



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJU, SYSTÉMU A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

OPTIMALIZACE PŘEDMONTÁŽE PLANETOVÝCH KOLEČEK

OPTIMIZATION OF PRE-ASSEMBLY OF PLANETARY WHEELS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. PAVEL KREJCAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Krejcar Pavel, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Konstrukce strojů a zařízení (2302T010)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace předmontáže planetových koleček

v anglickém jazyce:

Optimization of pre-assembly of planetary wheels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Za spolupráce s pracovníky firmy Linde Pohony s.r.o. navrhnete realizaci strojní kontroly předmontovaných koleček na přítomnost jistícího kroužku formou kamer nebo kamerových sensorů, případně jiným opatřením. Vytvořte návrh předmontážního pracoviště s eliminací lidské chyby při kontrole planetových koleček. Při návrhu zohledněte faktory s vlivem na produktivitu: průběžný čas, takt výroby, směnný režim, tok materiálu.

Cíle diplomové práce:

Za spolupráce s pracovníky firmy Linde Pohony s.r.o. navrhnete realizaci strojní kontroly předmontovaných koleček na přítomnost jistícího kroužku formou kamer nebo kamerových sensorů, případně jiným opatřením.

Vytvořte konstrukční návrh předmontážního pracoviště s eliminací lidské chyby při kontrole planetových koleček.

Při návrhu zohledněte faktory s vlivem na produktivitu práce (průběžný čas, takt výroby, směnný režim, tok materiálu) a na jejich základě proveďte optimalizaci navrhovaného pracoviště.

Vytvořte sestavu navrhovaného pracoviště včetně základních výpočtů.

Vytvořte výrobní výkresy vybraných komponent.

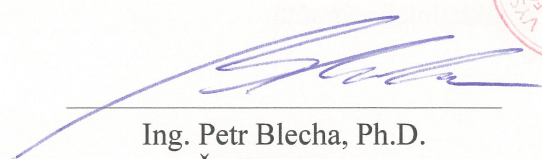
Seznam odborné literatury:

1. BRENÍK, P.; PÍČ, J. Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. ISBN 04-235-86
2. ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90
3. BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů I a II. Technický průvodce 6 Praha: SNTL, 1990.
4. NĚMEC, J.; DVOŘÁK, J.; HOSCHL, C. Pružnost a pevnost ve strojírenství. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.
5. Strojírenská příručka 1. - 8. díl. 1. vyd. Praha: Scientia. 1992-1998, ISBN 80-03-00-680-5, ISBN 80-85827-00-x, ISBN 80-85827-23-9, ISBN 80-85827-58-1, ISBN 80-85827-59-x, ISBN 80-85827-88-3, ISBN 80-7183-024-0
6. DRASTÍK, F. Normativně technická dokumentace. Ostrava: Montanex, 1998.
7. Nařízení vlády č. 24/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na strojní zařízení
8. ČSN ISO 7144 Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: ČSNI, 1996. 21 s. ICS 01.140.20
9. ČSN ISO 690-1: 1996. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: ČSNI, 1996. 32 s.
10. KOLÍBAL, Z.: Průmyslové roboty II - Konstrukce výstupních hlavic a periférií. VUT Brno, 1993
11. PALKO, A.- SMRČEK, J.: Koncové efekty pre priemyselné a servisné roboty. TU Košice, 2004, ISBN 80-8073-218-3
12. ČELPANOV, I. B.: Schvaty promyšlennyyh robotov. Mašinostrojenie, 1989
13. MATIČKA, R.- TALÁCKO, J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. SNTL Praha, 1991

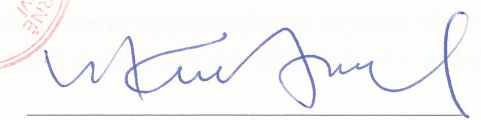
Vedoucí diplomové práce: Ing. František Bradáč, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 18.11.2009


Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu




doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstract of diplom thesis

The aim of my thesis is a cooperation with Linde Pohony s.r.o. Our aim is to suggest the realization of automatic control of pre-assembly of planetary wheels. The solution with CCD cameras and sensors is interpreted in a detailed way - their reliability suggestibility by milieu and attendance service. The second part continues a suggestion of automatized workplace with a full detailed drawings.

Abstrakt diplomové práce

Cílem mé diplomové práce je za spolupráce s pracovníky Linde Pohony s.r.o. navrhnout realizaci strojní kontroly předmontovaných koleček planetové převodovky na přítomnost jistícího kroužku formou kamer nebo kamerových systémů. V práci se zabývám druhy možných vad montáže a jejich detekcí. Detailně je zde rozebráno řešení pomocí CCD kamer a senzorů – jejich spolehlivost, ovlivnitelnost prostředím a obsluhou. Druhá část obsahuje návrh automatizovaného pracoviště s kompletní výkresovou dokumentací.

Bibliografická citace mé práce:

KREJCAR, P. *Optimalizace předmontáže planetových koleček*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. XY s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Bradáč, Ph.D

Prohlašuji, že při vypracovávání této diplomové práce jsem pracoval sám bez cizí pomoci. Podkladem mi byli odborné konzultace, níže uvedená literatura a webové stránky.

V Brně 16.5.2010

Bc. Pavel Krejcar

.....

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů a mnoha cenných rad při vypracovávání mé práce.

V Brně 16.5.2010

Bc. Pavel Krejcar

.....

Obsah:

1. Úvod	10
2. Stávající montáž	10
2.1 Postup montáže	10
2.1.1 Montáž ozubeného kola	11
2.1.2 Stávající kontrola	12
2.1.2.1 Světelná signalizace na lisu	12
2.1.2.2 Kontrola pracovníkem montáže	12
3. Montážní vady	13
3.1 Možné vady	13
3.1.1 Chybějící pojistný kroužek	13
3.1.2 Špatně zacvaklý pojistný kroužek	13
3.1.3 Chybějící distanční kroužek	14
4. Detekce vad	14
4.1 Principy detekce	14
4.1 Váhová detekce	15
4.2 Mechanické odměřování	15
4.3 Detekce pomocí laserového měření vzdálenosti	16
4.4 Průmyslová detekce obrazu	17
4.4.1 Historie průmyslové detekce obrazu	17
4.4.2 Význam optiky ve strojovém vidění	18
4.4.3 Význam osvětlení ve strojovém vidění	18
4.4.3.1 Analýza vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze strojového vidění	19
4.4.3.2 Analýza vlastností použitého světla	19
4.4.3.3 Geometrie osvětlení	20
4.4.3.4 Druhy osvětlovačů	22
4.4.3.5 Eliminace rušivých vlivů	25
5. Použitý kamerový systém Keyence CV-3100	26
5.1 Volba vhodného typu průmyslové kamery a její kritéria	26
5.1.1 Samotný charakter automatizované úlohy	26
5.1.2 Velikost plochy snímané scény	27
5.1.3. Volba kamery s dostačujícím rozlišením	27
5.1.4. Volba pracovní vzdálenosti	27
5.1.5 Konečná volba kamery	27
5.2 Volba vhodného typu objektivu	27
5.2.1 Výpočet ohniskové vzdálenosti	28
5.3 Volba vhodného nasvícení snímané scény	28
5.4 Práce s kamerou	29
5.4.1 Programování kamery	29
5.4.1.1 Inspekční nástroje	29
5.4.1.1.1 Pattern search	29
5.4.1.1.2 Area	29
5.4.1.1.3 Pattern Sort	29
5.4.1.1.4 Shape Trax	29

Obsah:

5.4.1.1.5 Edge Position	30
5.4.1.1.6 Edge Width	30
5.4.1.1.7 Edge Pitch	30
5.4.1.1.8 Edge Couning	30
5.4.1.1.9 Stain	30
5.4.1.1.10 Blob	30
5.4.1.2 Filtry snímků	31
5.4.1.2.1 Binary	31
5.4.1.2.2 Expand	31
5.4.1.2.3 Sobel	31
5.4.1.2.4 Shapen	32
5.4.1.2.5 Shrink	32
5.4.1.3 Inspekční okna	33
5.4.1.3.1 Najdi zuby	33
5.4.1.3.2 Změř mezeru	33
5.4.1.3.3 Najdi váleček	34
5.4.1.3.4 Spočti pixely	34
5.5 Vliv pracovní vzdálenosti kamery na výsledky snímání	35
5.5.1 Axiální posun	35
5.5.2 Radiální posun	36
5.6 Propojení kamerového systému s PLC	37
5.7 Řídicí aplikace PLC	37
6. Konstrukční řešení pracoviště	39
6.1 Koncepce konstrukce kontrolního pracoviště	39
6.1.1 Varianta 1 - Použití jedné kamery a vertikální točny	39
6.1.2 Varianta 2 - Použití jedné kamery a horizontální točny	39
6.1.3 Varianta 3 - Použití dvou kamer proti sobě	40
6.2 Varianty separace zmetků	41
6.2.1 Varianta 1- Použití propadové klapky	41
6.2.2 Varianta 2- Použití výhybkové klapky	41
6.3 Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant	42
6.3.1 Popis metody	42
6.3.1.1 Úvod	42
6.3.1.2 Bazická bodovací metoda	43
6.3.1.2.1 Technická hodnota	43
6.3.1.2.2 Aplikace a hodnocení metody	44
6.4 Volby jednotlivých komponent	46
6.4.1 Hradla zásobníku	46
6.4.1.1 Výpočet rozteče válců	47
6.4.2 Přidržovač	49
6.4.3 Pohon točny	49
6.4.4 Ovládání propadové klapky	51

Obsah:

