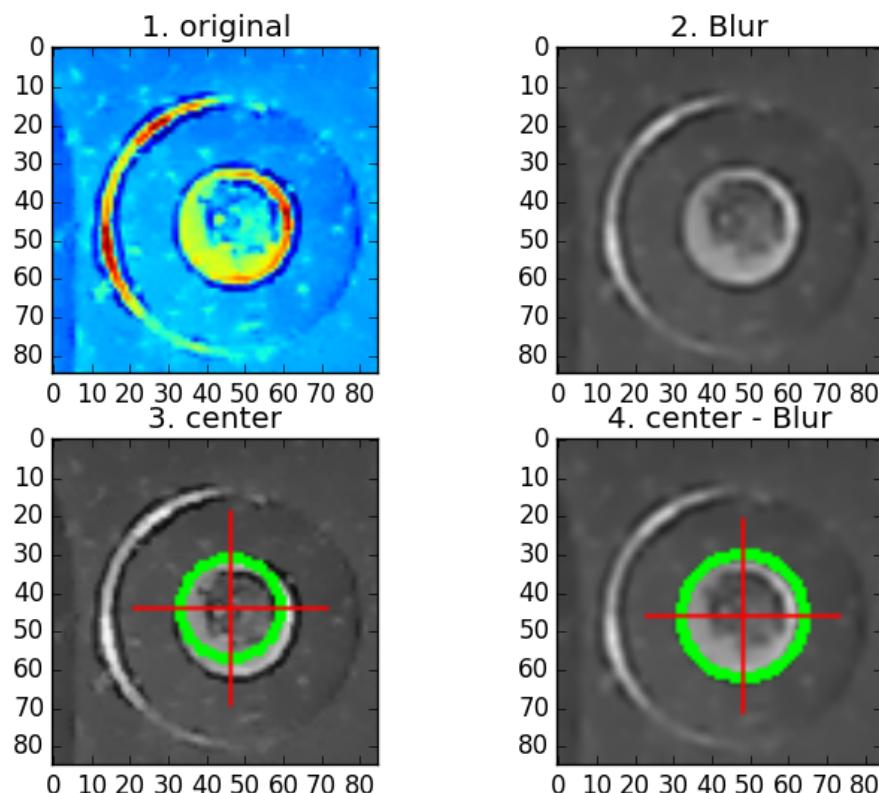
### 3.2.1 Vyhazovací filtr Blur

Je to základní lineární filtr. Vstupní snímek si můžem představit jako matici A o rozměrech  $j,k$ . V našem případě  $85 \times 85$  pixelů, kde každý pixel má přiřazenou svoji hodnotu. Dále si představme matici B, jinak nazývanou jádro o libovolném rozměru (v našem případě byla použita matice o rozměru  $3 \times 3$ ). Algoritmus Blur filtru pak pro

každý pixel vstupního obrázku vynásobí daný pixel a jeho okolí jádrem. Výsledná hodnota daného pixelu je pak průměrnou hodnotou všech pixelů z vzniklé matice. Velikost jádra ovlivňuje vlastnosti filtru. Pokud je jádro příliš malé, je filtrace obrazu minimální. Při rozměrném jádru pak zase dochází k úplné ztrátě jemných detailů. Je důležité zmínit, že výsledný snímek z filtru je zcela novou maticí. Hodnota daného pixelu a jeho okolí je totiž vždy brána z originálního snímku, který se tak v průběhu výpočtu nesmí měnit.

$$| 1 \ 1 \ 1 | \ B = | 1 \ 1 \ 1 | \ | 1 \ 1 \ 1 |$$

Tento základní princip slouží i pro jiné typy filtrů, stačí jen upravit matici jádra může vzniknout pro příklad hranový detektor, zvýrazňovač reliéfu atd.

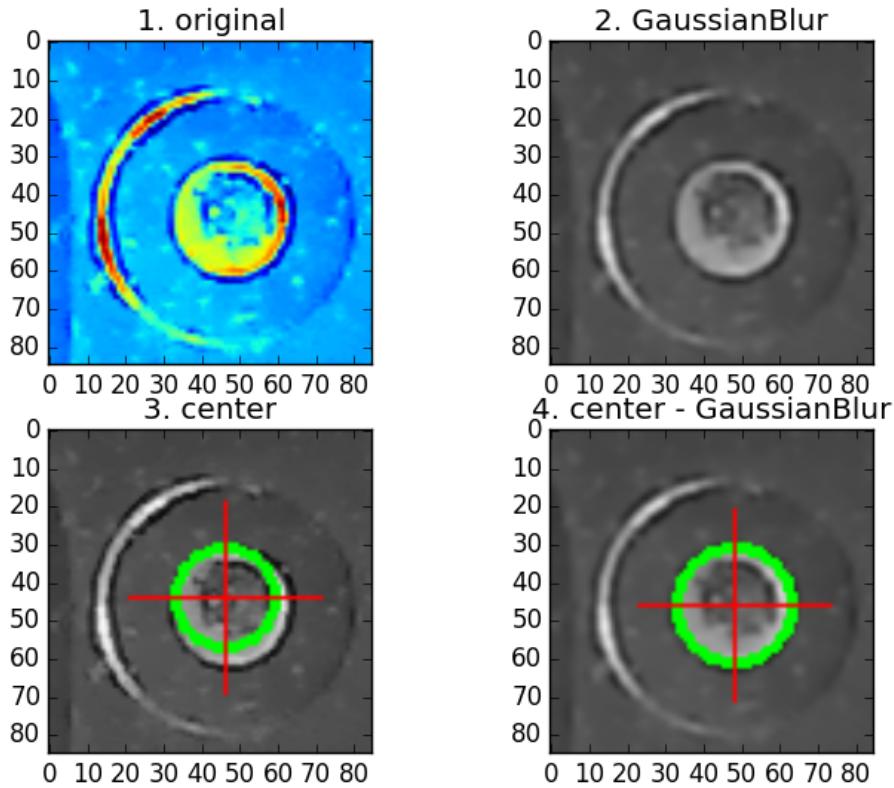


Obr. 3.1: Blur.

U obrázků je pro orientaci vždy uveden i souřadnicový systém v pixelech.

### 3.2.2 Vyhlažovací filtr Gaussian Blur

Pracuje podobně jako základní blur filtr s tím rozdílem, že nebere průměr všech pixelů ale jejich váhou danou Gausovým rozložením.



Obr. 3.2: Gaussian Blur.

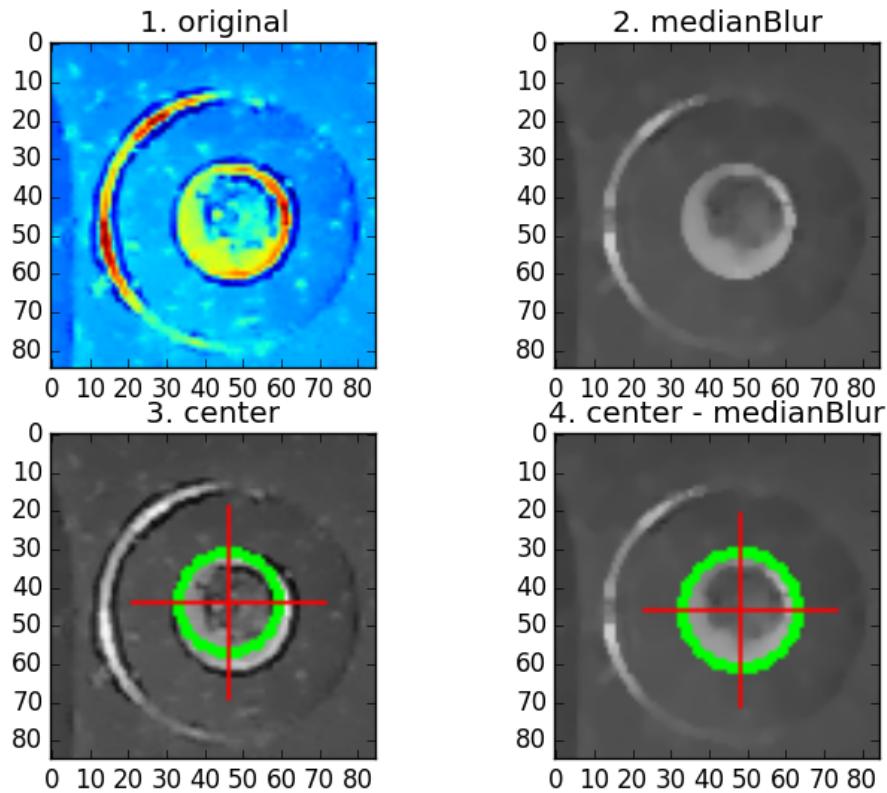
### 3.2.3 Vyhlažovací filtr Median Blur

Namísto průměru hodnot jako u základního Bluru bere medián těchto hodnot. Výhodou tohoto filtrování je, že zachovává hrany. Proto se také hojně používá pokud následující operace se snímkem má být hranová detekce.

### 3.2.4 Vyhlažovací Bileteral filtr

Filtr je principielt podobný jako Gaussian Blur. Navíc vyhodnocuje zda sousední pixely v dané oblasti mají přibližně stejnou intenzitu. U těch které nemají lze předpokládat že se jedná o hranu a takovéto pixely jsou ignorovány. Filtr tak dobře zachovává ve snímku hrany. To vše ale na úkor výpočetní náročnosti.

U všech čtyř vyhlažovacích algoritmů došlo po jejich použití k výraznému zpřesnění výsledku vyhledávacího algoritmu. Jak je z předchozích snímků patrné, nejhůře dopadal základní vyhlažovací filtr Blur. Zbývající algoritmy vykazovaly téměř shodných výsledků. Výsledná volba filtrování který byl použit v řídícím SW padla na Median Blur. A to jedna z důvodu nižší výpočetní náročnosti oproti bilateral filteru a také že oproti Gaussian blur zachovává lépe hrany. Základní blur filtr nebyl pro svou chybovost ani uvažován.



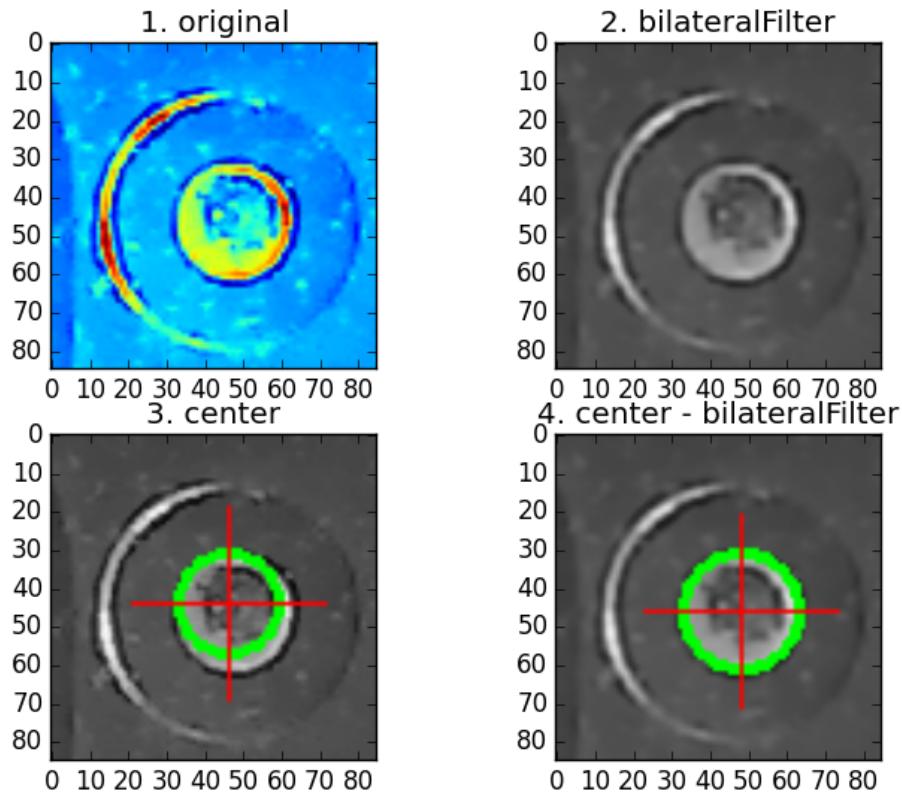
Obr. 3.3: Median Blur.

### 3.3 Centrovací značky a jejich detekce.

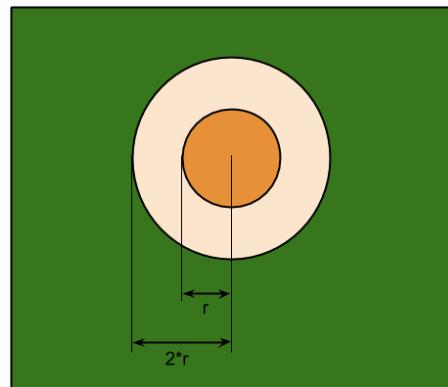
Naváděcí značky detailně popisuje IPC standard 73 51 konkrétně sekce 3.4.4. Naváděcí značky lze popsat jako geometrické obrazce sloužící k sesouhlasení souřadnicového systému při jednotlivých výrobních operacích. Rozlišují se tři základní druhy značek a to panelové, globál a lokální. Panelové slouží jako reference v případě že panel obsahuje více jednotlivých motivů DPS. Globální pak slouží k lokalizaci jednotlivých komponent na DPS. Poslední kategorií jsou lokální naváděcí značky pro přesné zaměření jednotlivých komponent, zpravidla integrovaných obvodů. Pro zaměření X a Y pozice DPS a její rotace stačí dvě naváděcí značky. Pro korekci nelineárního zkreslení je zapotřebí minimálně třech značek. Se třemi značkami je tak možné korigovat i chyby v měřítku. Značky by měly být umístěny co nejdál od sebe a tvořit pomyslný trojúhelník. Obrázek jednotlivých centrovacích značek.

