

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

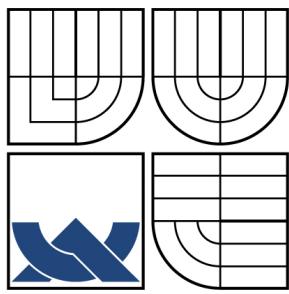
NÁZEV

S/B/D PRÁCE

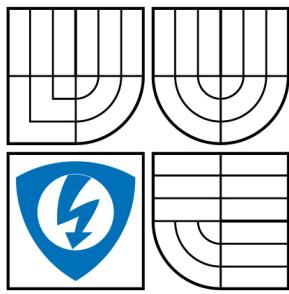
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LADISLAV DOCHVILNÝ

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## NÁZEV

S/B/D PRÁCE

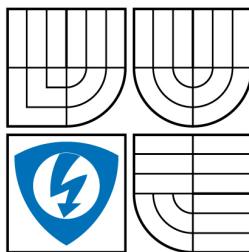
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LADISLAV DOCHVILNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR LABUS

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Semestrální práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Ladislav Dochvilný

**ID** 12345

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

**Elipsa, kruh a trojúhelník v praxi**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte a popište metody ...

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HANKERSON, Darrel, MENEZES, Alfred J., VANSTONE, Scott. Guide to Elliptic Curve Cryptography. [s.l.] : Springer, 2004. 311 s. ISBN 978-0387952734.
- [2] Elliptic Curve Cryptography [online]. 2009 [cit. 2009-10-13]. Dostupný z WWW: <<http://ecc.asp2.cz/>>.

**Termín zadání:** 9.10.2009

**Termín odevzdání:** 17.12.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Labus

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Název studentské práce“ 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. XXX, 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>11</b>
<b>1 Konstrukce</b>	<b>12</b>
1.1 Řešení pojezdů pro osy X a Y . . . . .	12
1.2 Systém vodících tyčí . . . . .	13
1.3 Lineární vedení. . . . .	13
1.4 Pohon os . . . . .	13
1.5 Uspořádání os X a Y . . . . .	14
1.5.1 H-Bot . . . . .	15
1.5.2 CoreXY . . . . .	15
1.5.3 CoreXY . . . . .	16
<b>2 Centrování součástek</b>	<b>17</b>
2.1 Použité zobrazovací jednotky - CCD kamery . . . . .	17
2.2 Vyhazování obrazu a redukce šumu . . . . .	18
2.2.1 Vyhazovací filtr Blur . . . . .	18
2.2.2 Vyhazovací filtr Gaussian Blur . . . . .	19
2.2.3 Vyhazovací filtr Median Blur . . . . .	20
2.2.4 Vyhazovací Bileteral filtr . . . . .	20
2.3 Centrovací značky a jejich detekce. . . . .	21
2.4 Houghova transformace a hledání kruhů v obrazu. . . . .	23
2.4.1 Spolehlivost detekčního algoritmu . . . . .	23
2.4.2 Vliv osvětlení na detekci centrovacích značek. . . . .	23
2.5 Detekce součástek v zásobnících . . . . .	24
<b>3 Řídící elektronika</b>	<b>30</b>
3.1 Firmware . . . . .	30
3.2 Krokové motory a jejich drivery . . . . .	32
3.3 USB a elektromagnetická kompatibilita . . . . .	35
3.4 Zapojení konektorů . . . . .	36
<b>4 Řídící SW</b>	<b>38</b>
4.1 Data pro osazovací automat . . . . .	38
<b>5 Výsledky studentské práce</b>	<b>41</b>
<b>6 Závěr</b>	<b>42</b>

<b>Literatura</b>	<b>43</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratek</b>	<b>44</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>45</b>
<b>A Některé příkazy balíčku <i>thesis</i></b>	<b>46</b>
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	46
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	46
<b>B Druhá příloha</b>	<b>47</b>
<b>C Obsah přiloženého CD</b>	<b>48</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Open Source Hardware.	11
1.1	XY.	14
1.2	H-bot.	15
1.3	Core XY.	16
2.1	Blur.	19
2.2	Gaussian Blur.	20
2.3	Median Blur.	21
2.4	Billateral filter.	22
2.5	obrázek centrovacích značek + naznačení poloměrů.	22
2.6	Rozptyl výsledku z detektoru centrovacích značek.	24
2.7	Denní osvětlení.	24
2.8	Tma, prisviceno XXX.	25
2.9	Svetlo, prisviceno XXX.	25
2.10	stropni svetlo XXX.	26
2.11	Páska.	26
2.12	Páska.	27
2.13	Páska - základní detekce.	27
2.14	Šblona pro detekci.	27
2.15	Detekce XXXXX.	28
2.16	Šblona pro detekci2.	28
2.17	Detekce XXXXX.	29
3.1	Diagram řídící elektroniky.	30
3.2	DRV8825.	33
3.3	DRV8825.	34
3.4	Koncové dorazy.	34
3.5	Zapojení USB.	35
3.6	Zapojení USB.	36
3.7	Zapojení konektorů.	36
3.8	Osazená řídící elektronika ve verzi 1.0.	37

# SEZNAM TABULEK

1.1	Cena originálních dílů Misumi potřebných na jeden spoj (v Kč a včetně DPH) . . . . .	12
3.1	Katalogové parametry motoru SX17-1005LQEF . . . . .	32
3.2	Mikrokrokování . . . . .	34
3.3	Zapojení konektorů. . . . .	37
4.1	Ukázka exportu. . . . .	39
A.1	Přehled příkazů pro matematické prostředí . . . . .	46