7. Ekonomická rozvaha	52
7.1 Cíl	52
7.2 Metoda	52
7.3 Zjištění	52
7.4 Závěr	52
8. Závěr	53
9. Seznam použitých zdrojů	54
10. Seznam použitých zkratk a symbolů	55
11. Seznam příloh	56

1. Úvod

Firma Linde pohony s.r.o. se zabývá výrobou pohonných a řídicích systémů pro elektricky poháněné vysokozdvizné vozíky. Úkolem této práce je návrh pracoviště zajišťující kontrolu správné montáže planetové převodovky Typ : FZ 20



obr.1 Pohonná osa Linde FZ 20

2. Stávající montáž

2.1 Postup montáže

Montáž probíhá v několika krocích:

- montáž ozubeného kola
- montáž kola na unašeče
- montáž unašeče do převodové skříně

2.1.1 Montáž ozubeného kola

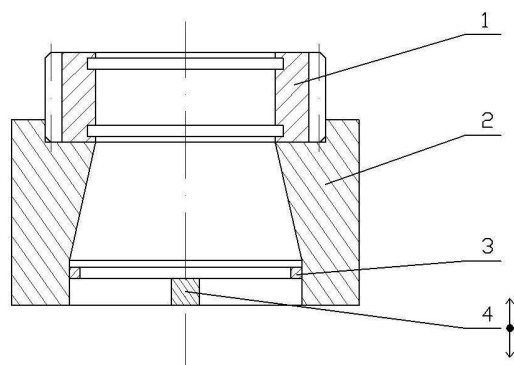


obr.2 Montážní pracoviště ozubených kol

- Ozubené kolo se skládá z
- vlastní kolo
 - válečkové ložisko INA F-217922.1
 - 2x distanční kroužek
 - 2x pojistný kroužek

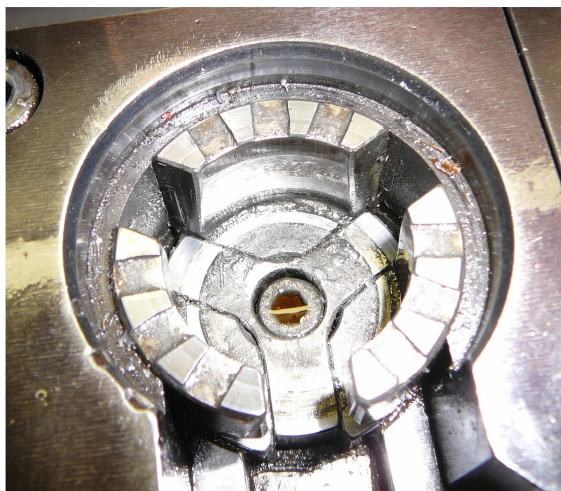
Postup montáže:

Montáž probíhá ručně s využitím pneumatického lisu. Na jeden krok lisu se montuje vždy 7ks kol. Nejprve se kolo uloží do vedení a zalisuje se spodní pojistný kroužek. Poté pracovník vloží do kola 1. distanční kroužek, ložisko a 2. distanční kroužek. Dále zalisuje horní pojistný kroužek. Posledním krokem při montáži ozubeného kola je přenesení k montáži unašeče.



1. Ozubené kolo
2. Kónické vedení
3. Pojistný kroužek
4. Třícípý píst

obr.3 Schéma montáže oz. kola



obr. 4 Třícípý píst

2.1.2 Stávající kontrola

Kontrola montáže je zajištěna dvěma kroky.

- a) Světelnou signalizací na lisu
- b) Samotným pracovníkem

2.1.2.1 Světelná signalizace na lisu

Princip:

Pohyb pístu zajišťuje válec Festo typ-AEVU, který je vybaven snímačem polohy-SME-8-S-LED-24. Snímač v případě dosáhnutí optimální polohy rozsvítí světlo na lisu.

Tato metoda se ukázala jako neefektivní a to proto, že v 5% správně smontovaných kuseů hlásí chybu a v neposlední řadě ji pracovníci montáže mohou snadno přehlédnout nebo obejít.

2.1.2.2 Kontrola pracovníkem montáže

Pracovníci montáže mají za úkol po montáži ještě ozubená kola zrakem překontrolovat. V této fázi se odhalí většina zmetků, ale vzhledem k monotónnosti práce i zde nastává 0.5% chyba.

3. Montážní vady

- 3.1 Možné vady** - Chybějící pojistný kroužek
 - Špatně zacvaknutý pojistný kroužek
 - Chybějící distanční kroužek

3.1.1 Chybějící pojistný kroužek

Příčina: Obsluha zapoměla vložit pojistný kroužek do lisu.

Četnost: Tato chyba se prakticky nevyskytuje a její odhalení je 100%, protože při montáži kola na unašeč se sestava kola samovolně rozloží.



obr.5 Kolo s chybějícím pojistným kroužkem

3.1.2 Špatně zacvaknutý pojistný kroužek

Tato chyba je nejzávažnější vadou její zjištění dnes závisí pouze na pracovníkovi. Ložisko v kole drží a tak při montáži nevypadne. Ložisko se uvolní až v provozu.

Příčina: Obsluha vložila dva a více distančních kroužků na jednu stranu kola.

Četnost: V 90% všech vad.



obr.6 Kolo se špatně zacvaknutým pojistným kroužkem

3.1.3 Chybějící distanční kroužek

Tato chyba se projeví zvětšením axiální vůle v ložisku, což vede ke snížení životnosti ložiska.

Příčina: Obsluha zapomněla vložit distanční kroužek

Četnost: v 10% všech vad



obr. 7 Kolo s chybějícím distančním kroužkem

4. Detekce vad

Od metody, která bude vyhodnocovat výše zmíněné chyby jsou očekávány následující funkce 95% rozpoznání vadného kusu, schopnost komunikace s řídicím systémem a malá časová náročnost na vlastní detekci.

4.1 Principy detekce

- Váhová detekce
- Mechanické odměřování
- Laserový snímač
- S využitím průmyslového zpracování obrazu

4.1 Váhová detekce

Tuto metodu jsem testoval s použitím kontrolní váhy Kern VC. Při kontrolním měření 20ks. správně smontovaných kol byla zjištěn rozptyl 3g. Jelikož váha distančního kroužku je 4g tato metoda je pro tuto aplikaci neprokazatelná.



obr. 8 Váha Kern VC

tab.1 Hodnoty vah zkompletovaných kol

Kus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
váha (g)	161	161	163	162	161	161	160	161	160	161	162	161	161	162	162	163	162	161	161	163

tab.2 Naměřené váhy

Váha max	163g
Váha min	160g
Rozptyl	3 g

4.2 Mechanické odměřování

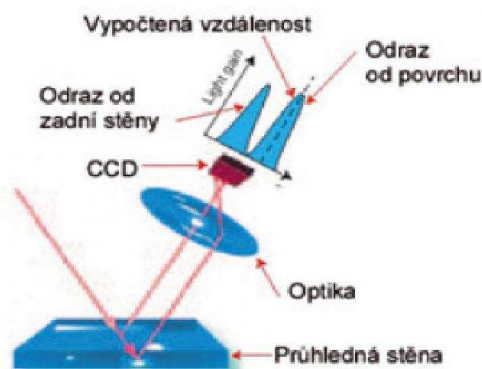
Tato metoda je již uplatněna při samotné montáži ozubených kol. Toto měření vykazuje i u 5% správně smontovaných kol zmetkovost. Jelikož již toto řešení je v montáži použito nebudu ho v následné kontrole používat.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.3 Detekce pomocí laserového měření vzdálenosti [9]

Přesné laserové měření vzdálenosti lze provádět s pomocí snímačů pracujících na základě laserové triangulace, induktivního nebo dotykového principu.

Nejmodernější snímače používají místo standardních detektorů PSD (Position Sensitive Detector) plošný snímač CCD (Charge Coupled Device) s číslicovým zpracováním polohy. Díky detekci polohy paprsku ve dvou osách lze docílit velice přesného měření a vzhledem k dynamickému rozsahu citlivosti, CCD snímače je měření nezávislé na charakteru povrchu předmětu. Typické rozlišení je 0,2 mm v celém měřicím rozsahu 20 až 200 mm. Číslicové zpracování signálů ve vyhodnocovací jednotce nabízí možnost přenosu dat mezi více snímači, standardní binární či analogové výstupy, softwarové nástroje pro dálkové měření či konfiguraci.

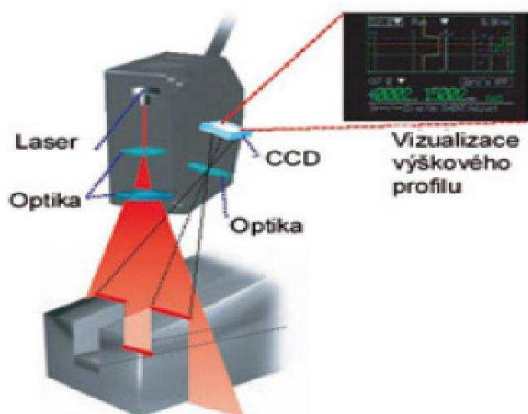


obr. 9 Laserové měření vzdálenosti skla [9]

Koncepce laserových snímačů řady firmy Omron se skládá ze snímací hlavičky a vyhodnocovací jednotky, která vedle zpracování vysílá obraz na monitor. Pomocí tlačítkové konzoly a rozbalovacího menu se provádí zaměření senzoru a konfigurace algoritmu. V hlavičce jsou instalovány laserový emitor a snímač CCD, který vyhodnocuje obraz paprsku. Senzor řady Z jsou vybaveny bodovým paprskem a metodami zpracování signálu, které dovolují detekovat i více stop paprsků nezávisle na rozdílu intenzity světla. Takové metody jsou výhodné při měření vzdálenosti (zejména velkých) a síly průhledných stěn (skla).