Optimální vzhled centrovací značky by dle standardu by měla mít formu kruhu o průměru 1mm tvořeného mědí. Připouští se povrchová úprava a to ideálně OSP. Okolo kruhové oblasti tvořené mědí s poloměrem  $r$  je další kruhová plocha o poloměru  $2r$  a to bez mědi a nepájivé masky viz následující obrázek:

V případě vícevrstvých DPS je vyžadováno pod všemi centrovacími značkami



Obr. 3.4: Billateral filter.



Obr. 3.5: obrázek centrovacích značek + naznačení poloměrů.

stejné pozadí. Tzn se nedoporučuje vést ve vrstvě přímo pod centrovacími značkami vodivé cesty.

K detekci centrovacích značek je použit obraz z horní kamery. Vyhledat přesnou pozici centrovací značky lze pomocí vyhodnocování obrazu a to dvěma způsoby. Bud za pomocí referenční šablony a nebo pomocí detekce určitých rysů v obraze- zde kruhů. Metoda s použitím naučené šablony dosahuhje přesnějších výsledků, avšak není příliš univerzální. Při změně velikosti centrovací značky a nebo při změně barvy

nepájivé masky se její přesnost snižuje. Oproti tomu použití detekce rysů v obraze si dokáže spolehlivě poradit i s různou velikostí centrovacích značek. V našem případě se hledají kruhy a to za pomocí Houghovy transformace. Právě tato univerzální metoda byla použita do řídícího systému.

## 3.4 Houghova transformace a hledání kruhů v obraze.

Pomocí metod z předocizích kapitol jsme schopni vstupní snímky vyhodit spolehlivě z nich odstranit šum. Právě takto upravené snímky ve formě 8-bitových černobílých obrázků jsou vstupním parametrem Houghovy transformace pro hledání kruhů.

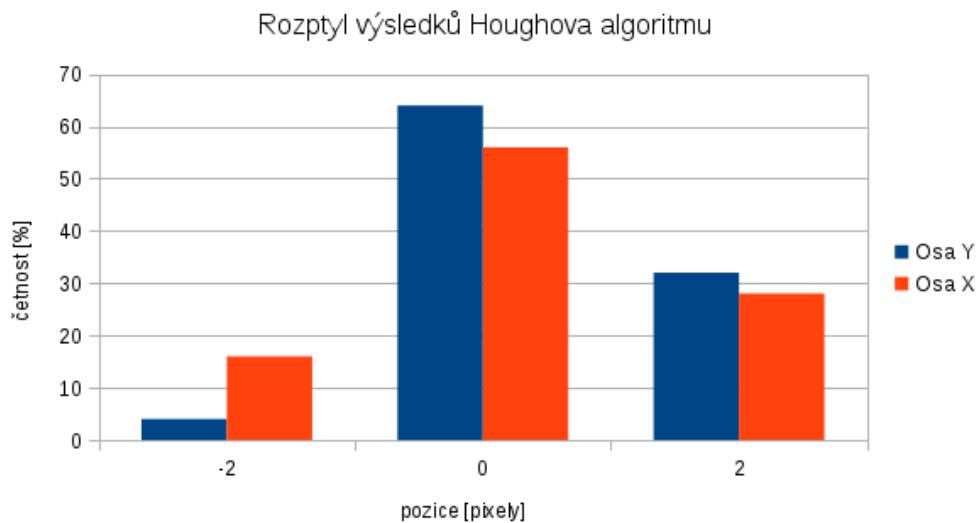
Houghova transformace je v OpenCV realizována funkcí HoughCircles(...). Výstupem je pak pole obsahující všechny nalezené kruhy uložené ve formě X, Y a rádius. Naším úkolem je v obrázku najít pouze jeden kruh, který odpovídá obrysu centrovací značky. Pro minimalizaci falešně pozitivních výsledků jsou všechny snímky z horní kamery automaticky ořezávány na velikost 85x85 pixelů. Tím se minimalizuje falešná detekce kupříkladu na prokovech DPS. I tak ale bylo zapotřebí naladit všechny parametry funkce HoughCircles pro spolehlivé výsledky. A to hlavně minRadisu, maxRadisu a minDist. Ze znalosti počtu pixelů na mm a průměru centrovací značky (1mm) byl vypočten rádius hledané centrovací značky v pixelech. Na základě toho byl pomocí parametru minRadisu a maxRadisu omezen rozsah velikostí hledaných kruhů, čímž se značně sníží počet falešných detekcí. Funkce ale vidí centrovací značku jako dva kruhy se společným středem. Proto byla parametrem minDist nastavena minimální vzdálenost mezi středy kruhů. Naladěním parametrů se podařilo dosáhnout, že funkce nachází pouze jeden středový kruh.

### 3.4.1 Spolehlivost detekčního algoritmu

Pro ověření spolehlivosti byl naprogramován skript, který porovnával výsledky ze sto po sobě jdoucích snímků z kamery. Skript tak vytvořil snímek z horní kamery, aplikoval medianblur filtr, ořízl orázek na rozměr 85x85 pixelů a na něj spustil Houghovu transformaci. Výsledky z měření jsou v následujícím grafu kde 0 na ose X znamená, že algoritmus našel přesný střed centrovací značky. Jak je patrné, maximální rozpětí a tedy i chyba byl 2 pixely. Což v přepočtu na mm znamená XXX mm.

### 3.4.2 Vliv osvětlení na detekci centrovacích značek.

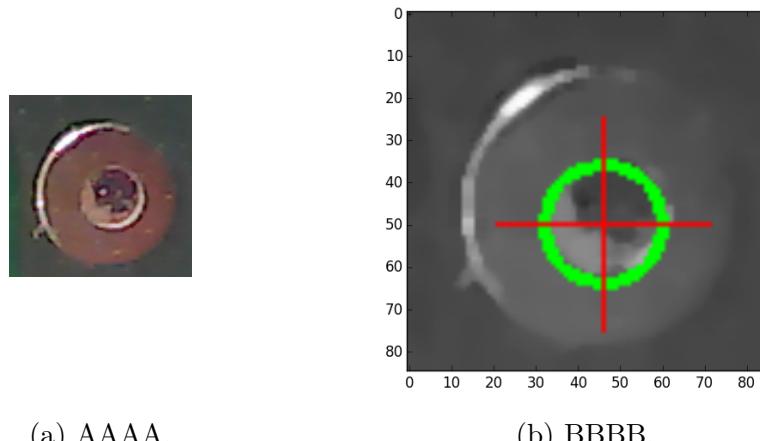
V průběhu testování se ukázalo, že světelné podmínky mají velký vliv na přesnost a spolehlivost detekce. Ideálních podmínek bylo dosaženo při eliminaci všech vnějších světelných zdrojů a přisvětlení pomocí LED diod.



Obr. 3.6: Rozptyl výsledku z detektoru centrovacích značek.

Napsat komentář k přesnostem.

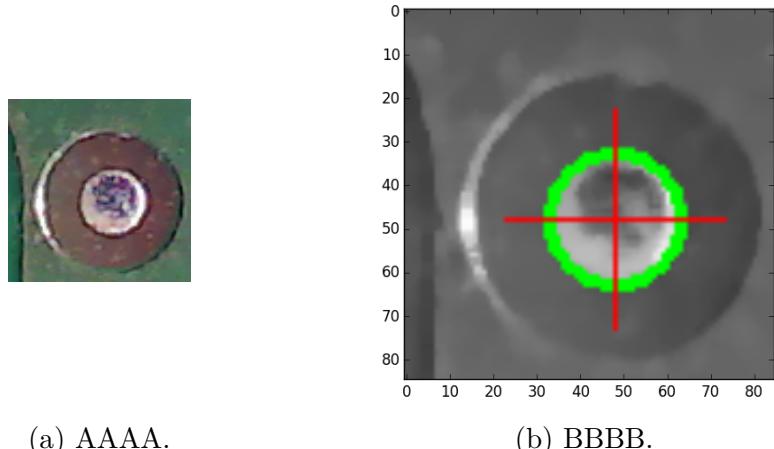
Ukázka vlivu osvětlení na detekci: Pro redukci šumu byl použit median filtr



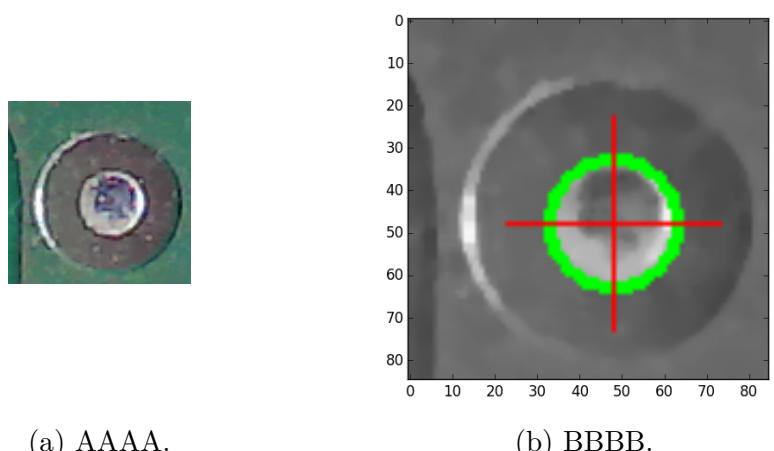
Obr. 3.7: Denní osvětlení.

### 3.5 Detekce součástek v zásobnících

Dalším úkolem který vyžaduje vyhodnocování obrazu je hledání jednotlivých součástek v zásobnících. Oproti centrovacím značkám je ale přístup k řešení odlišný. Na následujícím snímku z kamery je testovací 8mm pásek s kondenzátory o velikosti 0604. Na pásku jsou viditelné 4 pozice na součástky, z toho jen 3 jsou obsazeny. Součástka na pravo v pásku chybí.



Obr. 3.8: Tma, prisviceno XXX.

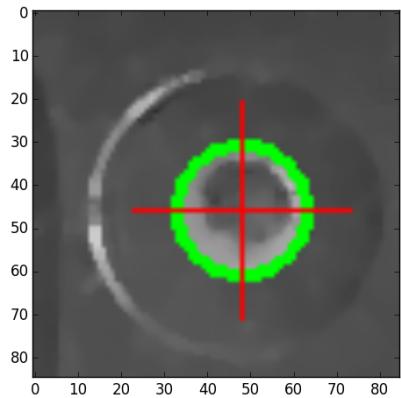


Obr. 3.9: Svetlo, prisviceno XXX.

Pásy mají standardizované rozměry, na základě kterých lze součástky v nich obsažené zaměřit. Dle velikosti jsou součástky umístěny v páskách o šířce od 8mm až do 32 mm. Tabulka XXX uvádí standardní rozměry pásek dle katalogu výrobce OnSemi. Námi použitý zásobník popsaný v kapitole XXX je statický, páška je v něm umístěna vždy paralelně ve směru osy X či Y. Pokud zaměříme střed první součástky v zásobníku a zároveň známe rozteč součástek P1, tak je snadné vypočítat pozici každé součástky. Bohužel kumulativní tolerance roztečí může dosáhnout až  $\pm 0,2\text{mm}$  na deseti součástkách. Což při padesáti součástkách dává maximální chybu až 1mm. Jak bylo prakticky zjistěno, tato chyba je v reálných podmínkách zanedbatelná. Toto řešení je tak pro navrhnutý statický zásobník plně použitelné. Nevýhodou ovšem je, že je zaměřena jen první součástka a pozice dalších je již vypočítána bez použití kamery. Nelze tak detektovat chybějící součástky v zásob-

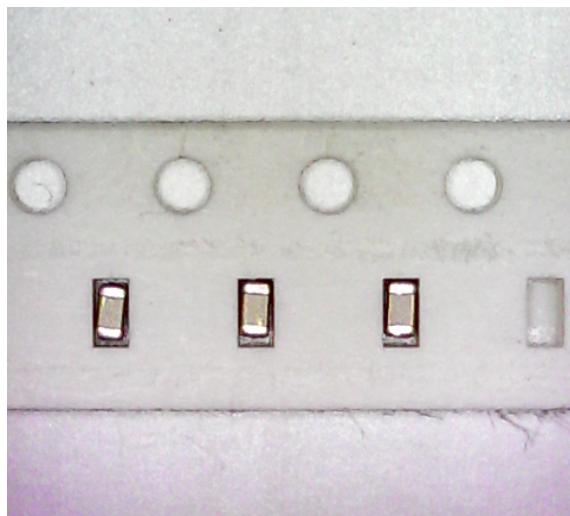


(a) AAAA.



(b) BBBB.