# 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.

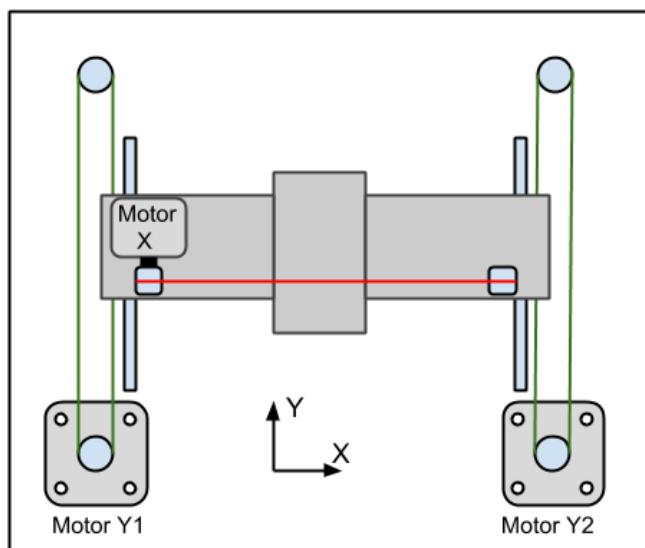
Využití řemenů Řešení s řemeny je koncipováno tak, že přímo na hřídel motoru je přidělána řemenice. Druhá řemenice (nebo ložisko) je umístěna na opačném konci osy a mezi nimi je natažen uzavřený řemen. Při správné volbě profilu řemenu je mrtvý chod zanedbatelný. Při velké délce řemenů může při jejich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

Použití řemenů výrazně zjednoduší a zlevňuje celou konstrukci, proto byly do konstrukce zvoleny právě 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 jendnoho motoru pro osu Y by bylo nutné spřažení pravé a levé části portálu, aby nedocházelo k nežádoucí rotaci při hnaní jen jedné části portálu.

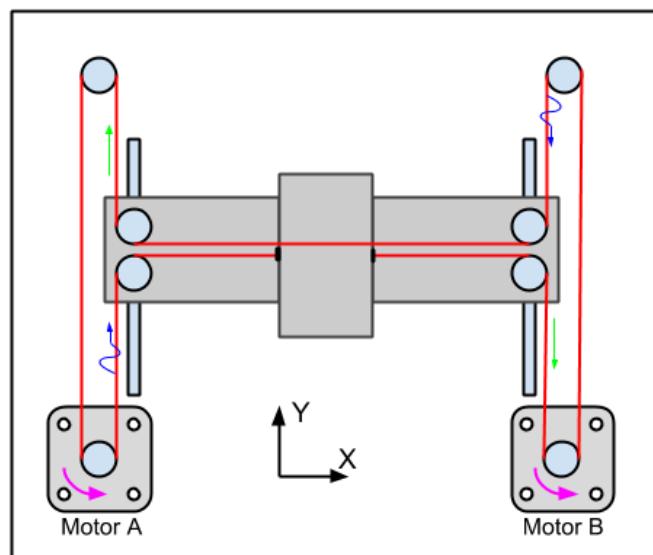
Alternativou by bylo na každou stranu portálu dát jeden motor a jejich otáčky řídit synchroně. Osa X by měla po boku vlastního motoru a celá by byla uložena na osu Y. Tzn s pohybem v ose Y by se pohybovala i celá váha osy X. Na ose X je navíc ještě umístěna osa Z s vakuovou pipetou což je další hmota navíc. Dá se očekávat, že dynamické vlastnosti, rychlosť a kompaktnosť tohto řešenia nebude pro osazovací automat ideálný (za predpokladu použití dostupných komponent).

### 1.5.1 H-Bot

Zajímavým uspořádáním, které úplně eliminuje nutnosť aby sa motor X pohyboval s osou Y z predchozího uspořádania je systém H-bot. V tomto řešení sú motory staticky pripojené k rámu a remenom je uspořádanie do tvaru H, proto H-bot. Hmotu motorov sa tak již nepohybuje s pohybom osy, tudíž celá sestava bude mať menšiu setrvačnosť a lze tak dosiahnuť rýchlych akcelerácií a vysokých rýchlosťí. Systém využíva dva motory, kde pre pohyb mechanizmu len v jednej ose je zapotrebí obu motorov. Pokud sa motory otáčia stejným smereom, pohybujú sa jednou osou. Pre pohyb v druhej ose sa otáčia v protifázi.

### 1.5.2 CoreXY

Výše zmínenej nevýhoda systému H-bot je eliminovať podobným, avšak mierne komplikovaným uspořádáním zvaným coreXY.



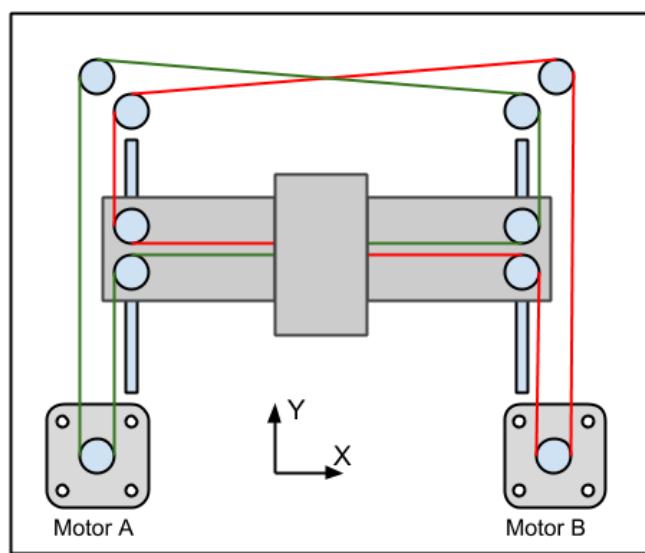
Obr. 1.2: H-bot.

Nevýhodou tohto uspořádania je fakt, že sily pôsobíce na pohyblivý portál sú v opačnom smere což môže viesť k jeho miernej rotácii. Na obrázku je naznačený 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.