Na obr. 9 je znázorněn optický jev při měření vzdálenosti skla – odrazy paprsku nastávají na obou přechodech vzduch-sklo-vzduch. Běžné měření pomocí prvku PSD tyto odrazy vyhodnotí jako poměr mezi oběma maximy. Číslicové zpracování dovoluje jak eliminaci zadního odrazu (případ měření vzdálenosti), tak naopak z obou odrazů vyhodnotí tloušťku skla. Následné zpracování nabízí kromě základního měření např. i funkce opakovaného měření při pohybu (skenování), z nichž vyhodnocuje minima, maxima, průměrné hodnoty či další funkce. Měřicí hlavičky se dodávají s rozsahem 20 ± 1 mm až 600 ± 350 mm.

Řada snímačů R je vybavena optikou, která emituje čárový laserový paprsek. Odražený paprsek je snímán prvkem CCD (obr. 10). Číslicovým zpracováním obrazu je vyhodnocen výškový profil snímaného předmětu, který je zobrazen na monitoru (obr.11). Na výškový profil se dále aplikují měřicí či kontrolní algoritmy, které se liší podle typu jednotky. Snímače řady R jsou navrženy pro měření, proto standardně nabízejí několik variant algoritmů pro detekci šířky, výšky nebo polohy hran, které je možné přenášet jako data po rozhraní RS232C nebo analogový výstup 4 až 20 mA. Do nadřazeného systému lze také přenést kompletní výškový profil jako analogový signál. Snímače jsou vybaveny funkcí kompenzace odchylek obrazu, pro případ nepřesností během polohování. Řada R je navržena pro kontrolu kvality svarů a má tomu přizpůsobeny i algoritmy: vyhledávání odchylek od vzorového profilu, hlubokých vrypů, prasklin nebo propálených míst.



obr. 10 Laserové měření profilu [6]



obr. 11 Výškový profil[6]

Snímače řady R se dobře uplatňují při svařování komponent, kdy je před operací provedena kontrola správné pozice dílu. Laserový zdroj světla poskytuje výhodu spolehlivého snímání nezávisle na druhu povrchu materiálu a vyhodnocovací algoritmy dovolují měřit šířky mezery v místech, kde selhávají standardní metody. Tato aplikace je použita například v automobilce TPCA v Kolíně.

4.4 Průmyslová detekce obrazu [10]

Jelikož použití kamery je jedním z cílů této práce budu se této detekci více věnovat.

4.4.1 Historie průmyslové detekce obrazu [12]

Historie zpracování obrazu v počítači se začíná psát v sedmdesátých letech, kdy existující výpočetní technika již umožnila zpracování objemu dat který je spojen s obrazovou informací. Vznikl nový obor, který se začal nazývat počítačové vidění (computer vision). Tento název se dodnes používá k nejobecnějšímu označení systémů vykonávajících automatizovanou činnost na základě zpracování obrazu z kamery. Objektem počítačového vidění může být prakticky cokoli, například dopravní situace nebo lidská tvář či lidská činnost. A samozřejmě také proces výroby. Pro aplikace počítačového vidění v průmyslové výrobě se dnes obvykle používá termínu strojové vidění (*Machine Vision*).

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Systémy průmyslově zpracovávající obraz umožňují především měření a čtení čárových a 3D kódů, kontrola potisků, nalezení vad, identifikaci barev, rozpoznání polohy a druhu, počítání a kontrola úplnosti. Tyto systémy se využívají zejména tam, kde je třeba totální kvalita. Prakticky jediný způsob jak dosáhnout totální kvality a kontrolovat každý vyrobený kus či každou operaci je použití *Machine Vision*. Kvalitní výsledky s použitím těchto systémů lze dosáhnout za předpokladu, že jsou splněny další patřičné okolnosti, jako je kvalitní osvětlení snímané scény, odstínění této scény od dalších zdrojů sekundárního světelného záření, použití vhodného typu objektivu kamery, vhodného rozlišení snímacího čipu použité kamery a vhodně zvolené výšky umístění kamery. Aplikace kamerových systémů zaručuje méně zmetkových výrobků, automatickou optickou kontrolu objektivně, rychle a spolehlivě (rozměry, obrysy, tvary a přítomnost, správná montáž, orientace a kompletnost částí). Produktivitu zvyšuje automatické rozpoznání součástí, které jsou přiřazeny k různým kategoriím na základě tvaru, rozměrů, vzoru, kódu a označení.

4.4.2 Význam optiky ve strojovém vidění

Optická soustava, kterou je ve většině případů kamerový objektiv spolu s vhodným osvětlením má za úkol vytvořit na obrazovém senzoru takový dvojrozměrný obraz třírozměrné skutečnosti, který obsahuje vyhodnotitelnou informaci potřebnou pro vyřešení úlohy strojového vidění. Optická soustava vytváří obraz, který by měl splňovat následující parametry:

- dostatečné rozlišení
- vhodný kontrast
- dostatečnou hloubku ostrosti
- přijatelné geometrické zkreslení
- přijatelné perspektivní zkreslení

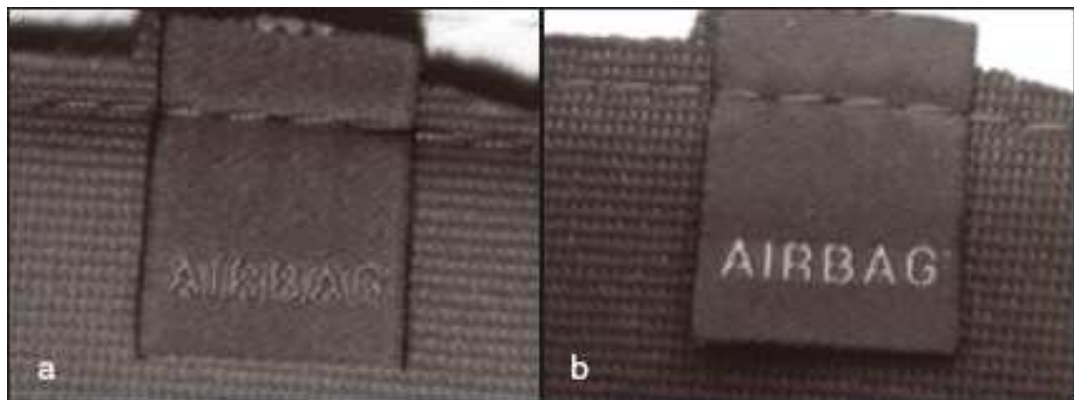
4.4.3 Význam osvětlení ve strojovém vidění

Správné osvětlení objektů je zásadní, aby všechny snímky měly konstantní osvit. Jen za této podmínky je možné očekávat opakovaně shodné řešení úlohy strojního vidění. Tuto zásadu lze snadno dodržet, je-li jediným zdrojem světla správně volený osvětlovač. V průmyslových provozech však téměř vždy působí i jiné zdroje světla: denní světlo a umělé osvětlení provozu. Jejich parametry nelze nepředvídat, protože závisí na denní a roční době, počasí a mnoha dalších okolnostech.

Nejjednodušším řešením je tyto nežádoucí zdroje světla odstínit. Pokud je to technicky nemožné, použije se osvětlovač s řádově větším světelným tokem, než mají nežádoucí zdroje, které se pak nepodílí výrazně na celkovém osvětlení. Takové osvětlovače, však mají relativně vysoký příkon, a proto se zapínají jen po dobu expozice.

Návrh optimální osvětlovací soustavy začíná analýzou interakce objektu a světla. Celý postup lze shrnout do následujících pěti bodů:

- 1) analýza vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze zpracování obrazu
- 2) analýza potřebných vlastností použitého světla
- 3) stanovení vhodné geometrie osvětlení
- 4) výběr vhodného osvětlovače
- 5) eliminace rušivých vlivů



obr 12 Objekt a) osvětlený halogenovou žárovkou b) osvětlený bílým světlem (zářivkou) [10]

4.4.3.1 Analýza vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze strojového vidění

tato analýza se zaměřuje především na následující vlastnosti objektu:

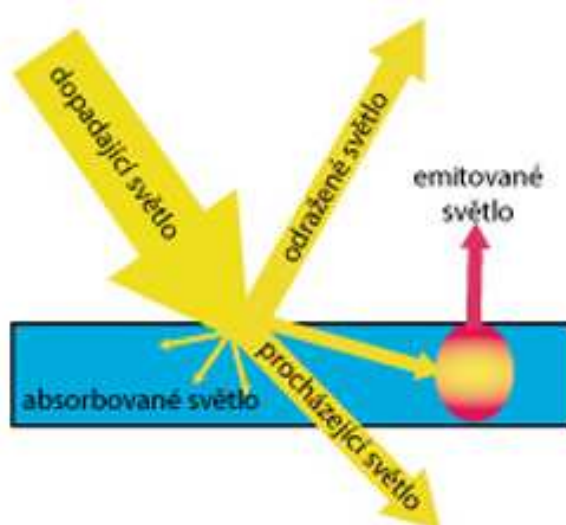
- Velikost absorpce/odrazivosti světla v zájmových místech objektu, která určuje kontrasty a lesky (souvisí rovněž s barvou objektu)
- Struktura povrchu v zájmových místech objektu, kterou je někdy nutné zvýraznit, jindy potlačit
- Členitost objektu (výstupky, otvory ..) vyžadující různé způsoby vytvoření či potlačení kontrastu v obraze
- Tvar a velikost objektu pro určení velikosti a vzdálenosti osvětlovače
- Průsvitnost a průhlednost částí objektu která může být využita nebo musí být potlačena
- Pozadí objektu, které může působit rušivě
- Možná změna polohy nebo případný pohyb objektu

4.4.3.2 Analýza vlastností použitého světla

Ke stanovení potřebných vlastností světla je třeba analyzovat, jak se bude použité světlo chovat v interakci se snímaným objektem a jak bude následně působit na obrazový senzor kamery.