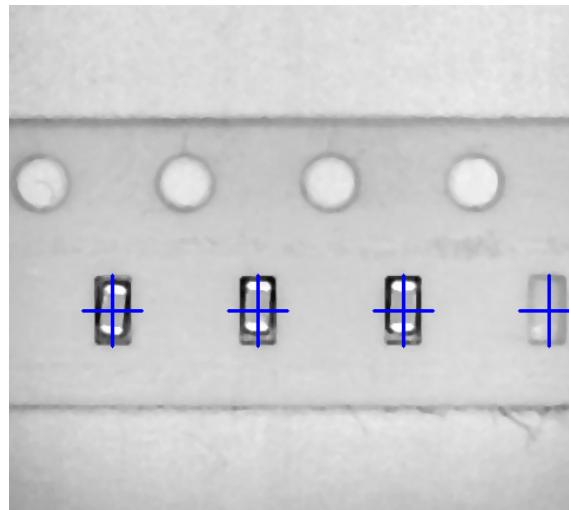
Obr. 3.10: stropní světlo XXX.



Obr. 3.11: Páska.

níku viz následující obrázek. Zaměřena byla součástka po levé straně a ostatní byly dopočítány včetně čtvrté chybějící. Další nevýhodou je, že zásobník nemusí být umístěn ideálně paralelně s osou a i po přesném zaměření první součástky může u posledních součástek na druhé straně pásky najíždět vakuová pipeta mimo součástky. Na druhou stranu toto řešení zvyšuje osazovací rychlosť, protože nad každou součástku nemusí najíždět kamera.

Každá pásek má po straně děrování, které v profesionálních osazovacích automat-ech slouží k motorizovanému posunu pásky. V našem zásobníku je ale pásek umístěna staticky bez možnosti posunu. Děrování má standardní rozteč  $P_0 = 4\text{mm}$  a můžeme tak být použito jako reference. Při použití Houghova algoritmu jako na centrovacích značkách tak lze detektovat přesnou pozici děrování. Při identifikaci každé díry jako



Obr. 3.12: Páska - základní detekce.

reference k přesné pozici součástky lze eliminovat chybu rotace pásky popsanou v předchozí mětodě.

### 3.6 Detekce za pomocí předlohy

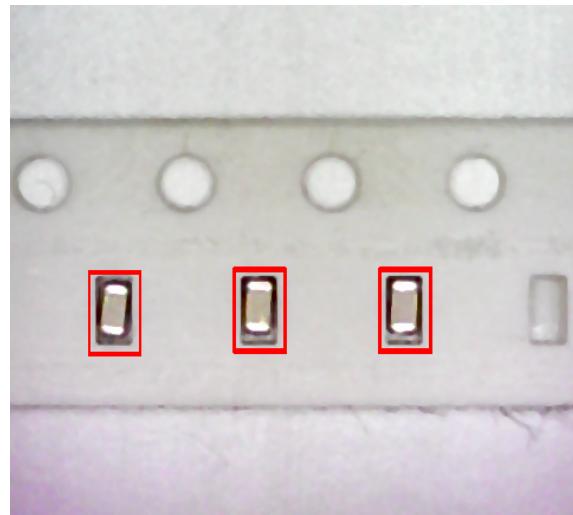
Součástky lze zaměřovat také na základě referenční předlohy/šablony. Ke každému typu součástky je nutné vytvořit vlastní předlohu viz následující obrázek.



Obr. 3.13: Šablona pro detekci.

Tato předloha je pak aplikována na snímek z kamery a hledá se shoda. Touto metodou je možné detektovat i chybějící součástky v zásobníku. Na obrázku XXX je vidět, že detekce za pomocí předlohy správně identifikovala pozice prvních tří součástek a čtvrtou chybějící správně neidentifikovala.

Rozměry součástek jsou vždy o něco menší než rozměry slotů, ve kterých jsou umístěny. Součástky mají tak ve slotech určitý rozptyl. Z hlediska správného nasáti součástky je žádoucí, aby pipeta nasála součástku vždy v jejím středu. Vhodnou volbou předlohy lze najít i přesnější pozici součástky ve slotu. Pro demonstraci byla použita jiná šablona, která už neobsahuje celý slot, ale jen danou součástku.

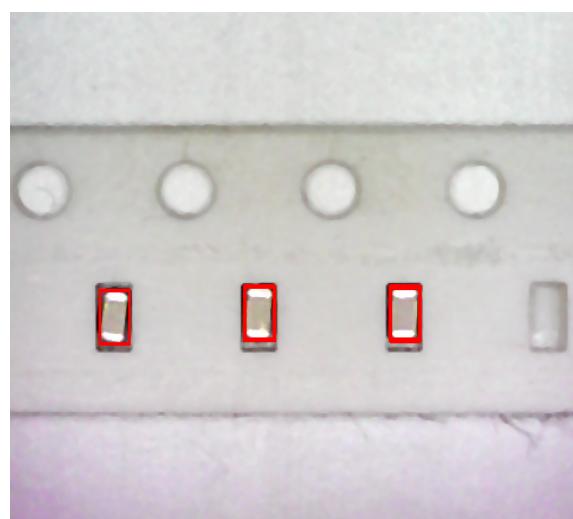


Obr. 3.14: Detekce XXXXX.



Obr. 3.15: Šblona pro detekci2.

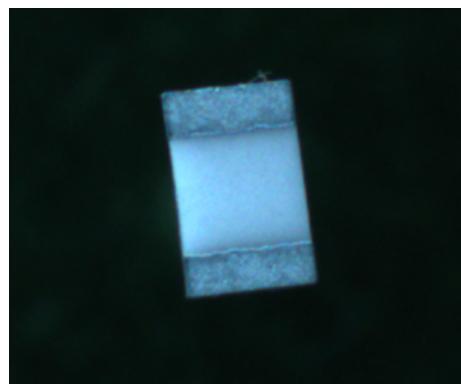
Jak je vidět, tak nyní jsou již detekovány přesné pozice součástek a ne pozice jednotlivých slotů. To pak umožní nasátí součástky na střed vakuové pipety a zvýšení výsledné přesnosti osazování. Tedy za poředpokladu, že se nepoužije spodní centovací kamera.



Obr. 3.16: Detekce XXXXX.

### 3.7 Centrování součástek spodní kamerou

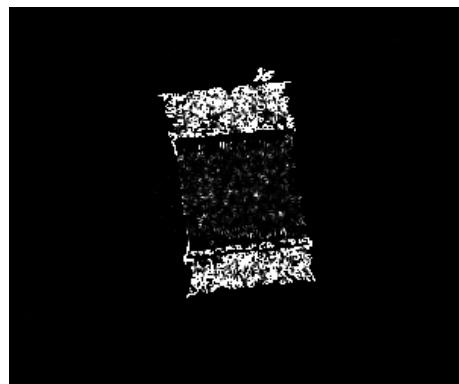
Největší přesnost osazování se dá dosáhnout po korekci pocice součástky již nasáté na trysce. K tomu je potřeba spodní pohled na součástku. Opět jsou zde možné dvě strategie k vyhodnocování obrazu. A to založené na porovnávání obrazu s referenční šablonou a nebo hledání pomocí specifických rYSů v obraze. Jak bylo uvedeno v kapitole 3.6, tak metoda za použití šablony je přesnější. Oproti hledání součástek v zásobnících potřebujeme ovšem korigovat i rotaci součástky. Bohužel to je za pomocí šablony výpočetně velice náročná operace. Je potřeba hledat korelaci mezi obrázky pro každý stupeň rotace zvlášť a poté vybrat největší shodu. Pokud bychom počítali s teoretickou rotací součástky mezi 0-360 DEG, a hledali bychom s přesností na 10 minut, dostáváme se na číslo 2160. Což je oproti řešení bez korekce rotace značný rozdíl.



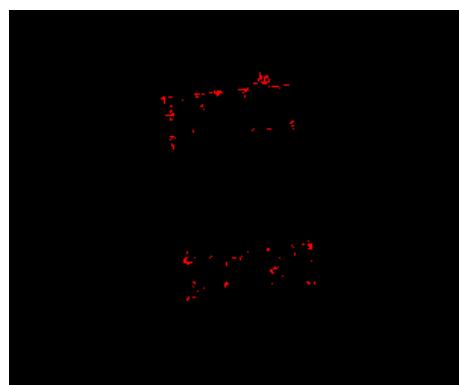
Obr. 3.17: Vis0.

Z tohoto důvodu byla šablonová metoda zavržena a byla realizována detekce pomocí rYSů v obraze. Na obrázku 3.17 je snímek rezistoru o velikosti 0806 ze spodní kamery. Jak je vidět, je zaostřeno na součástku a pozadí je rozostřené. Právě na tom byla detekce založena. Nejprve bylo zapotřebí najít všechny rohy, tedy rYSy s hrancou o úhlu 90 STUPŇU. K tomuto účelu byl použit Harris rohový detektor, jehož výstup je na obrázku 3.18

Dle předpokladu bylo detekováno největší množství rohů v zaostřené části. Dle odstínu sedí jsou odstupňovány rohy podle stupně nejistoty. U bílých pixelů se jedná s největší pravděpodobností o rohy, kdežto šedá směrem k černé značí rohy nalezené s nejmenší jistotou. Z obrázku to sice není patrné, ale v rozostřené oblasti bylo i tak detekováno značné množství rohů. Proto před dalším zpracováním musel být na výstup aplikován práh, který odfiltruje detekované rohy s nejistotou. Jako spolehlivé se ukázalo nastavení prahové hodnoty na 99.5 procenta shody. Výstup je na obrázku 3.19

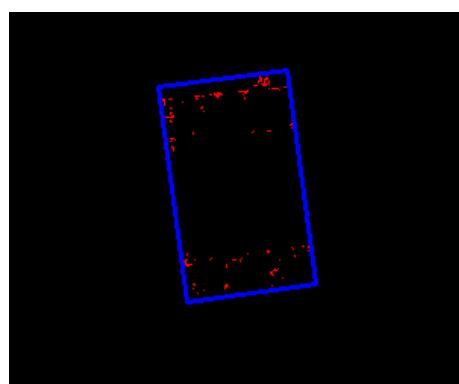


Obr. 3.18: Vis0.



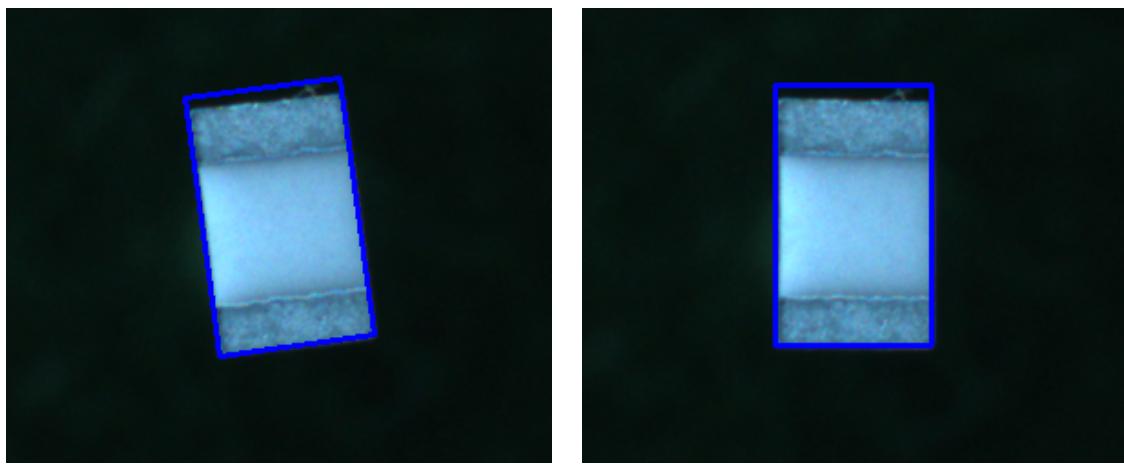
Obr. 3.19: Vis2.

V tuto chvíli již máme pole rohů, které z velké části odpovídají obrysům součástky. Nezbývá tedy než najít geometrický střed součástky a její rotaci. Pro tuto operaci disponuje OpenCV metodou boundingRectangle, která obklopí pole bodů nejmenším možným obdélníkem. Tím již získáme rohové souřadnice hledaného rezistoru. Z nich pak vypočítáme rotaci a geometrický střed součástky.



Obr. 3.20: Vis3.

### 3.8 výsledky

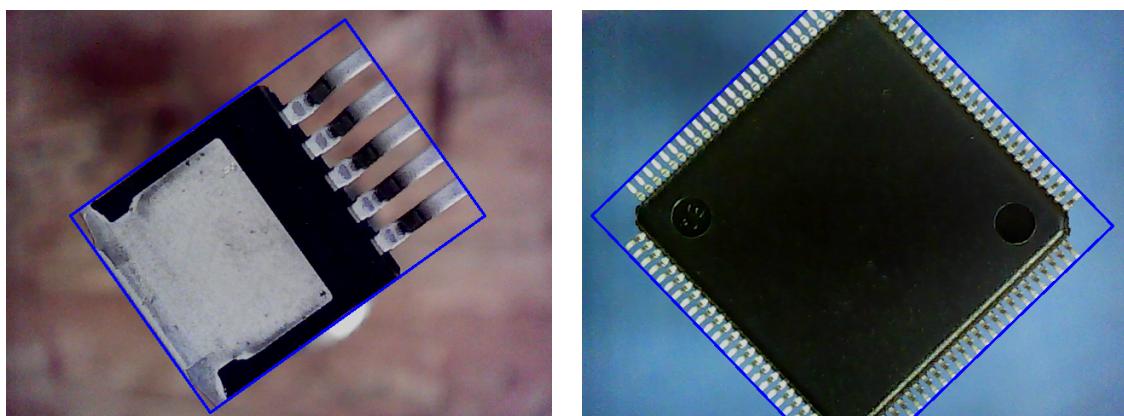


(a) AAAA, rotace: -7,46°.