### 1.5.3 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.

## 2 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.

### 2.1 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.

## 2.2 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.

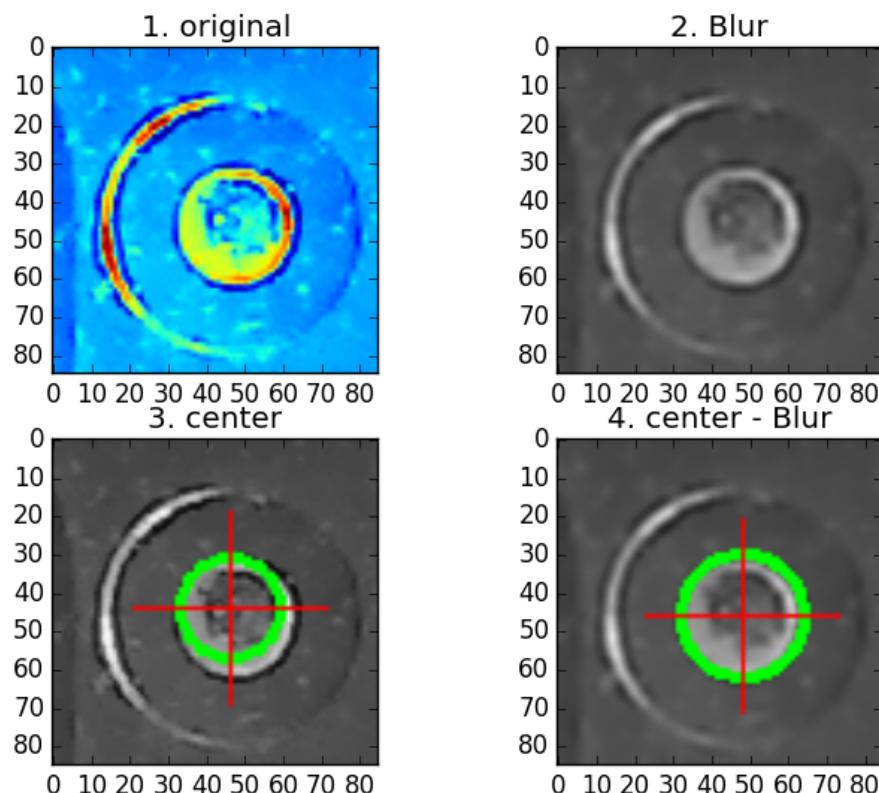
### 2.2.1 Vyhazovací filtr Blur

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.

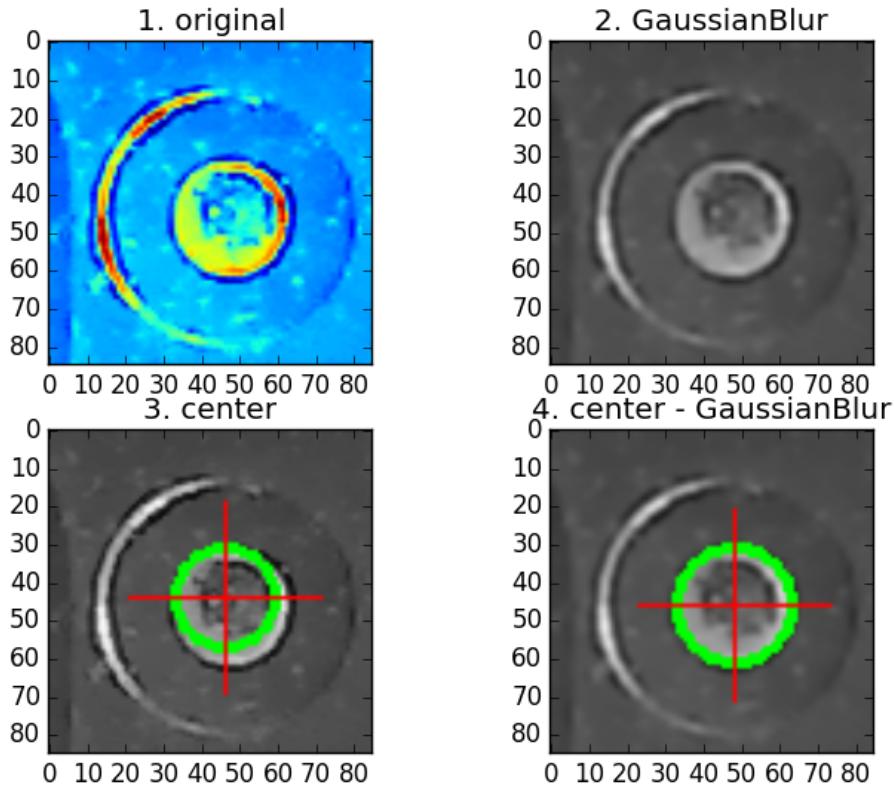


Obr. 2.1: Blur.