Působení světla na objekt ukazuje obr. 13. Světlo, které dopadne z osvětlovače na sledovaný objekt se dle zákonů optiky rozdělí a část se ho odrazí, část způsobí v materiálu objektu emisi sekundárního záření, část se absorbuje a část projde. Každá z těchto částí se ve strojovém vidění může využít. Interakce světla s objektem závisí na barvě objektu a barvě (vlnové délce) světla. Na vlnové délce světla závisí i množství akumulovaného náboje, tedy citlivost kamery.

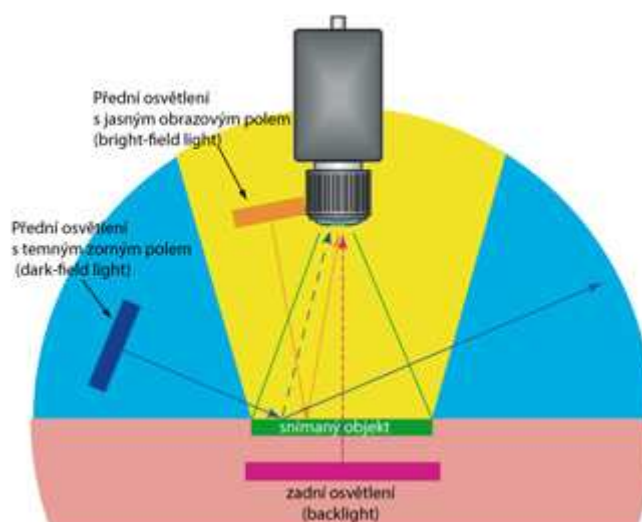
Ve strojovém vidění se nejčastěji používá kombinace černobílé kamery a osvětlovače s červeným světlem. Tato kombinace je výhodná z hlediska spektrální citlivosti většiny kamer, v mnoha případech však nemusí přinést optimální výsledky, neboť kontrasty vytvořené na objektu absorbcí monochromatického červeného světla se mohou podstatně lišit od kontrastů viditelných okem v bílém světle.



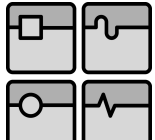
obr 13 Působení světla na objekt [10]

4.4.3.3 Geometrie osvětlení

Pro různé způsoby vytvoření kontrastu zájmové a rušivé části objektu ustavili výrobci osvětlovačů následující názvosloví pro používané geometrie osvětlení: (obr14.)



obr. 14 Geometrie osvětlení [10]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Geometrie osvětlení je dána i složením světelného svazku. Paprsky ve svazku mohou být rovnoběžné, pak se jedná o kolimované světlo s rovnoběžnými paprsky. Difusní, plně rozptýlené světlo má paprsky rovnoměrně ložené ve všech směrech. Složení světelného svazku reálného osvětlovače se vyskytuje mezi těmito dvěma extrémy. Paprsky dopadají na objekt v určitém rozmezí úhlů, světlo je více směrované nebo rozptýlené.

Obecně platí, že rozptýlené světlo snižuje kontrasty způsobené členitostí objektu a strukturou povrchu a zvýrazní kontrasty způsobené absorbcí. Naopak, chceme-li kontrastně zobrazit členění objektu, volíme světlo směrované.

Přední osvětlení s jasným obrazovým polem

Jde o nejsnáze pochopitelný způsob osvětlení objektu; osvětlovač osvětluje objekt tak, aby světlo od něj odražené dopadalo přes objektiv na obrazový snímač. Osvětlení se využívá ve spojení s rozptýleným světlem pro vytvoření kontrastů na základě rozdílné absorpce. Méně často se při předním osvětlení s jasným obrazovým polem používá i světlo směrované.

Přední osvětlení s temným zorným polem

Využívá světla směrovaného tak, aby členité části objektu odrážely světlo objektivem na obrazový senzor, zatímco povrch objektu odráží světlo mimo. Tím se vytvoří kontrastní obraz členitostí povrchu v temném poli – z této vlastnosti je odvozen i název.

Zadní osvětlení

Používá se k vytvoření obrazu obrysu objektu, typicky v úlohách měření rozměrů. Nutné je rovněž pro vytvoření kontrastního obrysu objektu za průhlednou lesklou překážkou. Nejčastěji používá rozptýlené světlo.

4.4.3.4 Druhy osvětlovačů [8]

Na trhu je velký výběr osvětlovačů které realizují výše uvedené způsoby osvětlení. Dnes se již téměř výhradně používají osvětlovače s diodami LED jako zdroji světla. LED nepotřebují vysoké napětí a jejich světelný tok se snadno reguluje. Vlastnosti světla se s časem mění jen málo a mají dlouhou životnost.

Plošná osvětlovací pole (Area Array)

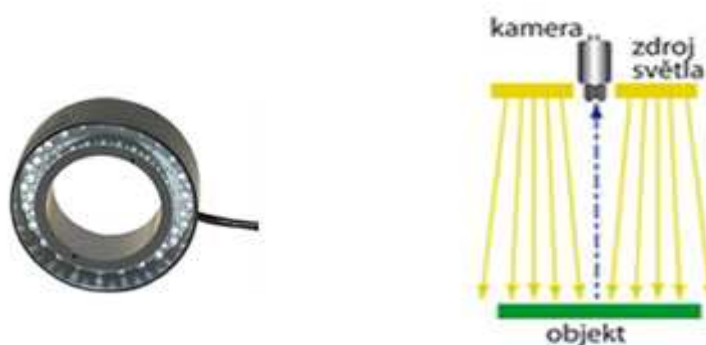
Plošná osvětlovací pole poskytují většinou směrované světlo. Rozptýlení je dáno vyzařovacím úhlem použitých diod LED. V nenáročných aplikacích může nahradit i nákladnější osvětlovače pro osvětlení s jasným obrazovým polem a rozptýleným světlem. Často se používá jako zdroj směrovaného světla pro osvětlení, osvětlení s tmným zorným polem. Malá a speciální pole se využívají i jako pomocná světla nebo jako zdroje pro složitější osvětlovací soustavy.



obr. 15 Plošný osvětlovač, princip [10]

Kruhový osvětlovač (Ring)

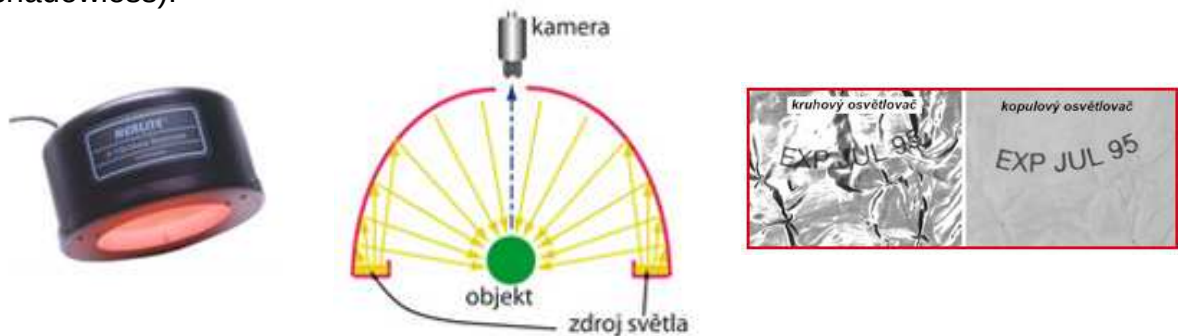
Kruhový osvětlovač poskytuje více rozptýlené světlo směřující od objektivu kamery. V principu jde o osvětlovač pro osvětlení s jasným obrazovým polem a rozptýleným světlem, nemá ovšem zcela ideální vlastnosti, zvláště v provedení jednoduchého kruhu LED, který výrobci někdy přidávají kolem objektivu kamery.



obr. 16 Kruhový osvětlovač, princip [10]

Kopulový osvětlovač (Dome)

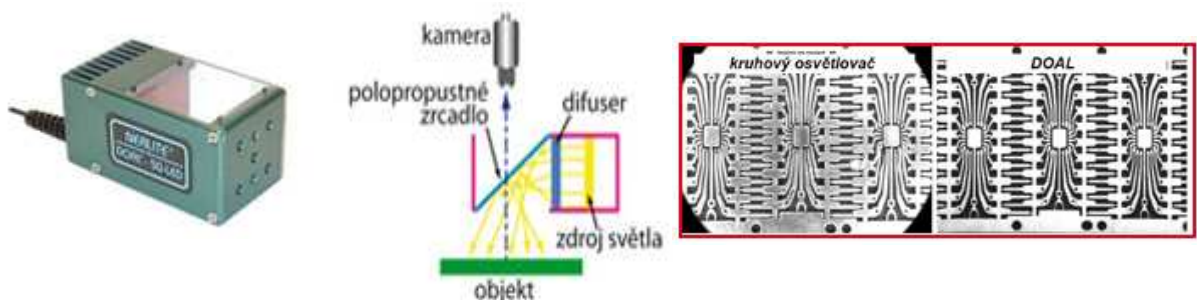
Používá se pro osvětlení s jasným obrazovým polem, kdy je nezbytně nutné osvětlit objekt světlem skutečně rozptýleným. To je, například, úloha čtení tištěných nápisů na zmačkané lesklé fólii. Rozptýlené světlo se v osvětlovači vytváří difusním odrazem na vnitřní ploše polokoule. Osvětlení se někdy říká bezstínové (shadowless).