(b) BBBB, rotace: 0,0°.

Obr. 3.21: Rezistor o velikosti 0806 před a po korekci rotace.

Výsledný algoritmus spolehlivě i detekuje i jiné druhy pouzder.



(a) D2-pak, rotace: -35,53°.

(b) LQFP100, rotace: -43,94°.

Obr. 3.22: Ukázka algoritmu na pouzdrech D2-pak a LQFP100.

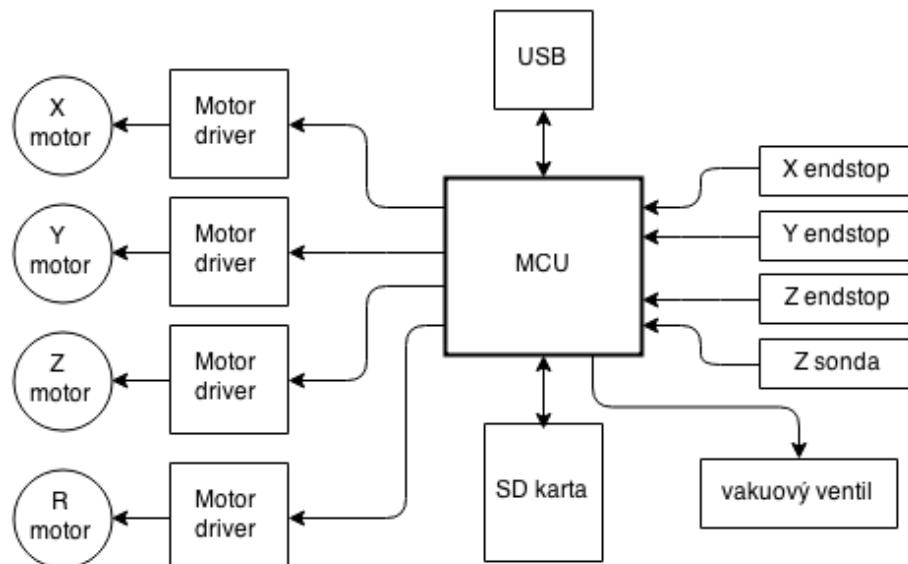
## 4 ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA

Řídící elektronika osazovacího automatu má za úkol obstarávat následující funkce:

- komunikace s počítačem přes USB rozhraní
- řízení motorů pro osy X, Y, Z, R (rotace)
- řízení a měření vakua

Elektronika je založena na mikrokontroléru LPC1769 od firmy NXP. Je to moderní 32-bitový mikrokontrolér bežící na frekvenci 120 MHz s celou řadou integrovaných funkcí jako USB, ADC, DAC, UART a další. Jádrem mikrokontroléru je ARM® Cortex® M3.

Mikrokontrolér komunikuje s řídícím SW přes USB rozhraní. Obstarává veškerou režii řízení krovkových motorů a zároveň řídí všechny vstupně výstupní periferie. Blokový diagram je znázorněn na obrázku 4.1, jednotlivé bloky jsou pak popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 4.1: Diagram řídící elektroniky.

### 4.1 Firmware

Firmware slouží jako mezičlánek mezi PC a hardwarem osazovacího automatu. Příjmá příkazy od řídícího SW a ty pak vykonává.

Ověřeným standardem pro instruování CNC strojů jsou tzv G-kódy. Programovací jazyk G, specifikovaný pod standardem RS274D umožňuje pomocí jednoduchých instrukcí řízení celého stroje. Bohužel standard RS274D ale není striktně dodržován

a výrobci CNC strojů a řídících kontrolérů si upravují a vytváří vlastní specifické G-kódy.

Struktura G-kódu je následující: **G<číslo> <parametry>**.

Pomocí **G<číslo>** se rozlišuje o jaký příkaz se jedná a **<parametry>** jsou vstupní parametry příkazu. Jako ukázka poslouží kód na pohyb v osách **G0**, ten bere parametry název osy a cílovou pozici osy.

**G0 X-10.3 Z12**

Parametry X-10.3 a Z12 tedy udávají, jaké osy a kam se mají pohnout. Není však specifikováno, jestli se jedná o absolutní, nebo relativní pohyb. K tomu slouží příkazy **G90** (absolutní) a **G91**(relativní) pohyb. Všechny příkazy jsou vykonávány v posloupnosti tak, jak je mikrokontrolér obdrží. Následující posloupnost příkazů tedy nastaví stroj z počáteční pozice na pozici X0, Y10, Z0,4, poté provede relativní pohyb X5, Z2. Výsledná pozice stroje je tedy X5, Y12, Z0,4.

```
G90  
G0 X0 Y10 Z=0.4  
G91  
G0 X5 Z2
```

Obdobou G příkazů jsou M příkazy, které slouží na vykonávání příkazů přímo nesuvisejících s pohybem stroje. Pro příklad příkaz **M42** slouží ke spínání vakuového ventilu.

Z důvodu komplexnosti celé diplomové práce by bylo napsání kvalitního firmware příliš časově náročné. Proto byl jako základ použit firmware Smoothie od autora Arthura Wolfa napsaný v programovacím jazyku C++. Pro uzpůsobení firmware pro osazovací automat bylo potřeba provést celou řadu úprav. Ne všechny požadované funkce byly totiž ve firmware dostupné. Chyběla hlavně podpora tlakového senzoru. Zajímavou funkcí firmware je možnost jeho konfigurace přes textový soubor uložený na SD kartě. Ke každému pinu mikrokontroléru lze v konfiguračním souboru přiřadit libovolnou funkci. Jako ukázka je uvedena konfigurace motoru k ose X. K pinu 0 na portu 2 mikrokontroléru byl přiřazen signál step (krok) motoru. Ovládání směru otáčení je na pinu 5 port 0, kde vykříčník znamená invertování směru otáčení. K portu 1 pinu 4 je nakonec přiřazen signál enable, který aktivuje motor.

```
alpha_step_pin 2.0  
alpha_dir_pin 0.5!  
alpha_en_pin 1.4
```

Protože firmware čte konfigurační soubor z SD karty, bylo zapotřebí ošetřit možnost zapnutí řídící elektroniky bez zasunute karty. Pokud by taková situace

nastala, jednotlivé piny by byly v nedefinovaném stavu a mohlo by dojít k poškození osazovacího automatu. Proto byla ve firmware ke každnému použitému pinu přiřazena defaultní hodnota. Tato hodnota se dá později pomocí konfiguračního souboru změnit.

Kompletní firmware s doprogramovanými funkcemi lze najít v příloze C. Jedná se již o zkompilovaný firmware ve formátu .bin Z důvodu nadměrné velikosti nejsou zdrojové soubory součástí přílohy. Aktuální verzi zdrojových kódů modifikovaného firmware je ale možné získat přes internet za pomocí programu GIT příkazem:

```
git clone https://github.com/Hyna/Smoothieware.git
```

## 4.2 Krokové motory a jejich drivery

Horní a spodní kamera se připojuje přes USB rozhraní přímo do počítače nezávisle.

Jelikož je osazovací automat koncipován spíše na prototypovou výrobu, případně na první sérii DPS, není rychlosť osazování kritická. I přesto byl ale kladen důraz na dosažení co největší osazovací rychlosti.

Jako vhodný typ motorů připadaly v úvahu krokové motory a servo motory. Servo motory byly lepší volbou pro svůj velký kroutící moment a uzavřenou smyčku řízení. Oproti krovkovým motorům jsou ale náročnější na řízení a mají vyšší cenu. Volba tak padla na krovkové motory u kterých je řízení jednodušší. Za použití driveru je lze ovládat jen pomocí signálu Krok a Směr (STEP a DIRECTION). Řízení je pak otevřenou smyčkou, krovkový motor nemá žádnou zpětnou vazbu.

Může řídit jen zátěž, která je v rozsahu na kterou byl dimenzován. V opačném případě dochází ke ztrátě kroku a tím i pozice.

U krovkového motoru se vztýkají rychlostí rotace klesá kroutící moment. Od jakých otáček dochází k poklesu je ale zavislé na napájecím napětí. To je názorně vidět na momentové charakteristice pro motor SX17-1005LQEF od české firmy Microcon. Právě tento motor byl do konstrukce použit.

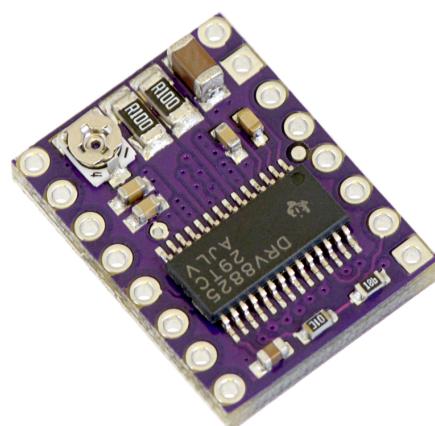
Tab. 4.1: Katalogové parametry motoru SX17-1005LQEF

Statický moment [Nm]	Příruba	Jmenovitý proud [A]	Krok [°]
0,51	Nema 17	1,0	1.8

Konečná volba napájecího napětí byla dána s ohledem na vakuové ventily. Ty potřebují pro spolehlivý provoz napájení 24V, viz kapitola Vakuum. Celé zařízení

tedy bude používat jednotné napájení 24V, aby odpadla nutnost mít dva různé napájecí zdroje.

Pro řízení motorů byl použit Pololu driver s integrovaným obvodem DRV8825 od Texas instruments. Driver je schopný bez aktivního chlazení do motoru dodávat až 1.5A při napájecím napětí do 45V. Plně tak vyhovuje pro použití s vybraným typem motoru SX17-1005. Navíc disponuje variabilně nastavitelným mikrokrokováním os 1/2 až do 1/32. Zvolený motor má krok 1.8° což odpovídá 200 krokům na otáčku. Na volbě mikrokroků tak bude záviset teoretická přesnost pozicování.



Obr. 4.2: DRV8825.

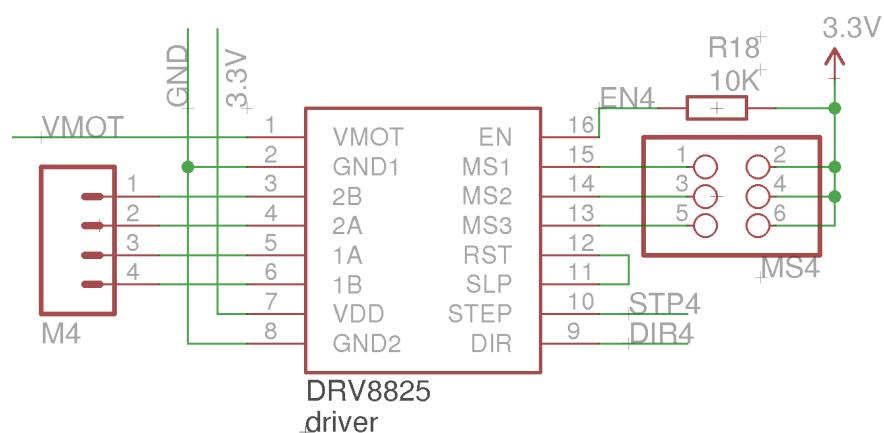
Jednoduchým výpočtem pak zjistíme, kolik kroků bude potřeba pro pohyb dané osy na jeden mm a teoretickou přesnost pozicování. Parametr kroky/mm je později použit na kalibraci os.

Použitý řemen GT2 má rozteč 2mm a řemenice má 20 zubů – viz kapitola o mechanické konstrukci. Krok na mm = (kroků na otáčku \* mikrokroky) / (rozteč zubů řemenu \* počet zubů řemenice) přesnost pozicování se pak vypočte jako převrácená hodnota počtu kroků na mm.

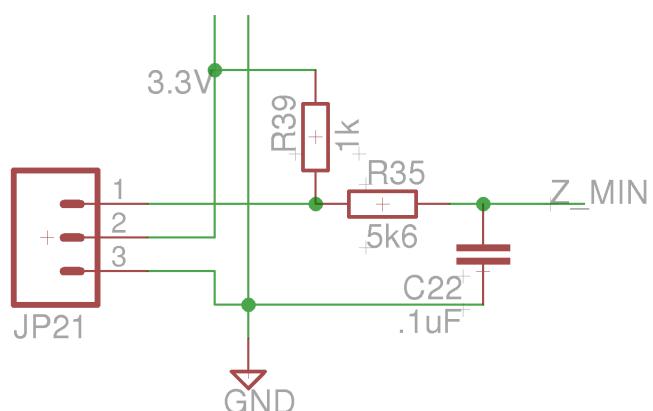
Jak vyplývá z tabulky, pro režim mikrokrokování 1/32 vychází teoretická přesnost 6,25 um. Co nejpřesnější pozicování je při osazování součástek žádoucí, proto byl driver nakonfigurován do tohoto režimu pomocí jumperů na konektoru MS4. Pro režim 1/32 se signály MS1, MS2 a MS3 připojují na Log 1. Driver je ovládán signály EN – aktivace driveru, STEP - krok a DIR – směr přímo z procesoru. Konektor M4 pak slouží pro připojení krokového motoru. Význam a konfiguraci dalších pinů driveru lze najít v datasheetu.