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

### 2.2.2 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. 2.2: Gaussian Blur.

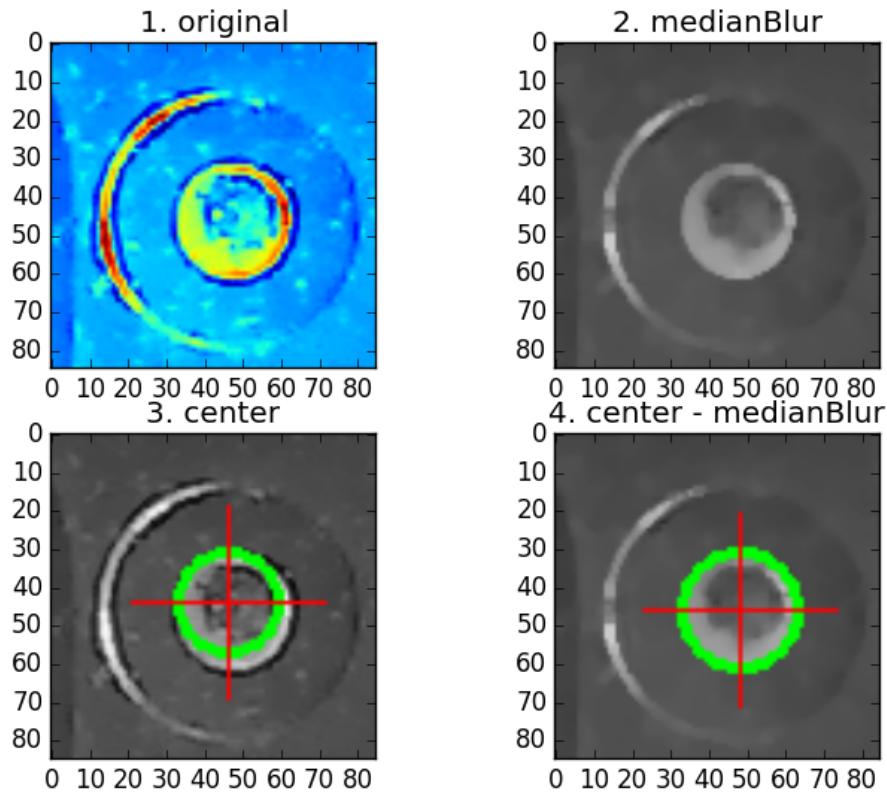
### 2.2.3 Vyhlažovací filtr Median Blur

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.

### 2.2.4 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 filtru a také že oproti Gaussian blur zachovává lépe hrany. Základní blur filtr nebyl pro svou chybovost ani uvažován.



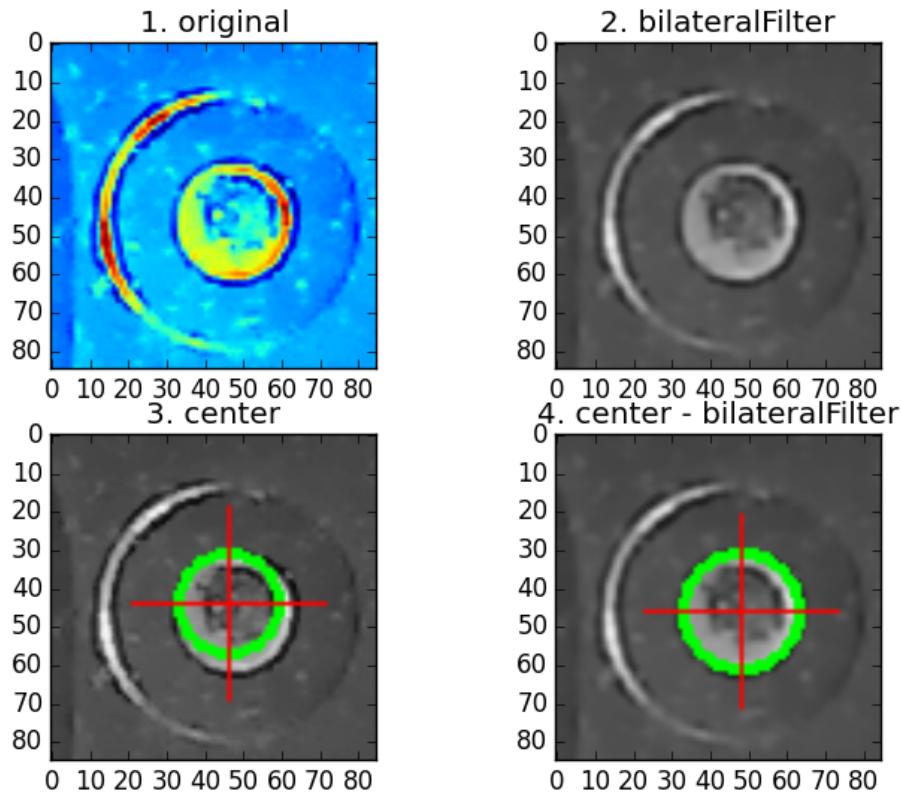
Obr. 2.3: Median Blur.

## 2.3 Centrovací značky a jejich detekce.

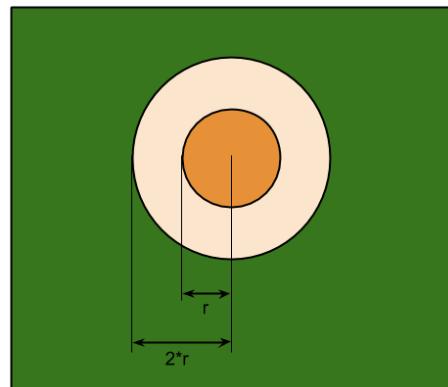
Naváděcí značky detailně popisuje IPC standard 73 51 konkrétně sekce 3.4.4. Naváděcí značky lze popsat jako geometrické obrazce sloužící k sesouhlasení souřadnicového systému při jednotlivých výrobních operacích. Rozlišují se tři základní druhy značek a to panelové, globál a lokální. Panelové slouží 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. 2.4: Billateral filter.



Obr. 2.5: 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 obrazu- 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.