obr.17 Kopulový osvětlovač , princip, porovnání kruhový/kopulový[10]

DOAL osvětlovač (koaxiální)

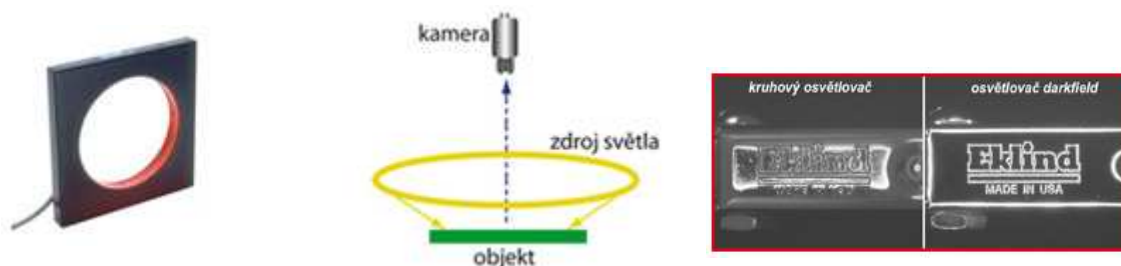
DOAL (Diffused ON Axis Lighting) osvětlovač poskytuje nejdokonalější osvětlení s jasným obrazovým polem a rozptýleným světlem. Difusor zaručuje lepší rozptýlení světla a konstrukce s polopropustným zrcadlem zaručuje, že světlo dopadá rovnoměrně z celé plochy nad objektem, tedy i z prostoru před objektivem kamery. Nevýhodou je vyšší cena a omezené zorné pole.



obr. 18 DOAL osvětlovač, princip, porovnání kruhový/DOAL [10]

Dark-Field osvětlovač

Jak již z názvu vyplývá, poskytuje přední osvětlení s temným zorným polem. Realizuje jej jako světlo směřované v rovině téměř kolmé k ose objektivu kamery. Typickým příkladem využití dark-field osvětlovače je zdůraznění gravírovaných nebo laserem vypálených značek či nápisů. Typický dark-field osvětlovač používaný pro takové účely je tvořen kruhem LED diod s úzkou vyzařovací charakteristikou svítících téměř v rovině kruhu do jeho středu.

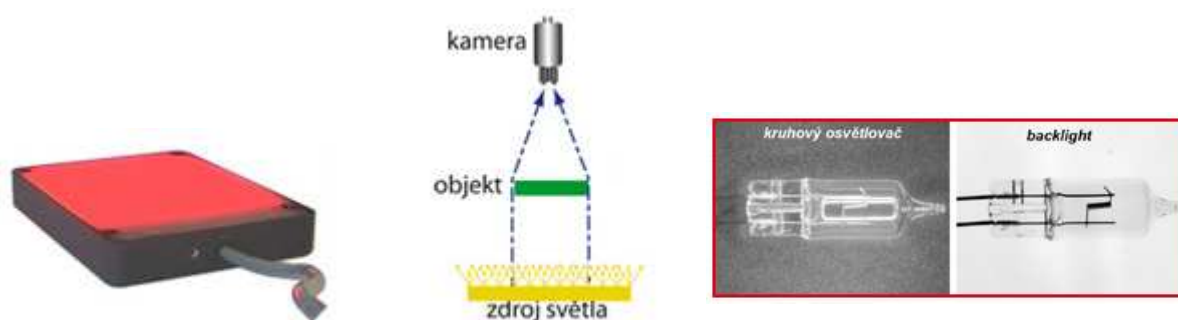


obr.19 Kopulový osvětlovač , princip, porovnání kruhový/dark-fieldý [10]

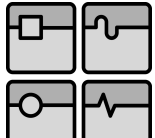
Backlight

Zadní rozptýlené světlo je nejčastějším případem využití zadního osvětlení. Používá se hlavně v úlohách měření pro získání obrysu měřené součásti. Dalším typickým příkladem je úloha rozpoznání nebo nalezení polohy součásti v průhledném pouzdru – kontrola vlákna žárovky.

Backlight osvětlovač je konstruován jako pole diod LED s předřazeným velkoplošným rozptylovačem (difusorem). Protože úloha měření obrysu vyžaduje zcela homogenní zadní světlo, je třeba při volbě osvětlovače tento parametr vzít v úvahu.



obr. 20 Backlight osvětlovač, princip, porovnání kruhový/backlight [10]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Řízení osvětlovačů

Při požadavku nepřetržitého osvětlení není třeba osvětlovač nijak řídit. Pokud se světlo zapíná jen v okamžiku expozice, je nutné využít řídicí jednotky, kterou obvykle dodává výrobce osvětlovačů. Prakticky všechny systémy strojového vidění mají digitální výstup umožňující synchronizaci světla se snímkem, který lze přímo propojit s řídicí jednotkou osvětlovače. Někdy je výhodné využít i možnost řízení výkonu (světelného toku) osvětlovače. Pak je možné eliminovat event. snížení světelného toku způsobené například stárnutím světelného zdroje zvýšením příkonu.

4.4.3.5 Eliminace rušivých vlivů

Pokud by byl jediným zdrojem světla správně volený osvětlovač, bylo by snadné docílit pro každý snímek stále stejného jasového obrazu na obrazovém senzoru. Výsledky inspekce by pak byly opakovatelné. V prostředí průmyslového provozu však téměř vždy existují i jiné zdroje světla. Patří sem v první řadě denní světlo a umělé osvětlení provozu. Parametry těchto zdrojů jsou prakticky nepředvídatelné; závisí na denní a roční době, počasí a mnoha dalších okolnostech.

Nejjednodušším řešením je tyto nežádoucí zdroje světla odstínit. Pokud je to technicky nemožné, použije se osvětlovač, který je schopen vytvořit řádově vyšší osvětlení než nežádoucí zdroje. Vliv rušivého světla pak působí jen relativně malé změny v celkovém osvětlení. Nutný světelný tok takového osvětlovače je však většinou velmi vysoký a relativně vysoký je i jeho příkon. Proto se osvětlovač zapíná jen po dobu expozice. Blikání intenzivního světla však často působí nepříjemně na případnou lidskou obsluhu, způsobuje únavu a při dlouhodobém působení i zdravotní potíže. Vysoké osvětlení také často vyžaduje velké zaclonění objektivu, což někdy nemusí být žádoucí.

Dalším rušivým vlivem může být nejistota v poloze objektu (zařízení, které zajišťuje nastavení objektu před kameru pracuje s velkou tolerancí). Osvětlovač je nutné volit a instalovat tak, aby tolerovaná změna polohy nezpůsobila odlišné vytváření kontrastů v jasovém obrazu.

Další příčinou kolísání osvětlení mohou být nečistoty – prach, který se usazuje na aktivní ploše osvětlovače. Je tedy třeba zajistit pravidelné čištění osvětlovače. Ve skutečně prašných provozech je dokonce třeba osvětlovač čistit průběžně ofukováním stlačeným vzduchem. Při nevhodné konstrukci zapouzdřeného osvětlovače se prach může dostat dovnitř a usadit se například na rozptylovačích, zrcadlech a dalších optických prvcích. Snížení svítivosti nemusí být okem registrovatelné a přesto může způsobit nevysvětlitelné zvýšení chyby měření.

5. Použitý kamerový systém Keyence CV-3100

Kamerový systém CV-3100 pracuje na principu digitálního zpracování obrazu. Uživatel má k dispozici 32 nezávislých programů, ve kterých je 64 měřicích oken. Základním elementem kamerového systému CV-3100 je řídicí jednotka koncipovaná jako autonomní systém, v němž jsou zpracovávány obrazy a naměřená data. K řídicí jednotce jsou připojeny všechny periferní jednotky: kamery, monitor, ovladač, paměťová karta, PLC, senzory, rozhraní. RS-232C, USB a Ethernet

Díky použité technologii DSP (*Digital Signal Processing*) a ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) je čas zpracování obrazu přibližně 3 ms (20 000 vzorků/s). Tomu napomáhá i digitalizace obrazu z prvku CCD (*Charge Coupled Device*) přímo v jednotce kamery. Tím se též výrazně zlepšila kvalita obrazu a odolnost proti rušivým vlivům, kterým jsou data vystavena na cestě mezi kamerou a řídicí jednotkou.

Kombinací zpracování subbodů s digitálním zpracováním obrazu dosahuje CV-3100 vysoké přesnosti a opakovatelnost blíží se k $\pm 0,05$ bodu. Snímání obrazu lze provádět až dvěma kamerami v jednom okamžiku.



obr. 21 Kamerový systém Keyence CV-3100 [3]

5.1 Volba vhodného typu průmyslové kamery a její kritéria

Na správné volbě kamerového systému závisí celý výsledek inspekčního procesu. Je-li zvolena špatná kamera, nebo je-li umístěna nesprávně či snímá nesprávnou scénu, nemůže být požadovaný výsledek dosažitelný. Proto je třeba volbě správného typu kamery věnovat zvýšenou pozornost. Tento výběr se odvíjí od několika aspektů.