Tab. 4.2: Mikrokrokování

Mikrokrokování	Kroků na mm	Přesnost pozicování [um]
1 – celý krok	5	200
1/2	10	100
1/4	20	50
1/8	40	25
1/16	80	12,5
1/32	160	<b>6,25</b>



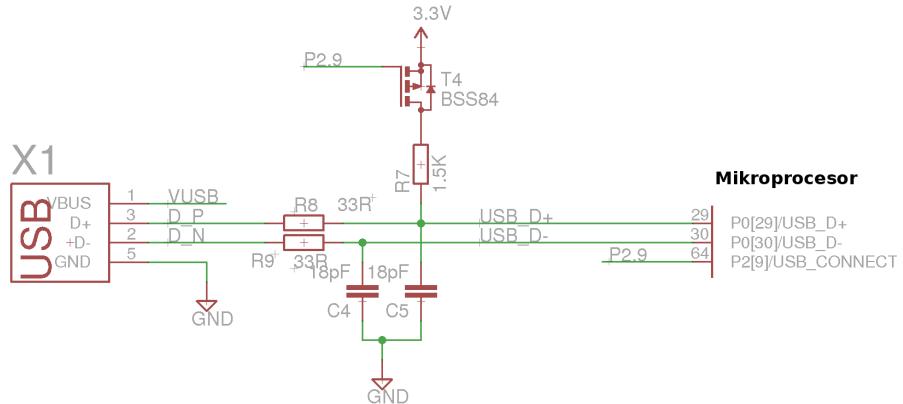
Obr. 4.3: DRV8825.



Obr. 4.4: Koncové dorazy.

## 4.3 USB a elektromagnetická kompatibilita

Mikrokontrolér disponuje nativní podporu USB protokolu verze 2.0, nebylo tak nutno žádných externích převodníků. Zapojení vychází z katalogového doporučení od výrobce mikrokontroléru. Odpory R8 a R9 na impedanční přizpůsobení, kondenzátory C4 a C5 na potlačení rušivých vysokofrekvenčních sgnálů.



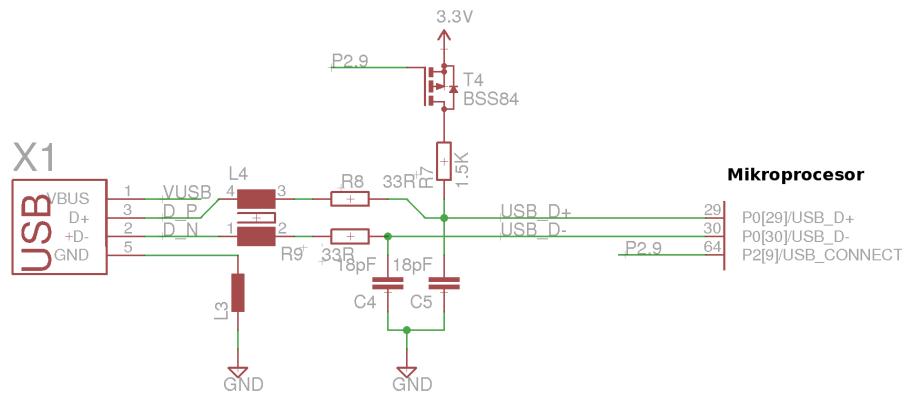
Obr. 4.5: Zapojení USB.

Na následujícím obrázku je vidět původní zapojení prototypu řídící elektroniky. Jak bylo řečeno, vychází z doporučeného zapojení od výrobce a bylo navíc doplněno o kondenzátory C4 a C5 pro potlačení rušení dle [2]. V průběhu testování a psaní řídícího SW se ale bez zjevné příčiny stávalo, že došlo k přerušení komunikace s mikrokontrolérem. První podezření bylo na zamrzající (je to spisovný?) firmware mikrokontroléru a jeho reset. Pro ověření této doménky byl k desce připojen externí převodník USB na sériové rozhraní. Po zamrznutí USB rozhraní se ale dalo stále připojit externím převodníkem a komunikovat s mikrokontrolérem. Problém tedy byl jen se samotným nativním USB rozhraním. První podezření na elektromagnetickou kompatibilitu nastalo až při zapojování vakuové pumpy do rozvodné sítě. Deska reprodukovatelně přestávala komunikovat přes USB rozhraní. Měřením na osciloskopu se neprokázalo, že by se rušení šířilo vedením – napájecími kably. Jednalo se tedy o rušení indukované. Za použití nacvakávacích feritů byl identifikován jako hlavní zdroj rušení USB kabel. Při používání feritů je důležité umistovat je co nejbližše koncům kabelů. Použitý propojovací USB kabel byl značky Goobay od Německého dodavatele a disponoval značkou CE. Rovněž použití jiných USB kabelů nepřinášelo bez feritu žádné zlepšení.

- [ 19328.017144] hub 6-3:1.0: port 7 disabled by hub (EMI?), re-enabling...
- [ 19328.380201] usb 6-3.7: USB disconnect, address 4

Pro potlačení elektromagnetické susceptibility byl obvod upraven do následující podoby. Na signálových vodičích D+ a D- byl doplněn o tzv common mode

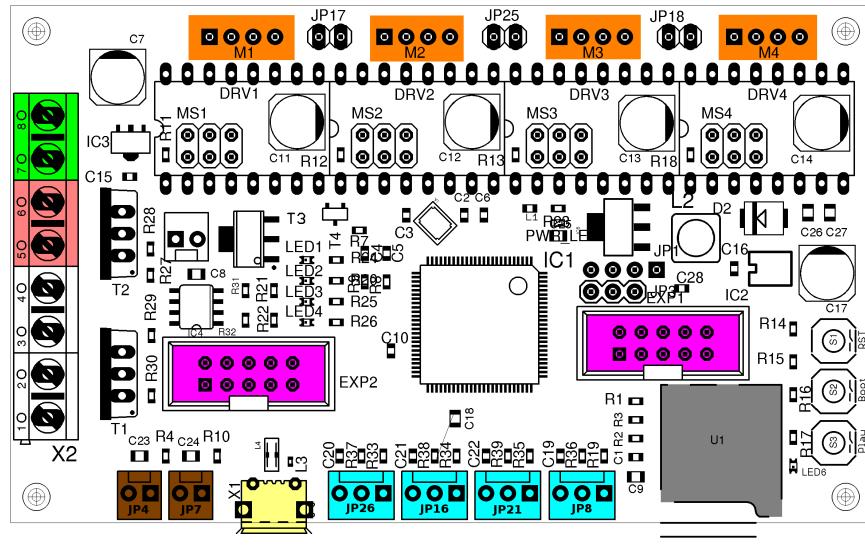
filt 744232161 od WURTH ELEKTRONIK (USB signál je diferenciální). Rovněž signálová zem USB konektoru byla připojena přes ferit. Po této úpravě začal být obvod plně spolehlivý.



Obr. 4.6: Zapojení USB.

V této kapitole byly vyzdvíženy jen nejdůležitější části obvodu, celé schéma zapojení je pak možné najít v příloze A

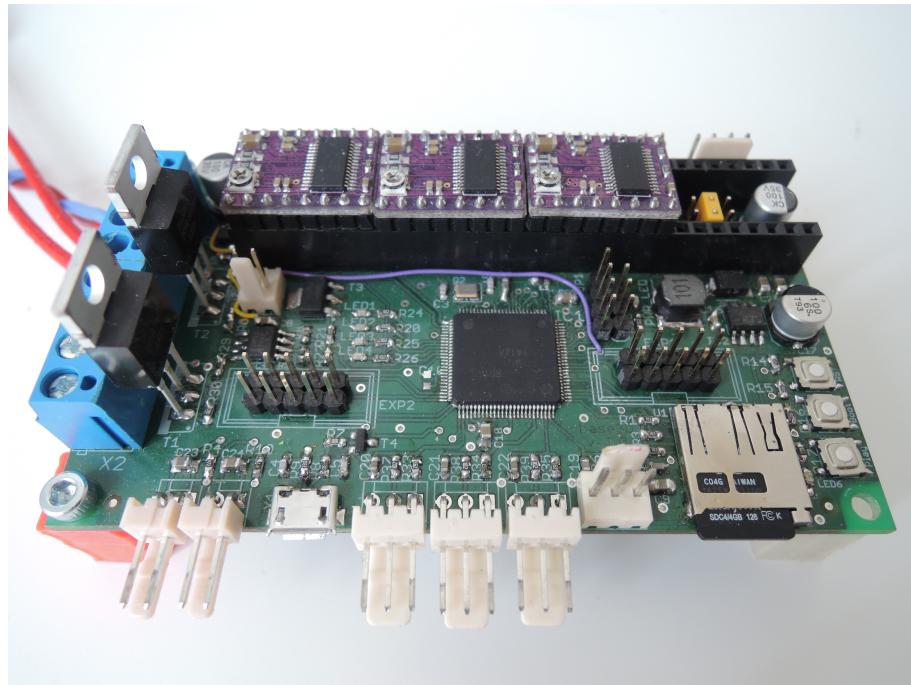
#### 4.4 Zapojení konektorů



Obr. 4.7: Zapojení konektorů.

Tab. 4.3: Zapojení konektorů.

Barva	Reference	Význam
-	M1, M2, M3, M4	Motory X, Y, Z a R
-	U1	SD karta
-	X1	USB konektor pro propojení s PC
-	X2-7, X2-8	Napájení +24V
-	X2-5, X2-6	Ventil pro řízení vakua
-	EXP1, EXP2	Konektory pro připojení externího displaye
-	JP4, JP7	ADC pro měření úrovně vakua



Obr. 4.8: Osazená řídící elektronika ve verzi 1.0.

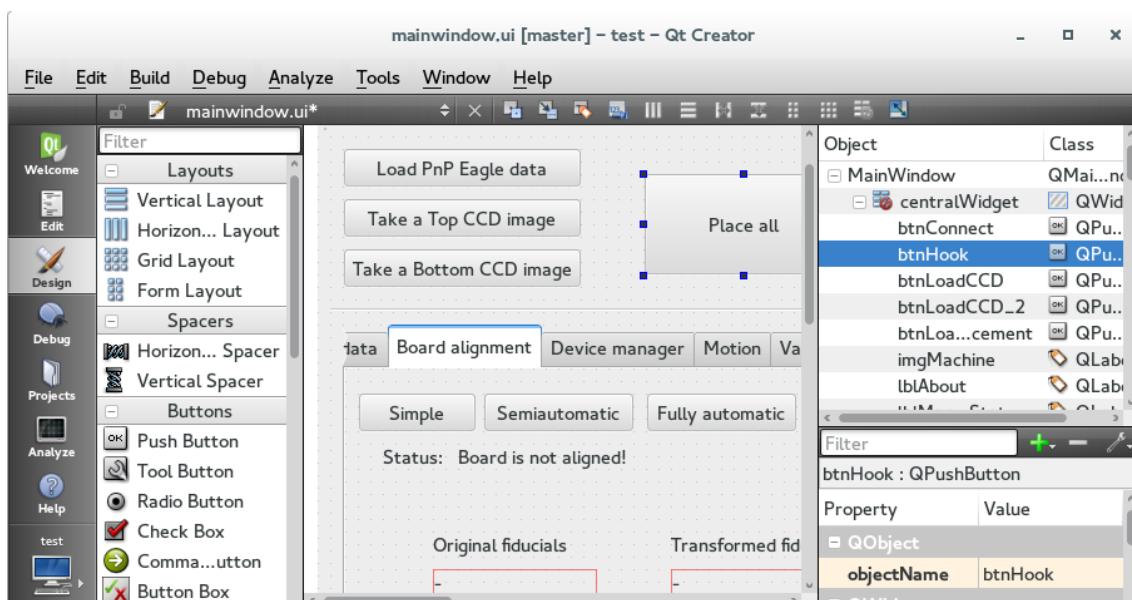
## 5 ŘÍDÍCÍ SW

Řídící software pro osazovací automat byla nejtěžší část celého projektu. SW spojuje jednotlivé části popsané v předcházejících kapitolách do jednoho celku.

Jeden z hlavních požadavků na řídící SW byla jeho platformová nezávislost. Tedy možnost spuštění aplikace jak na operačním systému Linux, tak i na Windows. Protože aplikace má grafické rozhraní, zúžil se výběr mnoha známých programovacích jazyků na C/C++, Java, Delphi a Python. Byl vybrán právě poslední zmíněný Python, jelikož má velice dobrou dokumentaci a nástroje pro tvorbu GUI jsou uživatelsky přívětivé. Tato kombinace slibovala rychlý prototyping SW a naději na funkční SW. Pro tvorbu GUI padla volba na PyQt.

V aplikaci je kvůli centrování součástek a desek potřebné i vyhodnocování obrazu. Jako základ byla použita hojně používaná knihovna OpenCV. Ta nabízí set základních funkcí pro manipulaci s obrazem. Implementované funkce jako rozostření, hledání hran, kontur a kruhů zjednoduší úlohu rozpoznávání pozice a rotace součástek a hledání centrovacích bodů DPS.