## 2.4 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.

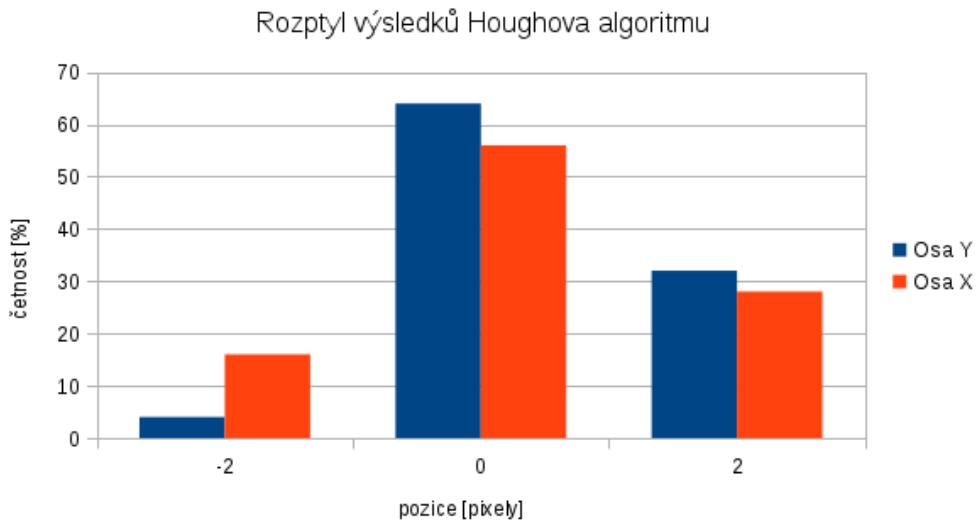
Houghova transformace je v OpenCV realizována funkcí HoughCircles(...). Výstupem je pak pole obsahující všechny nalezené kruhy uložené ve formě X, Y a rádius. Naším úkolem je v obrázku najít pouze jeden kruh, který odpovídá obrysu centrovací značky. Pro minimalizaci falešně pozitivních výsledků jsou 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.

### 2.4.1 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.

### 2.4.2 Vliv osvětlení na detekci centrovacích značek.

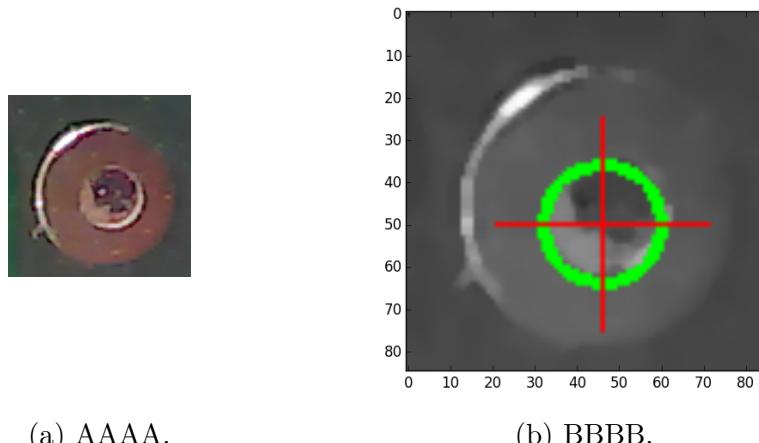
V průběhu testování se ukázalo, že světelné podmínky mají velký vliv na přesnost a spolehlivost detekce. Ideálních podmínek bylo dosaženo při eliminaci všech vnějších světelných zdrojů a přisvětlení pomocí LED diod.



Obr. 2.6: Rozptyl výsledku z detektoru centrovacích značek.

Napsat komentář k přesnostem.

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



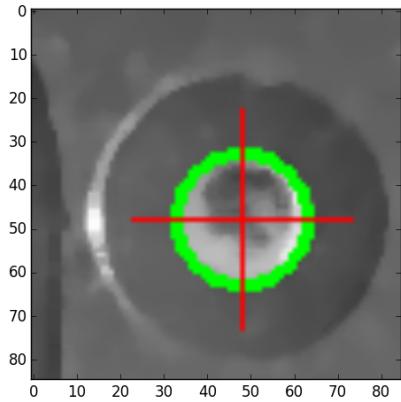
Obr. 2.7: Denní osvětlení.

## 2.5 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.



(a) AAAA.

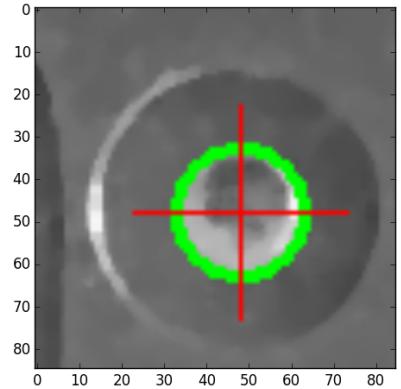


(b) BBBB.

Obr. 2.8: Tma, prisviceno XXX.



(a) AAAA.



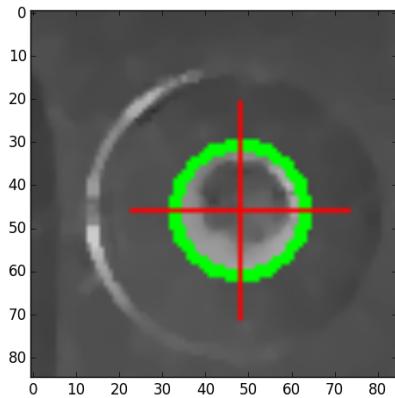
(b) BBBB.

Obr. 2.9: 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  $\pm 0,2$ 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-

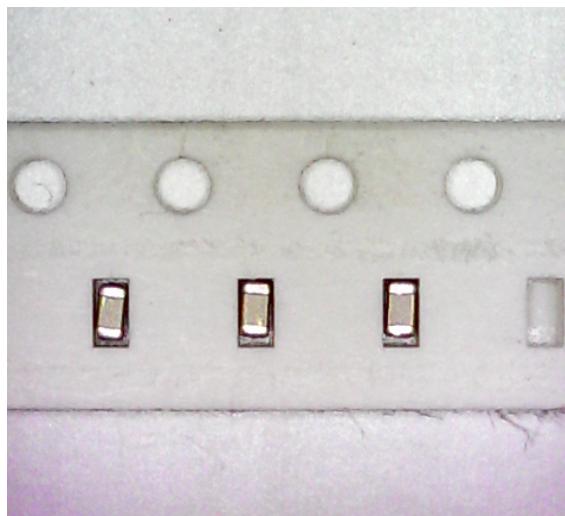


(a) AAAA.



(b) BBBB.