5.1.1 Samotný charakter automatizované úlohy

Obecně existuje několik přístupů jak v průmyslových automatizovaných systémech realizovat spolupráci kamery a řídicích systémů. Je to buď statické umístění jedné kamery nad snímanou scénou, nebo použití více kamer v různých úhlech, ze kterých si pak ŘS skládá potřebnou informaci. Další možností je i technické řešení, využívající jednu kameru, před kterou se kontrolovaný objekt otočí, aby kamera mohla nasnímat všechny potřebné pohledy.

5.1.2 Velikost plochy snímané scény

Jelikož kontrola bude probíhat na speciálním pracovišti velikost snímané plochy bude určovat pouze průměr snímaného kolečka tj $\varnothing 50\text{mm}$. Velikost snímané scény by neměla být o moc větší, aby bylo maximálně využito rozlišení kamery.

5.1.3. Volba kamery s dostačujícím rozlišením

Jelikož kamery Keyence mají již v základní řadě 2 Mega pixely bude nám tato základní řada stačit.

5.1.4. Volba pracovní vzdálenosti

Při volbě pracovní vzdálenosti jsem vycházel z velikosti kamery, objektivů a osvětlení. Dalším omezením minimální pracovní vzdálenosti je zorné pole kamery, které omezuje pracovní vzdálenost na minimálně 100mm. Vzhledem k předchozím omezením volím pracovní vzdálenost kamery 120mm.

5.1.5 Konečná volba kamery

Na všech výše zmíněných aspektech závisí konečné stanovisko při výběru vhodného typu kamery. Po zohlednění všech kritérií byla vybrána průmyslová kamera CV-200M ze systému CV-3100 od firmy Keyence.

tab.3 Základní vlastnosti dle [3]

Snímací čip	černobílý, 2010000 pixelů
Použitelné pixely	1920000, 1600x1200
Frekvence přenosu	4 MHz
Typ montáže	C mount
Elektronická závěrka	1/15, 1/30, 1/60, 1/120, 1/240, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/10000, 1/20000
Přenos dat	Digitální sériový
Teplota prostředí	0-40°C
Relativní vlhkost	35-85%
Váha	110g

5.2 Volba vhodného typu objektivu

V kapitole 4.4.2 byly uvedeny význam a vlastnosti optického systému při zpracování obrazu. Podle typu snímacího čipu použitého ve vybrané kameře CV-200M a podle pracovní vzdálenosti kamery od snímané scény lze vypočítat ohniskovou vzdálenost objektivu. Při tomto výpočtu budeme také pro zjednodušení a další požadavky brát v úvahu velikost snímané scény o rozměrech 60mm x 60mm . Jedná se o šířku scény o 10mm širší než je rozměr kola.

5.2.1 Výpočet ohniskové vzdálenosti [11]

$$\frac{f}{WD} = \frac{w}{W} = \frac{h}{H} = \frac{4}{60} = 0.066$$

$$f = 0.066 \cdot WD = 0,066 \cdot 120 = 8mm$$

w= 4mm voleno dle [4]

W=60mm zadáno

h= 4mm voleno dle [4]

WD=120mm voleno v 5.1.4. (1)

Volím objektiv Keyence CA-LH8

tab.4 Základní vlastnosti dle [3]

Ohnisková vzdálenost	8 mm
Minimální vzdálenost	100mm
Typ montáže	C mount
TV zkreslení	-0,6%
Váha	83g

5.3 Volba vhodného nasvícení snímané scény

Kritéria pro volbu správného typu osvětlení byly uvedeny v kapitole 4.4.3. Při testech jsem použil kruhový i koaxiální osvětlovač. Při použití koaxiálního osvětlovače se prakticky neprojevoval účinek cizích zdrojů světla, bohužel jeho cena je řádově vyšší než cena kruhového osvětlovače, který je navíc kompaktnější a méně náchylný na prach. Proto volím kruhový osvětlovač Keyence CA-DRW4F, jehož funkci podpořím zakrytováním celé scény.

5.4 Práce s kamerou

Práce s kamerou probíhá buď s použitím PC nebo pomocí vlastního vývojového prostředí které je součástí řídicí jednotky kamery. K řídicí jednotce se pouze připojí monitor a vše se ovládá přes speciální konzoly.

5.4.1 Programování kamery

Po spuštění programu nejprve provedeme základní nastavení systému. To spočívá v nastavení závěrky kamery, zaostření objektivu, nastavení intenzity osvětlení, určení prohledávané plochy a tvorbě referenčních obrazů.

Dalším krokem je vytvoření inspekčních oken. Jsou dva typy oken, 1. tzv. hledající polohu a 2. v nalezené poloze provádějící inspekční úkol.

5.4.1.1 Inspekční nástroje

Kamery se používají na celou škálu inspekčních aplikací a i proto mají velice mnoho inspekčních nástrojů.

5.4.1.1.1 Pattern search

Tento nástroj patří k základním nástrojům. Jeho principem je podobný nebo registrovaný snímek, uložený v paměti porovnat s aktuálním snímkem. Tento nástroj může být použitý k pozicování předmětu v prohledávané ploše, určení úhlu natočení předmětu a určení shodnosti se vzorem.

5.4.1.1.2 Area

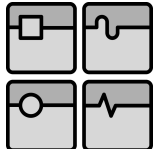
Tento nástroj umožňuje zachytit snímek v odstínech bílé nebo černé. Area nástroj zachytí snímek a ten převede na binární data. Z převedených data poté umožňuje měřit ve vytyčeném prostoru počet bílých/černých pixelů. Area patří mezi inspekční nástroje. Je zde možnost nastavení několika hladin limitů.

5.4.1.1.3 Pattern Sort

Na rozdíl od nástroje Pattern search Pattern Sort může detekovat v jednom inspekčním okně více cílů. Cíle mohou být rozdílné. Tyto cíle jsou poté dle registrovaných snímků určeny a rozděleny do skupin. Pattern sort umožňuje počítání cílů, měření úhlu natočení jednotlivého cíle, jeho pozici a shodnost se vzorem

5.4.1.1.4 Shape Trax

Tento nástroj je určen k nejpřesnějšímu určení pozice úhlu natočení a určení shodnosti se vzorem. Na rozdíl od Pattern search, který porovnává pouze hrany obrysu Shape trax používá i hrany na povrchu cíle nebo ty které jsou poškozené.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5.4.1.1.5 Edge Position

Tento nástroj umožňuje ve vytyčené oblasti najít hranu a určit její pozici (úhel natočení pozici v souřadnicích). Hledání provádí buď po přímce nebo po kružnici.

5.4.1.1.6 Edge Width

Tento nástroj umožňuje nalézt ve vybrané oblasti najít hrany a změřit vzdálenost mezi nimi v pixelech. Limit vzdálenosti lze nastavit pro minimální i maximální hodnotu. Hledání provádí buď po přímce nebo po kružnici.

5.4.1.1.7 Edge Pitch

Pomocí tohoto nástroje můžeme změřit minimální, maximální nebo průměrnou vzdálenost mezi vícenásobnými hranami. Hledání provádí buď po přímce nebo po kružnici.

5.4.1.1.8 Edge Counting

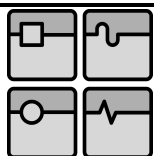
Tento nástroj umožňuje určit počet hran ve vybrané oblasti. Hledání provádí buď po přímce nebo po kružnici.

5.4.1.1.9 Stain

Tento nástroj je vhodný k detekci trhlin, otřepů a odchylek popisků na snímku. Snímek je rozdělen na segmenty. Intenzita segmentů je porovnávána se segmenty z registrovaného snímku.

5.4.1.1.10 Blob

Tento nástroj je vhodný k detekci skvrn na povrchu výrobku. Umožňuje jejich pozicování, změření obvodu, úhel natočení, určení těžiště, kruhovitost každé skvrny.

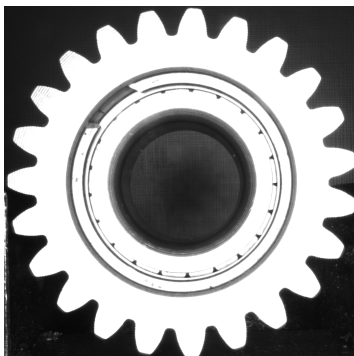


5.4.1.2 Filtry snímků

Druhy:

5.4.1.2.1 Binary

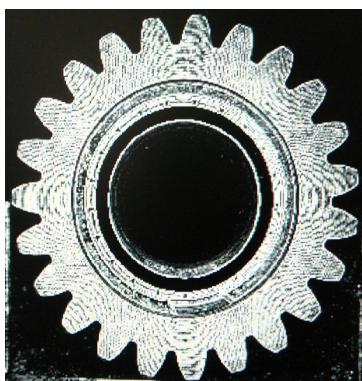
Binary filtr převede snímek na extrémy bílé a černé.



obr. 22 Snímek filtrovaný pomocí filtru Binary

5.4.1.2.2 Expand

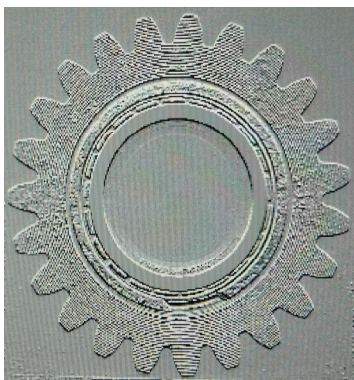
Bílé pixely jsou rozšířeny a černé odstraněny.



obr. 23 Snímek filtrovaný pomocí filtru Expand

5.4.1.2.3 Sobel

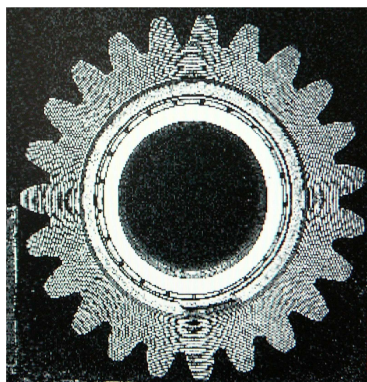
Hrany v horizontálním i vertikálním směru jsou vytaženy.