Screenshoty z QTGUI a pár věcí ohledně PyQt



Obr. 5.1: Vývojové prostředí PyQt pro tvorbu grafického rozhraní.

### 5.1 Data pro osazovací automat

Pro návrh elektronických systémů se používá software spadající do kategorie EDA – Electronic Design Automation. Je to soubor nástrojů pro tvorbu desek plošných

spojů (a integrovaných obvodů). Mezi základní nástroje patří Schématické editory, simulátory obvodů, autoroutery, návrhové prostředí pro tvorbu DPS a CAM procesor. Příkladem EDA softwérů jsou: Altium Designer, KiCad, CadSoft Eagle.

Pro testování byl použit poslední zmiňovaný CadSoft Eagle, který je ve své základní varianě pro nekomerční účely dostupný zdarma. Uvžujme vytvořené schéma a DPS. Pro osazovací automat potřebujeme získat pozici, hodnotu, typ pouzdra a rotaci každé SMD součástky, dále potřebujeme získat pozici centrovacích značek. K tomu se částečně dají použít jendak vestavěné funkce, Eagle ale disponuje i možností použití tzv ULP (User Language Program.) skriptů. ULP je programovací jazyk postavený na základech C a umožnuje přímé modifikování schématu, DPS a vytváření různých exportů.

Vestavěný export Jednou z cest jak vyexportovat pozice součástek je **File->Export->Partlist**

Výsledný export obsahuje všechny použité součástky a exportované pozice jsou v jednotkách mil. Pro osazovací automat je ale potřeba jen SMD součástek a centrovacích bodů. Tento export tedy není příliš vhodný, protože by potřeboval ještě následnou ruční úpravu spočívající minimálně v odmazání všech THD součástek

Tab. 5.1: Ukázka exportu.

Part	Value	Package	Library	Position (mil)	orientation
C1	.1uF	C0603	resistor	(2860 300)	R180
C2	18pF	C0603	rcl	(2075 1405)	R90

Součástí instalace Eagle je i několik již připravených ULP skriptů pro export, například Centroid\_ScreamingCircuits\_smd.ulp Ten generuje oproti Partlistu strojově čitelnější formát a exportuje jen SMD součástky. Bohužel však chybí typ použitého pouzdra a hodnota součástky.

```
RefDes,Layer,LocationX,LocationY,Rotation
C1,Top,2.860,0.300,180
C2,Top,2.075,1.405,90
```

Pro vytvoření exportu se všemi potřebnými hodnotami tak bylo potřeba napsat vlastní ULP skript. Ten exportuje středy/origins součástek tak, jak byly vytvořené autorem součástky v knihovnách, dále i geomterické středy součástek. Geomterický střed funguje tak, že se iteruje nad všemi ploškami součástky a hledá se minimum a maximum v obou osách. Jejich rozdíl se vydělí dvěma a najde se skutečný střed součástky. Není to tak střed součástky základě geometrického tvaru pouzdra! Na to

je třeba brát později zřetel. Důvod pro export těchto souřadnic je ten, že né všechny součástky v knihovnách se drží zažitého standardu na umisťování středícího bodu do středu pouzdra, případně do levého horního rohu.

Ukázka z ULP skriptu exportující informace o centrovacích bodech DPS

```
printf("Part name;Package;Value;X origin;Y origin;\n");
printf("%%fiducials\n");
B.elements(E) if (E.populate) {

    if (E.package.name == "FIDUCIAL_1MM")
        printf("%s;%s;%s;%.3f;%.3f;\n",
            E.name, E.package.name, E.value, u2mm(E.x), u2mm(E.y));

}
printf("%%end_fiducials\n");
```

Výsledný export je pak ve formátu

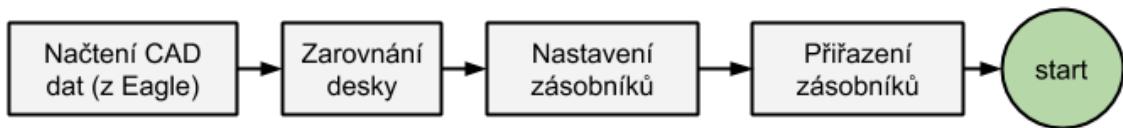
```
%data
Part name;X center;Y center;X origin;Y origin;Rotation;Value;Package
C1;72.644;7.620;72.644;7.620;180;.1uF;C0603
C2;52.705;35.687;52.705;35.687;90;18pF;C0603
%data_end
%fiducials
Part name;Package;Value;X origin;Y origin;
U$3;FIDUCIAL_1MM;FIDUCIAL;7.500;3.000;
U$4;FIDUCIAL_1MM;FIDUCIAL;7.500;57.000;
U$6;FIDUCIAL_1MM;FIDUCIAL;92.500;3.000;
%fiducials_end
```

skript také exportuje obrázek dané DPS, který se dá po načtení do řídícího SW použít pro simulaci osazování. Celý skript je přiložen v příloze B.

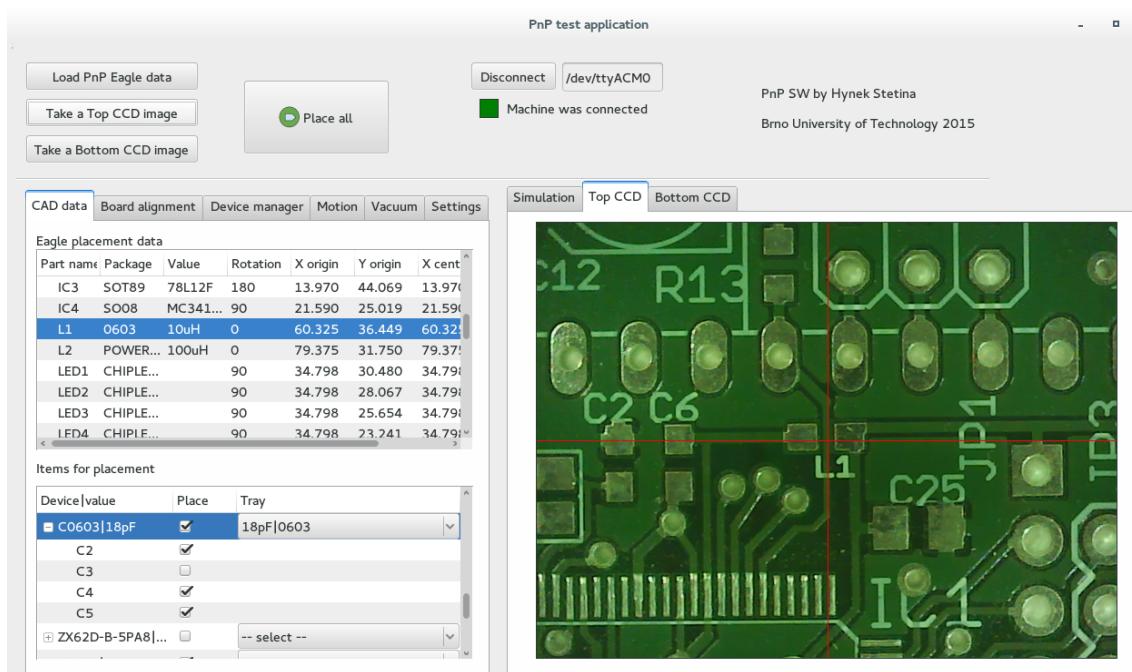
## 5.2 Workflow

## 5.3 Program

Mimo grafické rozhraní je součástí aplikace i terminál, ve kterém jsou logovány prováděné operace. Do terminálu se vypisují i návratové hodnoty z jednotlivých funkcí programu, hodí se tak pro odhalování případných problémů s aplikací.



Obr. 5.2: Workflow.



Obr. 5.3: Hlavní obrazovka řídícího SW.

### 5.3.1 CAD data a přiřazení zásobníků

Po načtení CAD dat vyexportovaných z Eagle (tlačítko Load PnP data) jsou všechny součástky vystavovány do tabulky placement data. U každé položky v tabulce jsou uvedeny všechny potřebné data k jejímu osazení. Navíc pokud je již zarovnaná DPS, pomocí dvojkliku myší automat dojede s kamerou nad místo, kde má být součástka osazena a automaticky vytvoří náhledový snímek z horní CCD kamery. Součástky stejného druhu (pouzdro|hodnota) jsou sdruženy v tabulce Items for placement. U každého druhu součástek se zde přiřazuje příslušný zásobník, ze kterého budou součástky odebírány. Pomocí checkboxů lze volit, jestli bude daná součástka, nebo celá skupina součástek osazována. Jak je vidět na obrázku, kondenzátor C3 nebude tak osazen.

Eagle placement data							
Part name	Package	Value	Rotation	X origin	Y origin	X cent	Y cent
IC3	SOT89	78L12F	180	13.970	44.069	13.970	44.069
IC4	SO08	MC341...	90	21.590	25.019	21.590	25.019
L1	0603	10uH	0	60.325	36.449	60.325	36.449
L2	POWER...	100uH	0	79.375	31.750	79.375	31.750
LED1	CHIPLE...		90	34.798	30.480	34.798	30.480
LED2	CHIPLE...		90	34.798	28.067	34.798	28.067
LED3	CHIPLE...		90	34.798	25.654	34.798	25.654
LED4	CHIPLE...		90	34.798	23.241	34.798	23.241

Items for placement		
Device value	Place	Tray
C0603 18pF	<input checked="" type="checkbox"/>	18pF 0603
C2	<input checked="" type="checkbox"/>	
C3	<input type="checkbox"/>	
C4	<input checked="" type="checkbox"/>	
C5	<input checked="" type="checkbox"/>	
ZX62D-B-5PA8 ...	<input type="checkbox"/>	-- select --

Obr. 5.4: Tabulka všech součástek a sdružené součástky podle pouzder a hodnoty.

### 5.3.2 Zaměření DPS

Pro přesné zaměření pozice DPS byly implementovány 3 centrovací algoritmy. V průběhu výroby DPS můžou vznikat různé chyby, které se ve výsledku porojeví v přesnosti osazování. Může se jednat o chybu měřítka, rotaci motivu vůči fyzickým rozměrům DPS a další. Obzvlášt znatelné jsou tyto chyby při podomácku vytvářených DPS. Další chyby můžou nastat při nepřesném uložení DPS do osazovacího automatu.

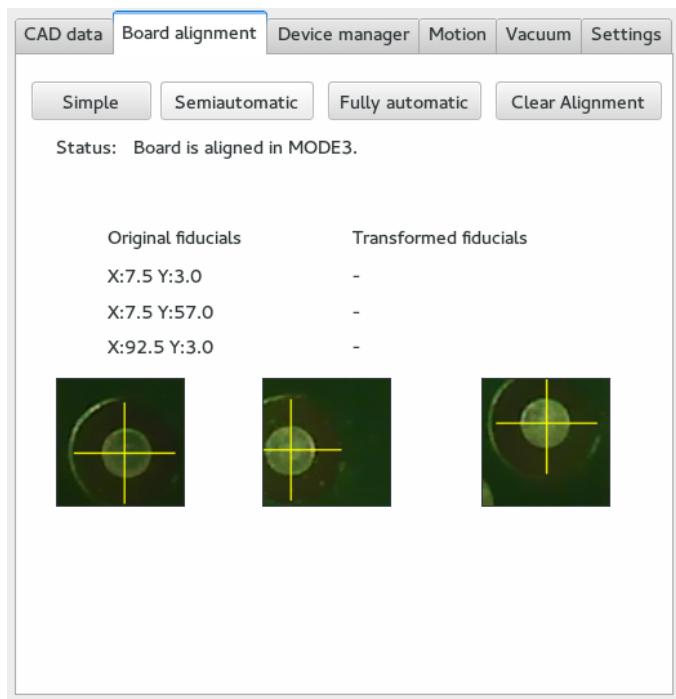
Základním zaměřovacím algoritmem je mód Simple - ten nepoužívá zádné vyhodnocování obrazu. DPS se umístí na dorazy, kdy jeden z jejích rohů je v souřadnici 0,0 (v souřadnicovém systému v prostoru pro DPS, ne v souřadnicovém systému celého stroje). Tato metoda je nejméně přesná, protože není schopna kompenzovat zádné chyby. Přesnost osazování v tomto módu tak závisí na preciznosti vycentrování DPS a její kvalitě. Jediná výhoda tohoto módu je možnost osazovat i DPS, které nedisponují centrovacími značkami.

Nejužitečnější je plně automatický mód, který centruje DPS pomocí centrovacích značek (viz kapitola o vyhodnocování obrazu). Dokáže tak kompenzovat všechny výše popsané chyby. DPS je stejně jak v předchozím případě umístěna rohem do pozice 0,0. Princip spočívá v tom, že automat postupně najíždí nad centrovací značky a zjišťuje jejich skutečnou pozici vůči souřadnicovému systému automatu. Poté jsou všechny souřadnice součástek na DPS transformovány do nového souřadnicového

systému.

Posledním centrovací metodou je poloautomatický mód. Ten umožňuje zaměření DPS libovolně umístěné v pracovním prostoru. Má všechny výhody plně automatického módu jen s počáteční nutností najet nad každou z centrovacích značek ručně.

TODO, obrázek s naznačením jednotlivých metod.