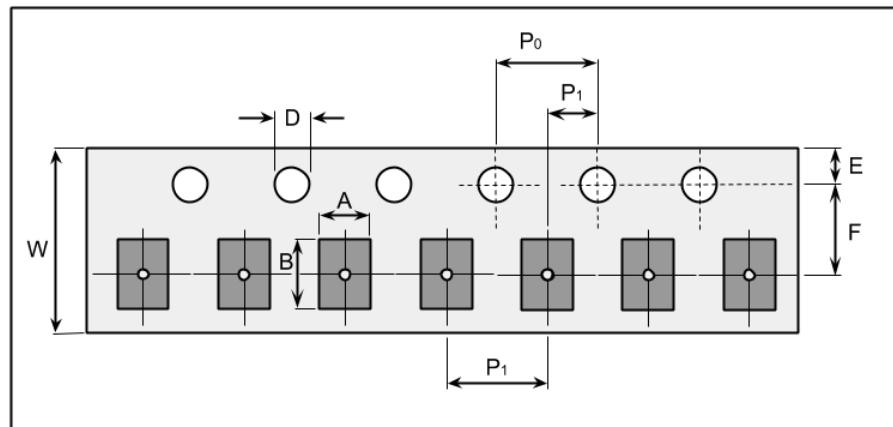
Obr. 2.10: stropní světlo XXX.



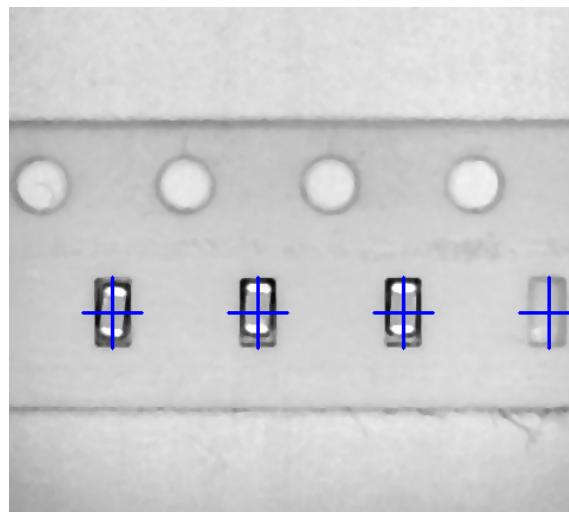
Obr. 2.11: Páska.

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. 2.12: Páska.



Obr. 2.13: Páska - základní detekce.

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

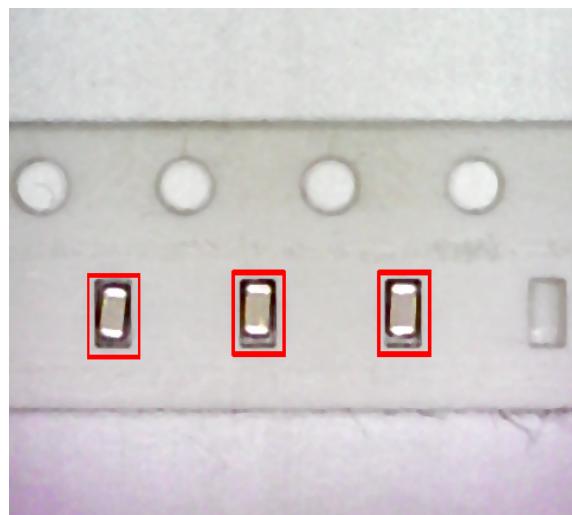
Dtekce za pomocí předlohy

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



Obr. 2.14: Šblona 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.



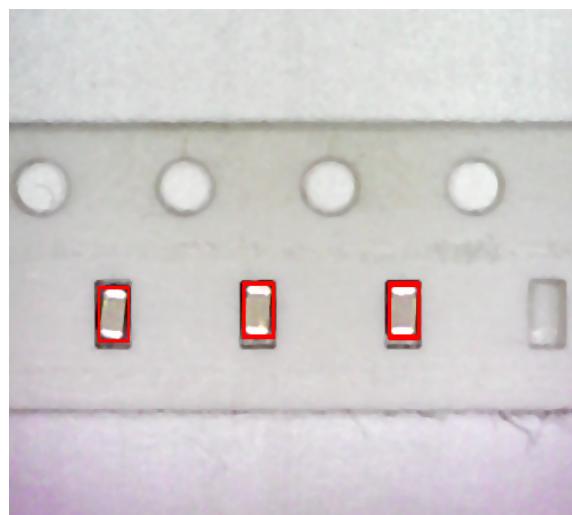
Obr. 2.15: Detekce XXXXX.

Rozměry součástek jsou vždy o něco menší než rozměry slotů, ve kterých jsou umístěny. Součástky mají tak ve slotech určitý rozptyl. Z hlediska správného nasátí 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. 2.16: Šblona pro detekci2.

Jak je vidět, tak nyní jsou již detekovány přesné pozice ce 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. 2.17: Detekce XXXXX.

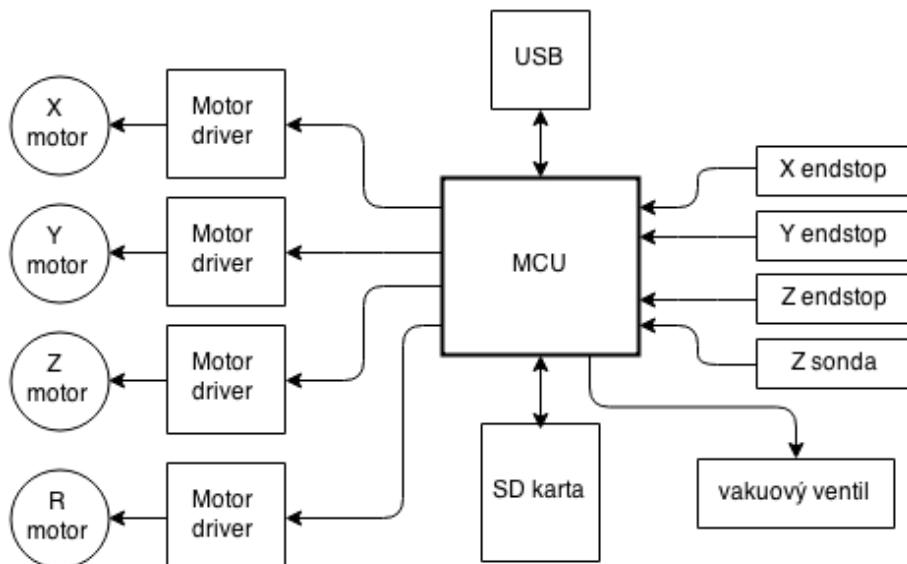
### 3 ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA

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 3.1, jednotlivé bloky jsou pak popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 3.1: Diagram řídící elektroniky.