obr. 24 Snímek filtrovaný pomocí filtru Sobel

5.4.1.2.4 Shapen

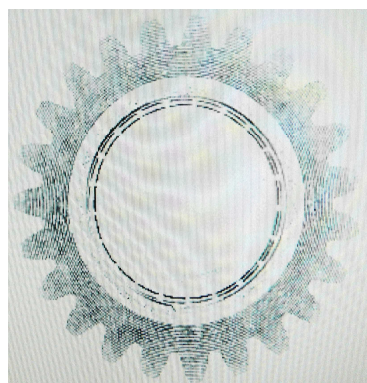
Místo kde je změna v intenzitě záření je rozšířeno.



obr. 25 Snímek filtrovaný pomocí filtru Shapen

5.4.1.2.5 Shrink

Bílé pixely jsou zvětšeny.



obr. 26 Snímek filtrovaný pomocí filtru Shrink

Nastavení filtrů

Každý filtr lze dle potřeby ještě doladit. U všech výše zmíněných filtrů lze :

- Zvětšit velikost základního bodu filtru ze základních 3x3 na 5x5 pixelu
- Vícenásobné použití filtru 1-9x
- Specifikovat jak zpracovávat hrany
 - zpracovávat všechny pixely
 - zpracovávat jen bílé/černé pixely

5.4.1.3 Inspekční okna

5.4.1.3.1 Inspekční okno-Najdi zuby

Typ okna - polohovací

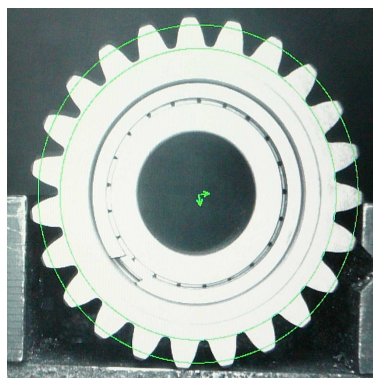
Použitý nástroj – Pattern search

Filtr – Binary

Úkol - určení polohy kola na točně.

Použitá maska: Mezikruží

Jako nejlepší se po sérii testu ukázalo centrovat kolo za vnější ozubení. Centrování za vnitřní díru ložiska se ukázalo jako nespolehlivé a to díky tomu, že vnitřní kroužek ložiska má rozdílné zaoblení.



obr. 27 Snímek – Najdi zuby s nastavenou maskou mezikruží, filtrovaný

5.4.1.3.2 Inspekční okno – Změř mezeru

Typ okna - kontrolní

Použitý nástroj – Edge width

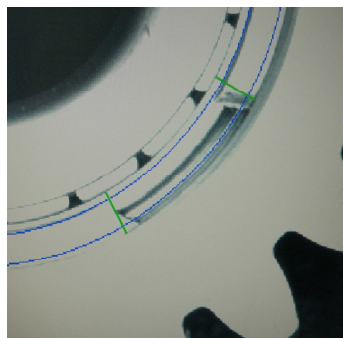
Filtr – Binary

Limit - 23pixelů

Úkol – změření velikosti mezery v pojistném kroužku.

Použitá maska – mezikruží

Při testech byla naměřena velikost mezery 14-18 pixelů u vadných koleček a 25-28 pixelů u koleček s dobře namontovaným pojistným kroužkem. Minimální počet pixelů jsem zvolil 23. Při tomto limitu je dostatečná rezerva na případné odlesky způsobené naolejovanými pojistnými kroužky.



obr. 28 Snímek - Změř mezeru s nastavenou maskou mezikruží, filtrovaný

5.4.1.3.3 Inspekční okno – Najdi váleček

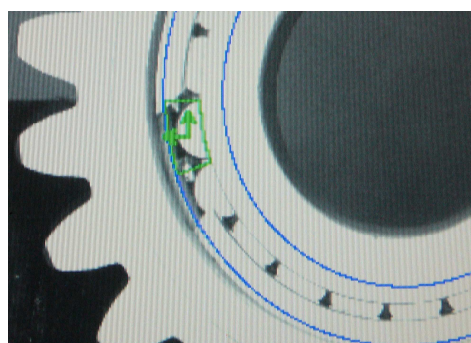
Typ okna - polohovací

Použitý nástroj – Pattern search

Filtr – Binary

Úkol – Nalezení válečku v kole bez distančního kroužku

Použitá maska – Výsek mezikruží



obr. 29 Snímek – Najdi váleček s nastavenou maskou mezikruží, filtrovaný

5.4.1.3.4 Inspekční okno – Spočti pixely

Typ okna - kontrolní

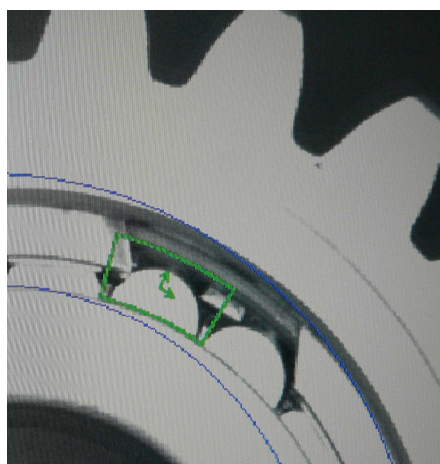
Použitý nástroj – Area

Filtr – Binary

Limit - minimum 400pixelů

Úkol – Spočtení pixelů v okolí nalezené výseče.

Při testech kamery byl naměřený počet pixelů ve výseči 100-200 pixelů u koleček bez distančního kroužku. U koleček s distančním kroužkem byl počet naměřených pixelů 600-1000. Proto jsem zvolil minimální počet pixelů 400, což zajišťuje dostatečnou jistotu správnosti rozhodnutí.



obr. 30 Snímek – Spočti pixely, filtrovaný

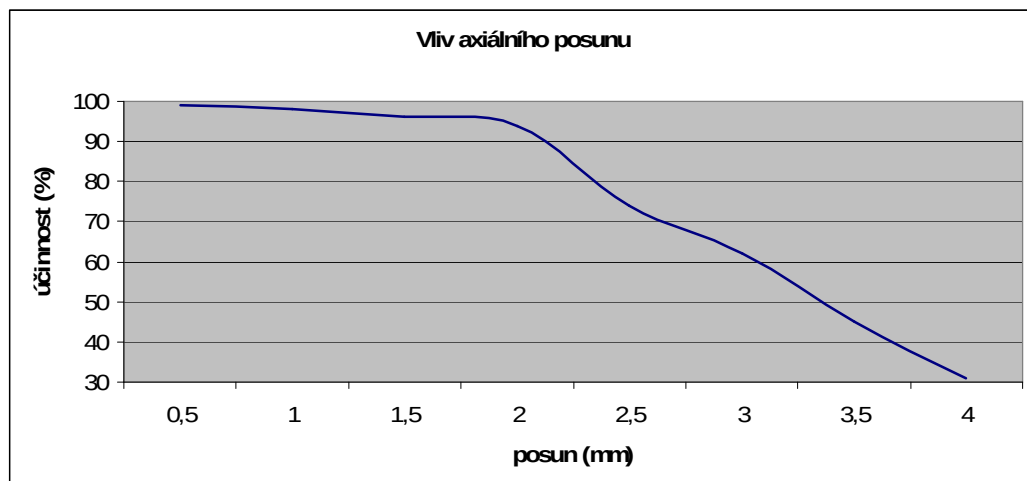
5.5 Vliv pracovní vzdálenosti kamery na výsledky snímání

Při zkouškách kamery jsem provedl i test kamery, při kterém jsem zvětšoval pracovní vzdálenost. Také jsem zkoušel kameru při posunu objektu v radiálním směru.

5.5.1 Axiální posun

Při testech kamery na axiální posun od ideální pracovní vzdálenosti jsem zvětšoval pracovní vzdálenost po 0,5mm. Na každé vzdálenosti jsem provedl 20 měření.

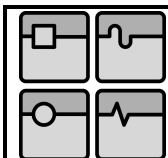
Graf 1. Vliv axiálního posuvu na výsledky snímání



tab.5 Naměřené a vypočtené hodnoty měření

Účinnost(%)	99	98	96	94	74	62	45	31
Posun(mm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

Závěr: Z přiloženého grafu je patrné, že změna axiálního posuvu do 2mm od ideální pracovní vzdálenosti má zanedbatelný význam. Jestliže je axiální posun více jak 2 mm výsledky snímání začnou prudce klesat.



5.5.2 Radiální posun

Při testech kamery na radiální posun kola jsem kolo radiálně posouval po 0.5 mm od osy kamery za konstantní pracovní vzdálenosti. Na každé vzdálenosti jsem provedl 20 měření.