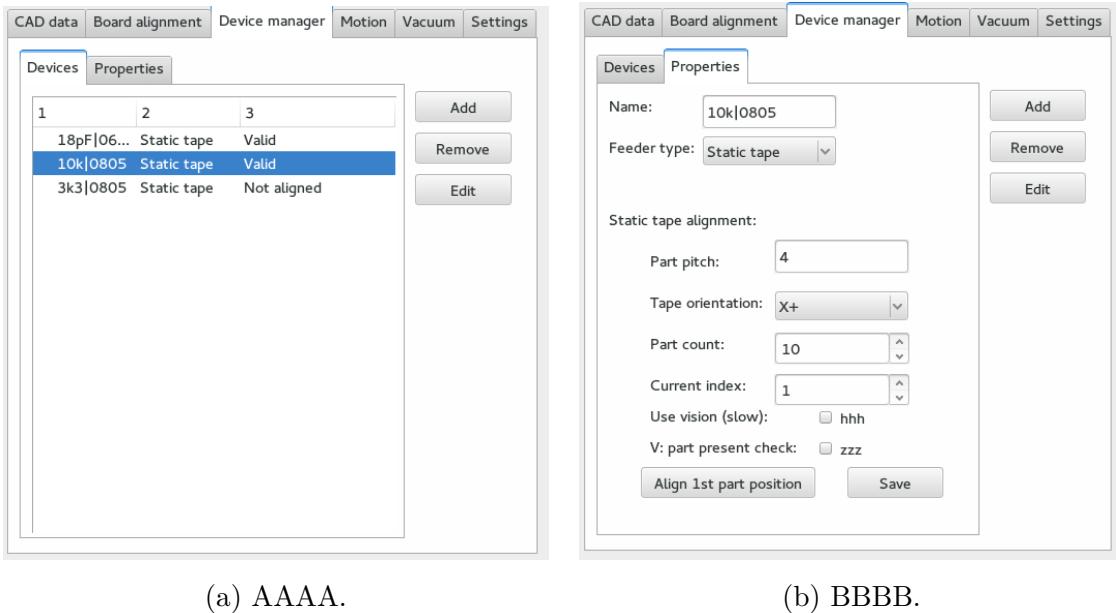
Obr. 5.5: Záložka s centrováním DPS.

### 5.3.3 Manažer zásobníků

V manažeru zásobníků je monžné vytvážet a editovat jednotlivé zásobníky. V průběhu psaní diplomové práce byla implementována jen možnost statického zásobníku[?], SW je ale připraven pro různé typy zásobníků jako plata a tuby. statický zásobník má následující možnosti nastavení:

- Rozteč součástek v pásce - parametr P1 z obrázku [?]
- Orientace pásky - jakým směrem jsou orientovány součástky vůči první referenční součástce
- Počet součástek na pásce
- Index aktuální součástky - inkrementuje se po každé odebrané součástce
- Použít vyhodnocování obrazu - kontrola přítomnosti součástky na základě metody z SW XXXX
- Vacuum test - Kontrola přítomnosti součástky na základě metody z VACUUM XXXX

Po nastavení těchto parametrů je potřeba zaměřit první součástku v zásobníků pomocí kamery a uložit tlačítkem Save. V tuto chvíli je zásobník připraven k použití.



Obr. 5.6: Manažer zásobníků.

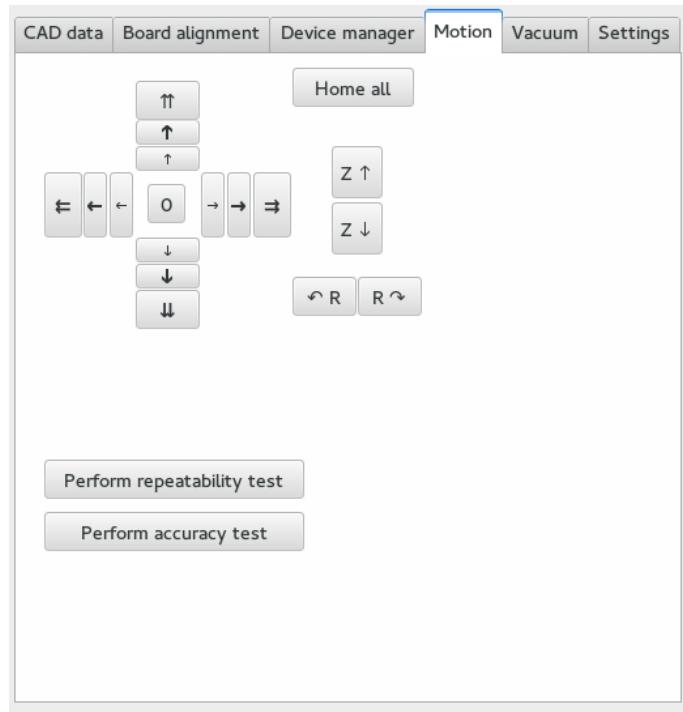
### 5.3.4 Ovládání pohybu automatu

Pro manuální pohyb s osazovací hlavou slouží záložka motion. Pomocí šipek tak lze pohybovat s hlavou po krocích 0.1mm, 1mm a 10mm. V ose Z je krok 1mm a pro rotaci byl implementován krok 1 STUPEŇ. Tlačítko 0 automaticky nastaví kameru na souřadnici 0,0 v pracovním prostoru pro DPS.

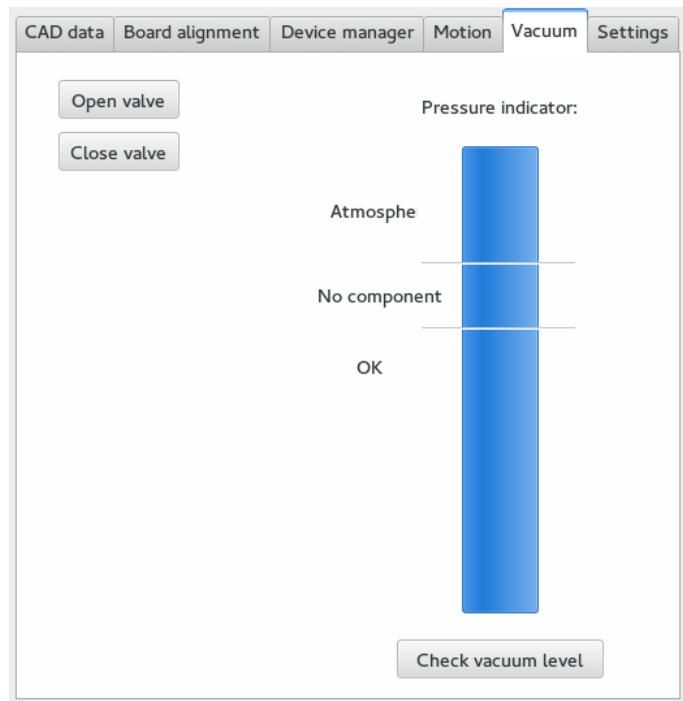
Součástí této záložky jsou i skripty na měření přesnosti a reprodukovatelnosti.

### 5.3.5 Vacuum

Záložka pro monitorování aktuálního stavu tlaku v potrubí. Pomocí tlačítka Open/Closed valve lze manuálně ovládat vakuový ventil.



Obr. 5.7: Motion záložka.



Obr. 5.8: Vacuum záložka.

# 6 MĚŘENÍ

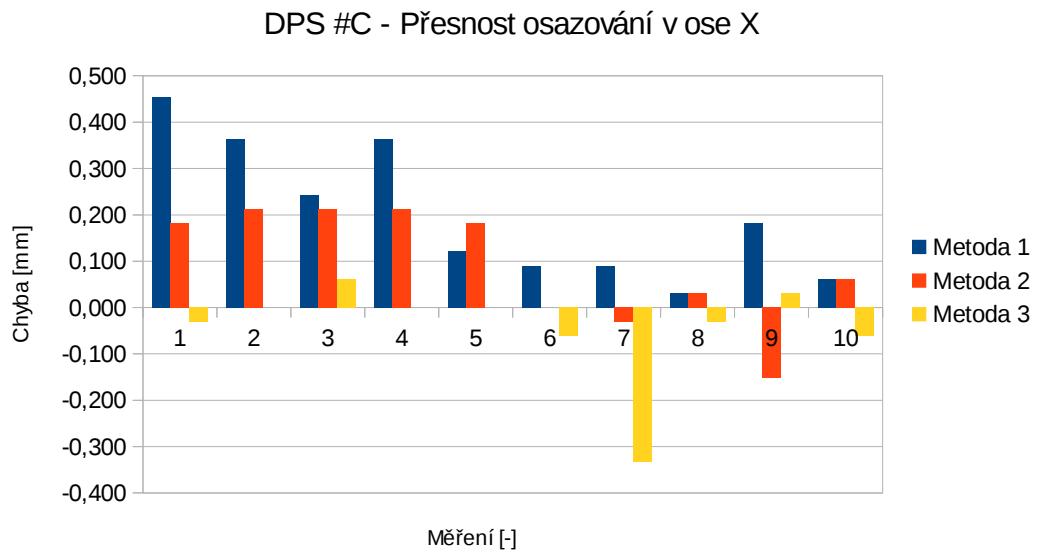
## 6.1 Přesnost

## 6.2 Reprodukovatelnost

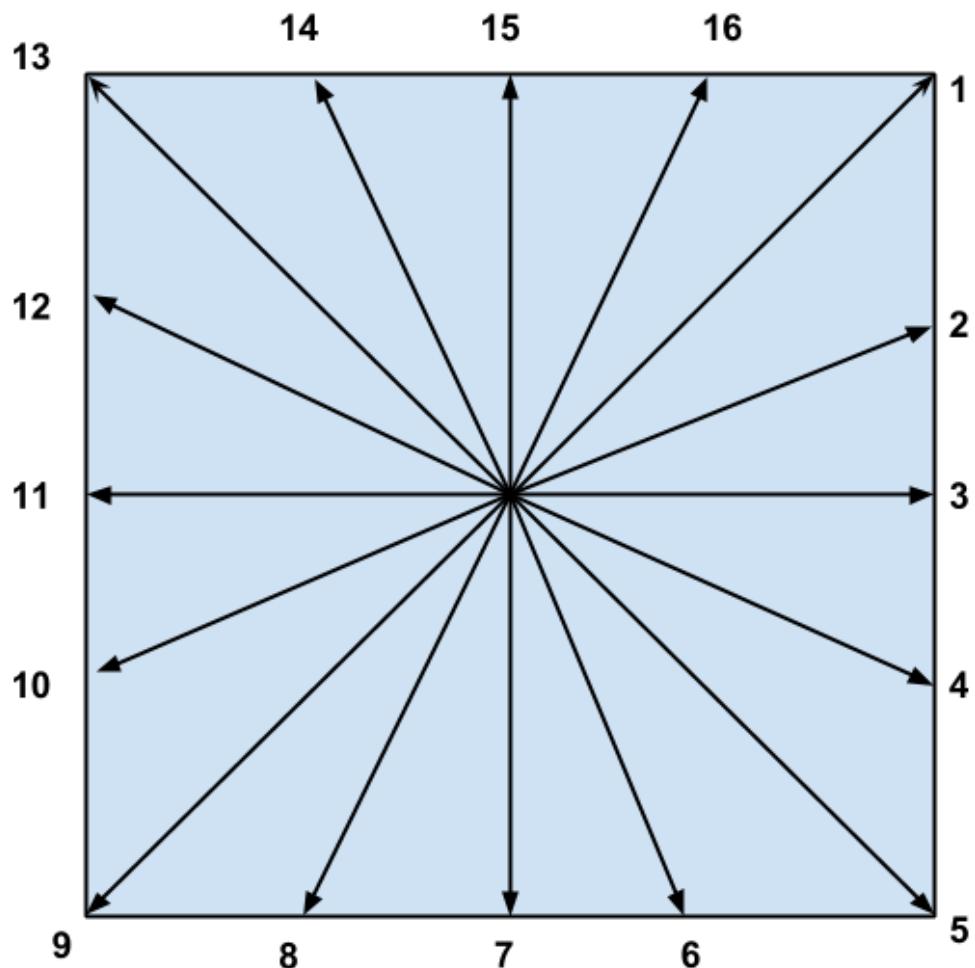
Reprodukovanost mechanismu je po přesnosti pozicování dalším z klíčovým parametrem. Přesnost a reprodukovatelnost jsou spolu úzce spojeny. Reprodukovatelnost je definována jako schopnost mechanismu vracet se zpět na dané místo znova a znova. Meření bylo založeno na metodě popsáné v [3]. Měření probíhá tak, že ve středu souřadnicového systému je stanovena reference. Z této pozice je prováděn pohyb do krajních pozic mechanismu a zpět. Právě kvůli chybě reprodukovatelnosti pohybů není pokaždé možné najet na přesně stejnou pozici. Proto je po každém pohybu zpět stanovena nová reference. Jednotlivé vásledky se tak neporovnávají vůči počáteční pozici, ale porovnávají se mezi sebou dvě poslední pozice reference.

Na obrázku [?] je vidět souřadnicová síť s naznačenými pozicemi jednotlivých pohybů. Celý test je naprogramovaný přímo do řídícího SW a je ho možné kdykoliv spustit.