#### 3.1 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
```

## 3.2 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 krokové 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 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 vznášejí 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.

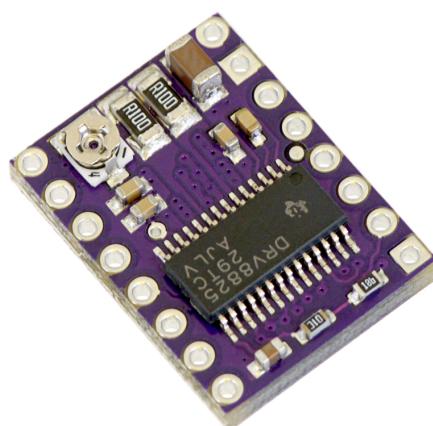
Tab. 3.1: Katalogové parametry motoru SX17-1005LQEF

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. 3.2: DRV8825.

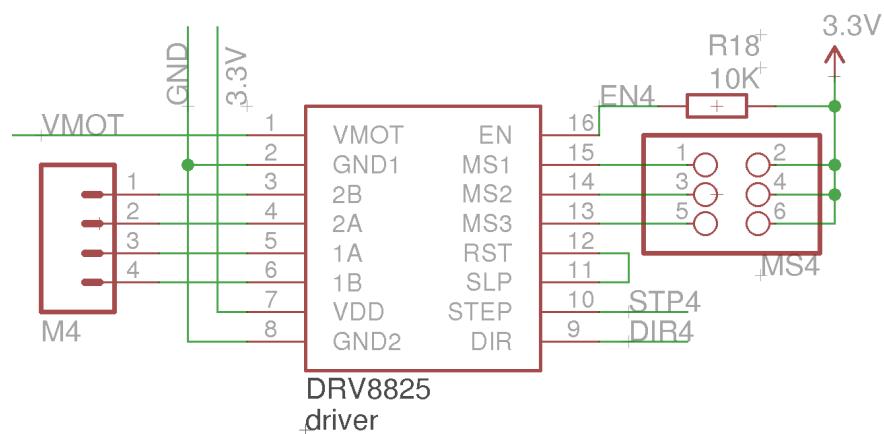
Jednoduchým výpočtem pak zjistíme, kolik kroků bude potřeba pro pohyb dané osy na jeden mm a teoretickou přesnost pozicování. Parametry kroky/mm je později použit na kalibraci os.

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.

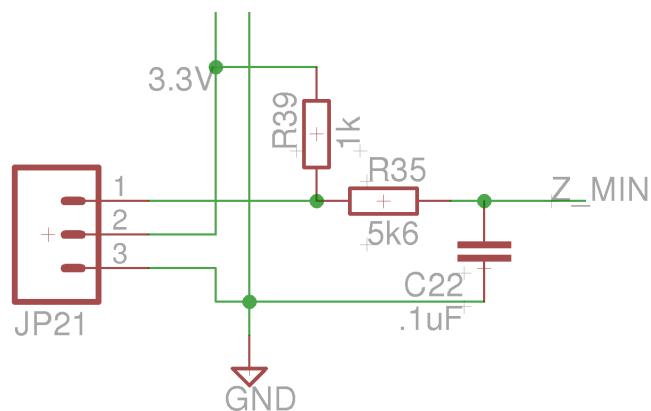
Jak vyplývá z tabulky, pro režim mikrokrokování 1/32 vychází teoretická přesnost 6,25 um. Co nejpřesnější pozicování je při osazování součástek žádoucí, proto byl driver nakonfigurován do tohoto režimu pomocí jumperů na konektoru MS4. Pro režim 1/32 se signály MS1, MS2 a MS3 připojují na Log 1. Driver 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. 3.2: 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>



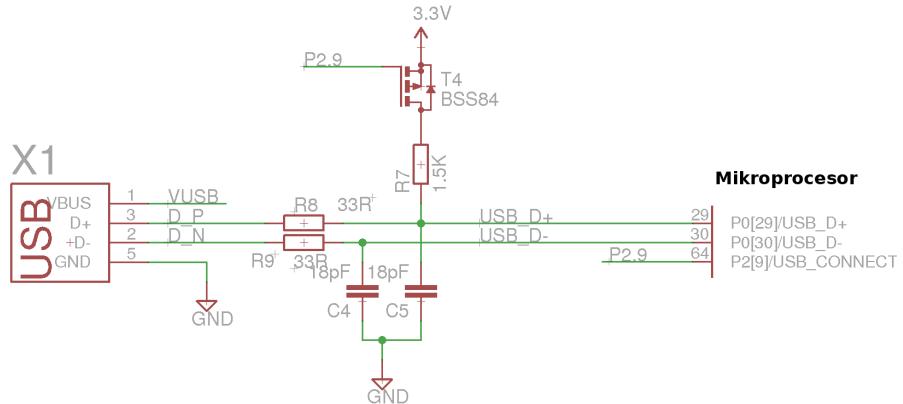
Obr. 3.3: DRV8825.



Obr. 3.4: Koncové dorazy.

### 3.3 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.



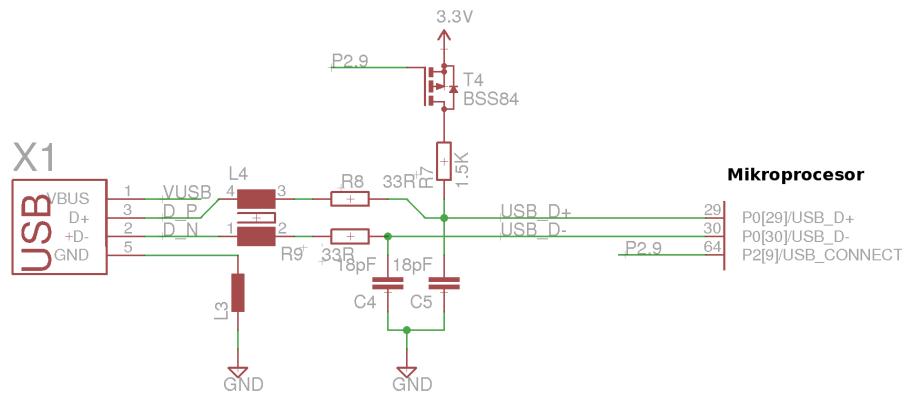
Obr. 3.5: Zapojení USB.

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 kmpatibilitu 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 dodavatel 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