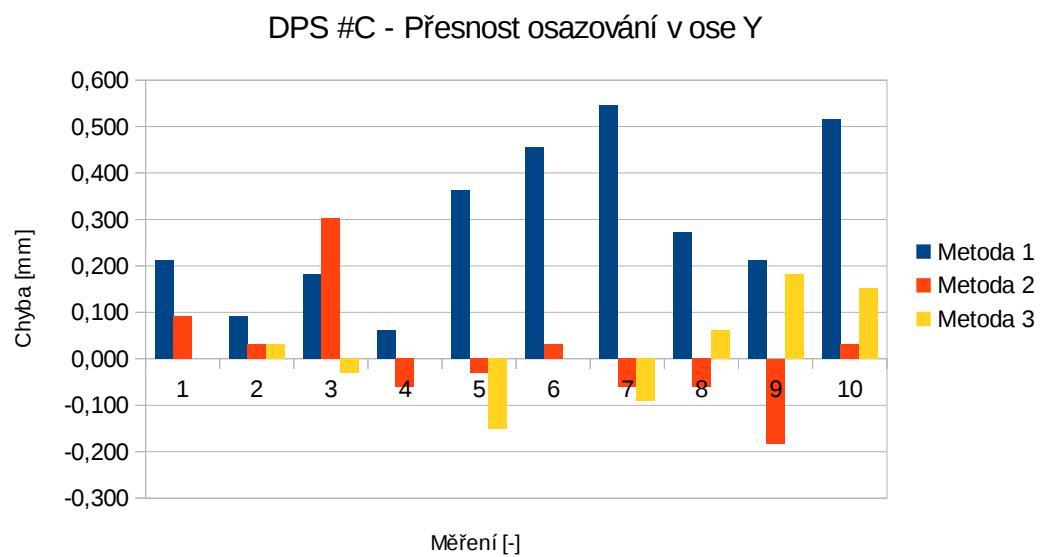
## 6.3 XXX DPS



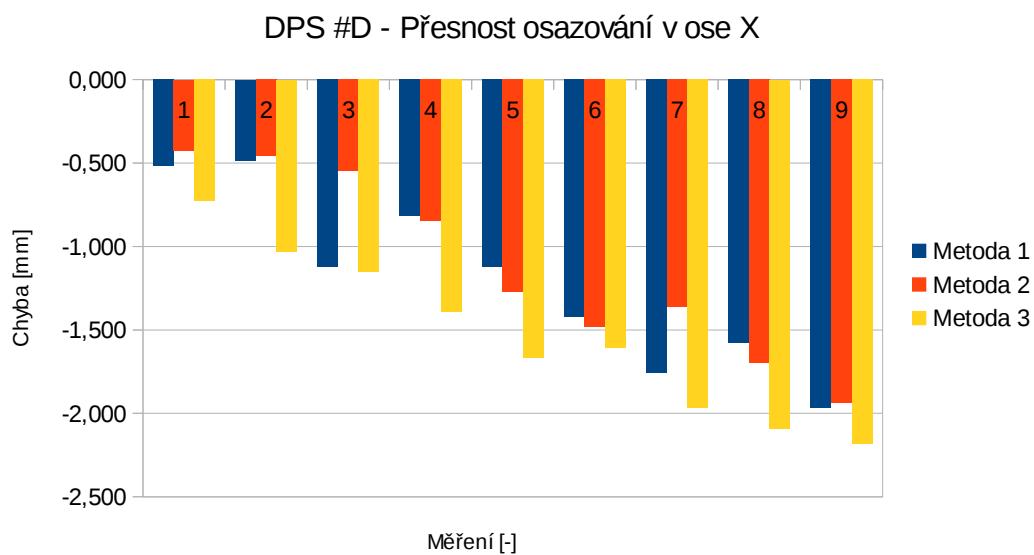
Obr. 6.2: C X.



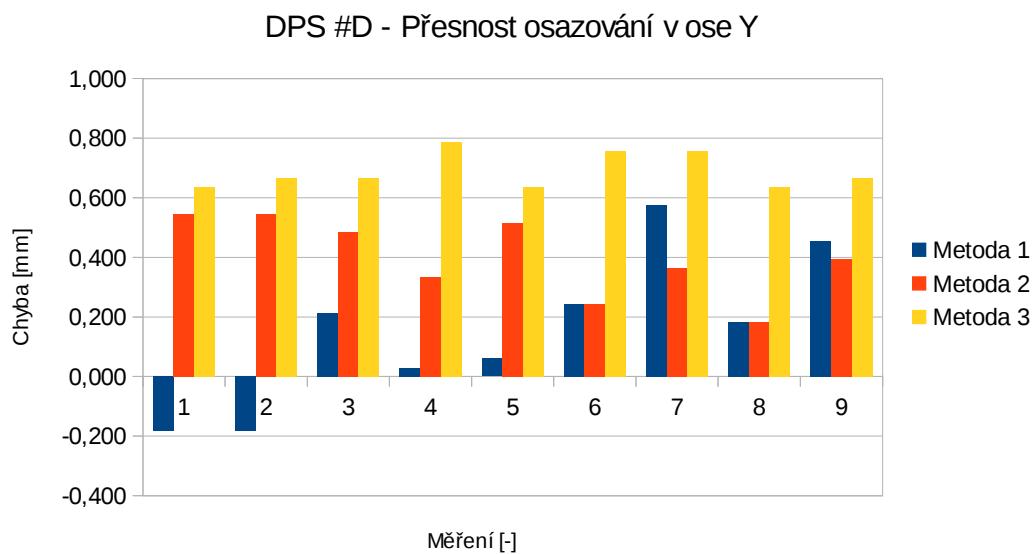
Obr. 6.1: Repeatabilita TODO.



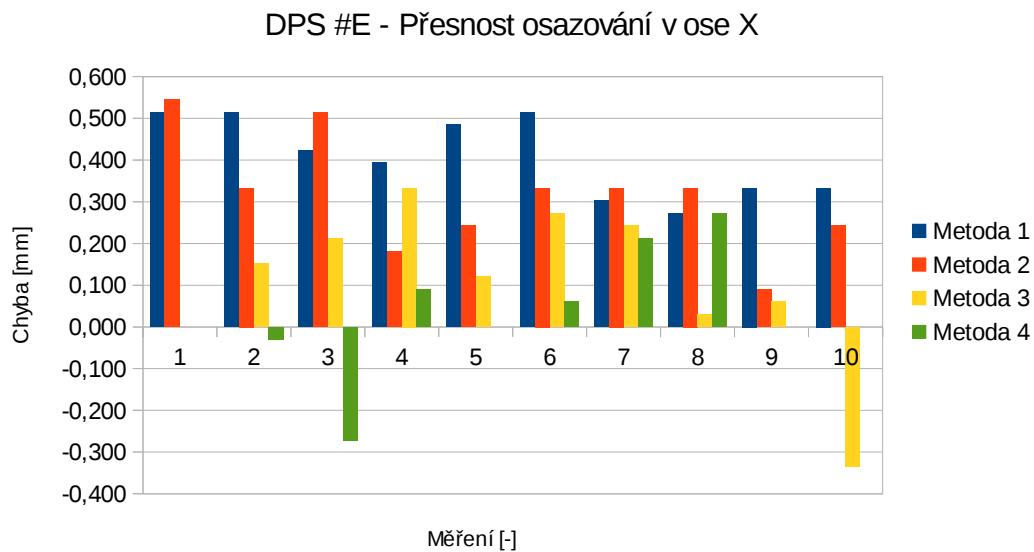
Obr. 6.3: C Y.



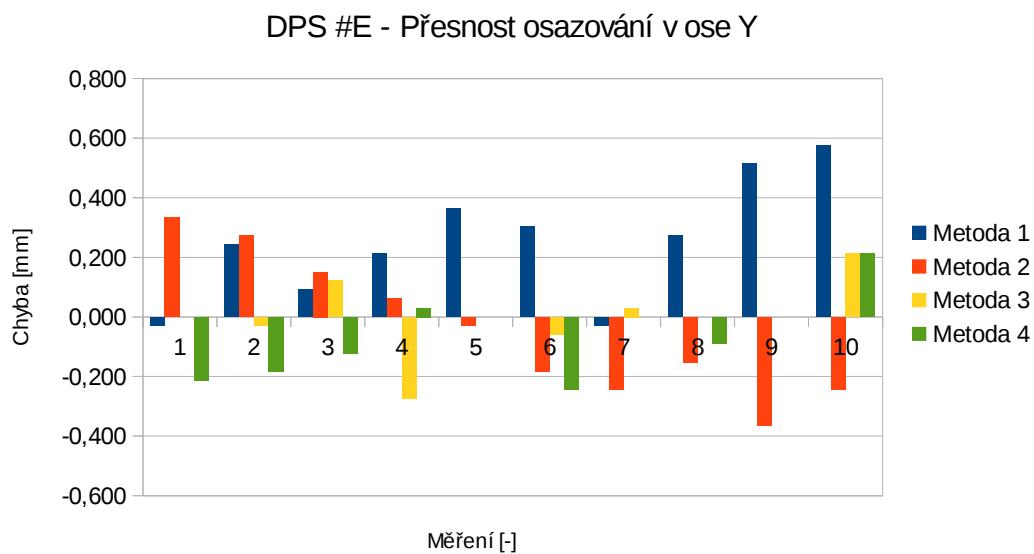
Obr. 6.4: D X.



Obr. 6.5: D Y.



Obr. 6.6: E X.



Obr. 6.7: E Y.

## 6.4 Rychlosť osazovania

test

## 7 ZÁVĚR

Limitace velikost součastek, nedostatek vakua.

SW: Mnou stanovený požadavek na multiplatformí SW byl splněn, ale bohužel nedošlo na jeho verifikaci v praxi. Všechny testy byly prováděny pouze na operačním systému Fedora 21 (Linux). Možná inkompatibilita hrozila v různém přístupu systémů k hardware, konkrétně k sériovému portu a dále v kompatibilitě grafického rozhraní. Pro eliminaci problémů s HW byla použita knihovna PySerial, která je dostupná ve verzích pro Windows, Linux i MacOS/X. Stejně tak použitý framework na grafické rozhraní PyQt je dostupný pro již zmíněně operační systémy. Při spoušení programu na jiných platformách než Linux se tak nepředpokládají žádné problémy.

HW: Při návrhu a následném testování elektroniky jsem získal velice cenné zkušenosti z oblasti elektromagnetické kompatibility. První prototyp navržené elektroniky byl náchylný na elektromagnetickou susceptibilitu a z toho důvodu docházelo k výpadkům komunikace přes USB rozhraní. Po nastudování nesčetných zdrojů se povedlo v druhé revizi problém eliminovat. A to za pomocí filtrů na signálových cestách a striktním dodržení návrhových pravidel daných výrobcem mikrokontroléru.

Využití: Jak bylo naznačeno v kapitole XXX, osazovací automat může být po úpravě řídícího SW využit i pro automatickou optickou inspekci (AOI) osazených a zapájených DPS. Spojil by tak dva kroky výrobního procesu DPS do jednoho přístroje. Realizovaná konstrukce je poměrně univerzální a mohla by najít využití také jako manipulační robot.

## LITERATURA

- [1] BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2* [online]. 2001, poslední aktualizace 11. 11. 2004 [cit. 17. 2. 2005]. Dostupné z URL: <<http://www.boldis.cz/citace/citace.html>>.
- [2] INTEL CORPORATION. *Power Delivery Design Issues for Hi-Speed USB on Motherboards* [online]. 2002 [cit. 10. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.usb.org/>>.
- [3] Vaške, F. *Design and implementation of testing device for gonio mechanisms*. 2012.

## **SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK**

PCB	Deska plošných spojů
AOI	Automatická Optická Inspekce
PnP	Pick and Place
USB	Universal Serial Bus

# **SEZNAM PŘÍLOH**

<b>A Některé příkazy balíčku <i>thesis</i></b>	<b>67</b>
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	67
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	67
<b>B Druhá příloha</b>	<b>68</b>
<b>C Obsah přiloženého CD</b>	<b>69</b>

## A NĚKTERÉ PŘÍKAZY BALÍČKU THESIS

### A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	$\beta_{\max}$	$\$\\beta_{\\textind{max}}$$	textový index
<code>\konst{...}</code>	$U_{\text{in}}$	$\$\\konst{U}_{\\textind{in}}$$	konstantní veličina
<code>\prom{...}</code>	$u_{\text{in}}$	$\$\\prom{u}_{\\textind{in}}$$	proměnná veličina
<code>\komplex{...}</code>	$u_{\text{in}}$	$\$\\komplex{u}_{\\textind{in}}$$	komplexní veličina
<code>\vekt{...}</code>	$\mathbf{y}$	$\$\\vekt{y}$$	vektor
<code>\matice{...}</code>	$\mathbf{Z}$	$\$\\matice{Z}$$	matice
<code>\jedn{...}</code>	$\text{kV}$	$\$\\jedn{kV}$ či \text{\jedn{kV}}$	jednotka

### A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E, \eul` – sazba Eulerova čísla: e,
- `\J, \jmag, \I, \imag` – sazba imaginární jednotky: j, i,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc.
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem<sup>1</sup>:  $\mu$ .

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

---

<sup>1</sup>znak pochází z balíčku `textcomp`

## B DRUHÁ PŘÍLOHA

## **C OBSAH PŘILOŽENÉHO CD**

Nezapomeňte uvést, co čtenář najde na přiloženém médiu. Je vhodné komentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění atd. Také je dobré napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2010b).