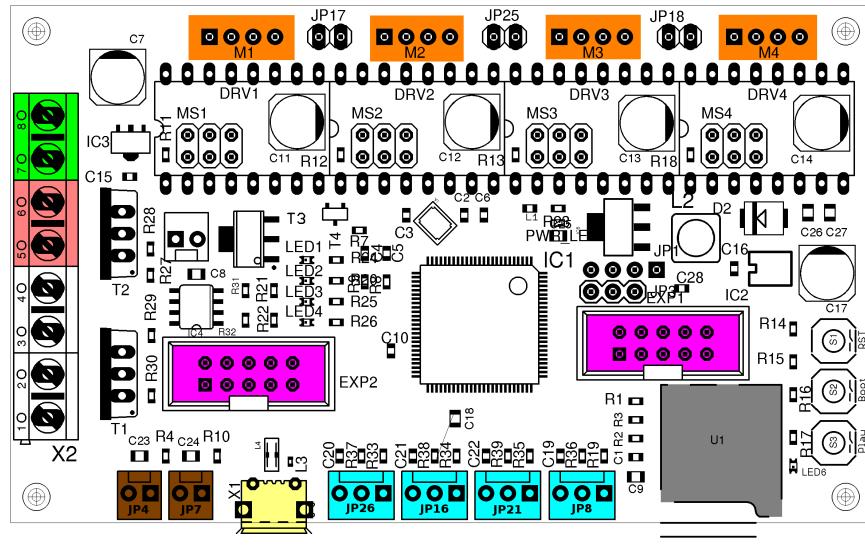
filt 744232161 od WURTH ELEKTRONIK (USB signál je diferenciální). Rovněž signálová zem USB konektoru byla připojena přes ferit. Po této úpravě začal být obvod plně spolehlivý.



Obr. 3.6: Zapojení USB.

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

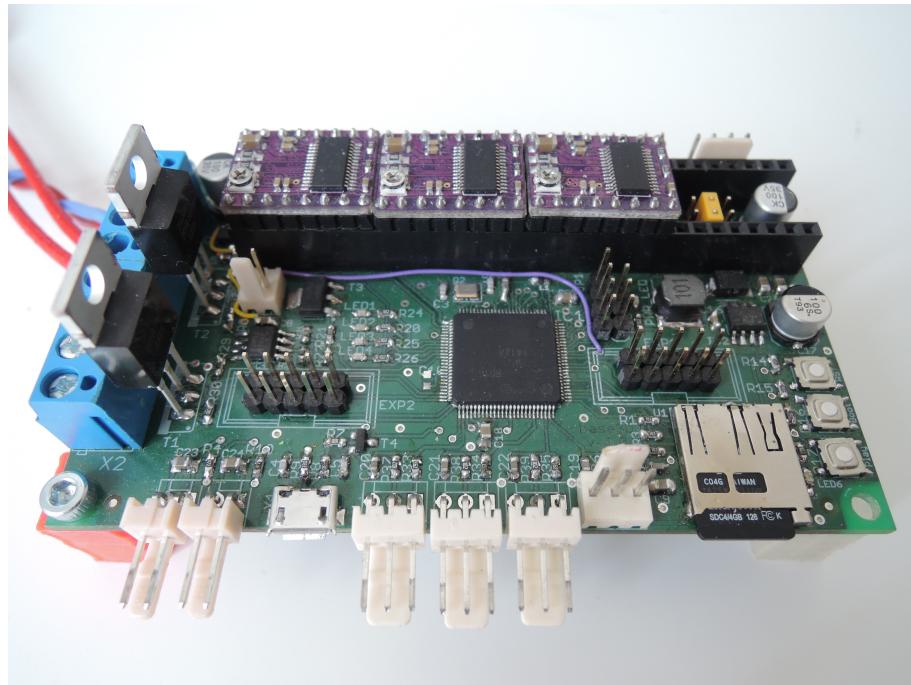
### 3.4 Zapojení konektorů



Obr. 3.7: Zapojení konektorů.

Tab. 3.3: 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. 3.8: Osazená řídící elektronika ve verzi 1.0.

## 4 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 zmínovaný 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

### 4.1 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 zmínovaný CadSoft Eagle, který je ve své základní verzi 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 umožňuje 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. 4.1: 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;%f;%f;\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 VÝSLEDKY STUDENTSKÉ PRÁCE**

Praktická část a výsledky studenstské práce vhodně rozdělené do částí.

## 6 ZÁVĚR

Limitace velikost soucastek, 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/>>.

## **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>46</b>
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	46
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	46
<b>B Druhá příloha</b>	<b>47</b>
<b>C Obsah přiloženého CD</b>	<b>48</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).