Graf 2. Vliv radiálního posuvu na výsledky snímání



tab.6 Naměřené a vypočtené hodnoty měření

Účinnost(%)	97	95	96	96	95	94	93	93
Posun(mm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

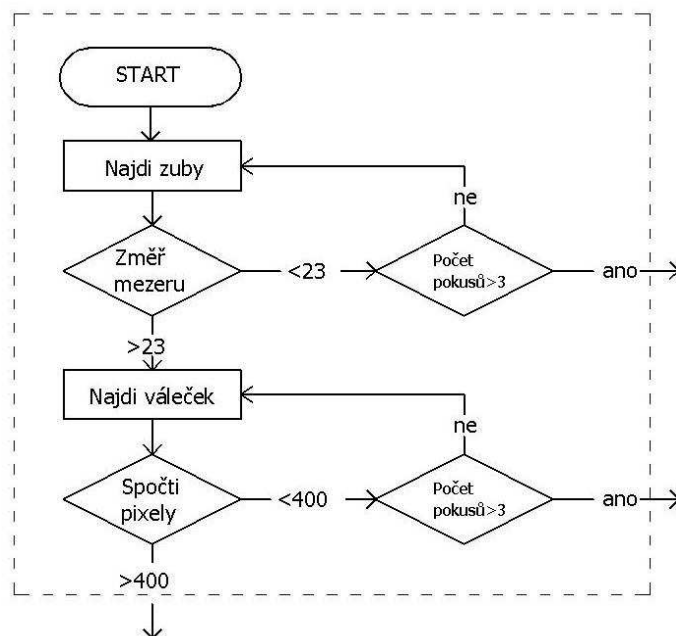
Závěr: Z přiloženého grafu je patrné, že radiální posun snímaného objektu dokáže kamera korigovat, aniž by došlo k podstatnému zhoršení výsledkům snímání.

5.6 Propojení kamerového systému s PLC

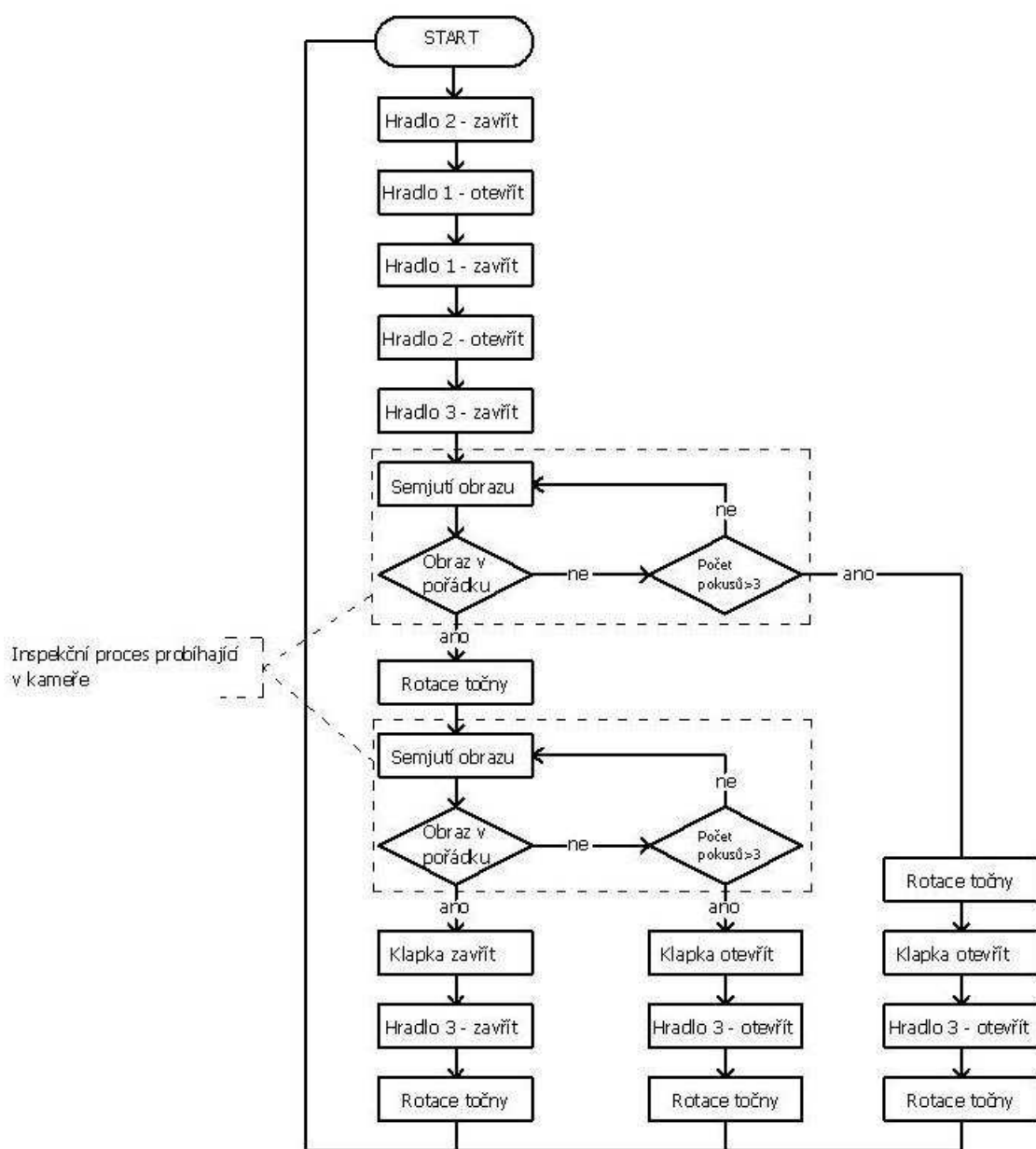
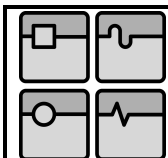
Nové kontrolní pracoviště bude řízeno PLC Simens S7-300, které již ovládá stávající montážní pracoviště ozubených kol. Komunikace mezi PLC a řídicí jednotkou kamery je možná přes dvě rozhraní. Jako první možnost je propojení přes konektor RS-232C s využitím protokolu ASCII nebo přes síť Industrial Ethernet. Při použití obou rozhraní není nutné stávající zařízení doplňovat o další moduly či jiná zařízení.

5.7 Řídicí aplikace PLC

Pro popis základních funkcí a požadovaného chování řídicí aplikace byl vytvořen vývojový diagram uvedený na obr. 32. Tento vývojový diagram popisuje kompletní chování kontrolního stanoviště. V praxi je však rozdělen na dvě části. Řídicí aplikace provádějící komplexní řízení a část aplikace, která je prováděna v samotné kameře (inspekční proces). Z vývojového diagramu je patrné, že tento řídicí proces má sekvenční charakter. Jednotlivé části procesu na sebe bezprostředně navazují a jsou vykonávány sekvenčně – postupně jedna za druhou.



obr. 31 Schéma inspekčního procesu v kameře

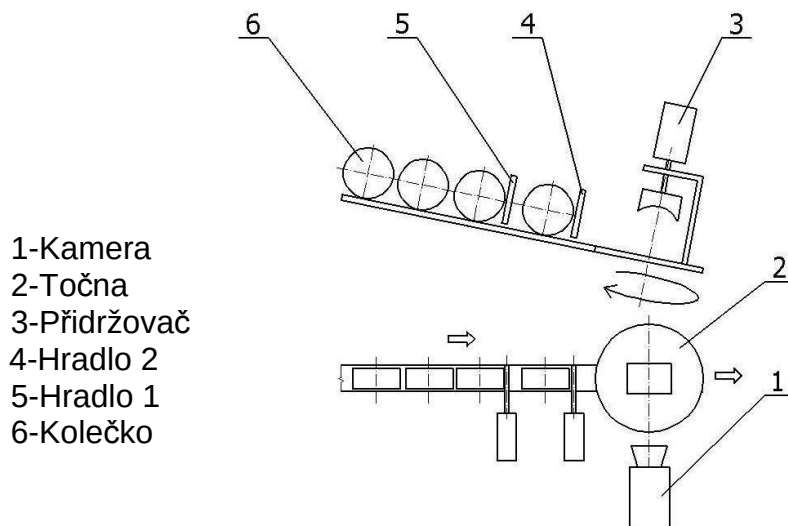


obr. 32. Vývojový diagram řídicí aplikace

6. Konstrukční řešení pracoviště

6.1 Koncepce konstrukce kontrolního pracoviště

6.1.1 Varianta 1- Použití jedné kamery a vertikální točny

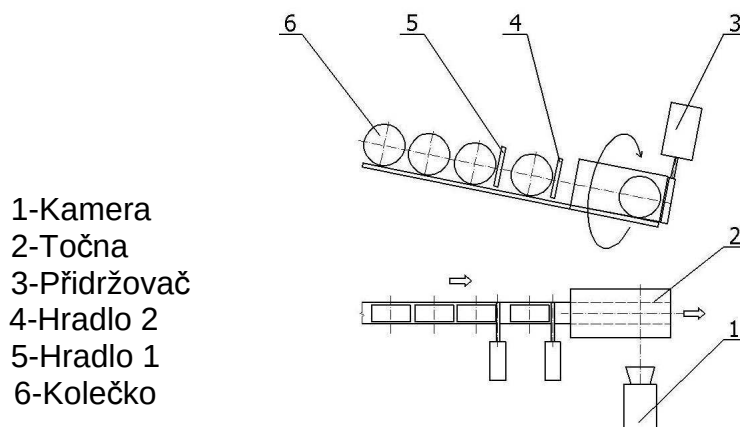


obr. 33 Schéma varianty s jednou kamerou a vertikální točnou

Princip: Kolečka čekající v zásobníku jsou pomocí hradla 1 oddělena. Hradlo 2 pustí jednotlivé kolo na vertikální točnu, kde je kolo zajištěno přidržovačem. Kamera kolo zkontroluje, poté jej točna otočí 180° a následně kamera zkontroluje druhou stranu kola.

- Výhody velké použitím normalizovaných dílů
- Nevýhodou je omezený výhled kamery způsobený vedením kola

6.1.2 Varianta 2 - Použití jedné kamery a horizontální točny

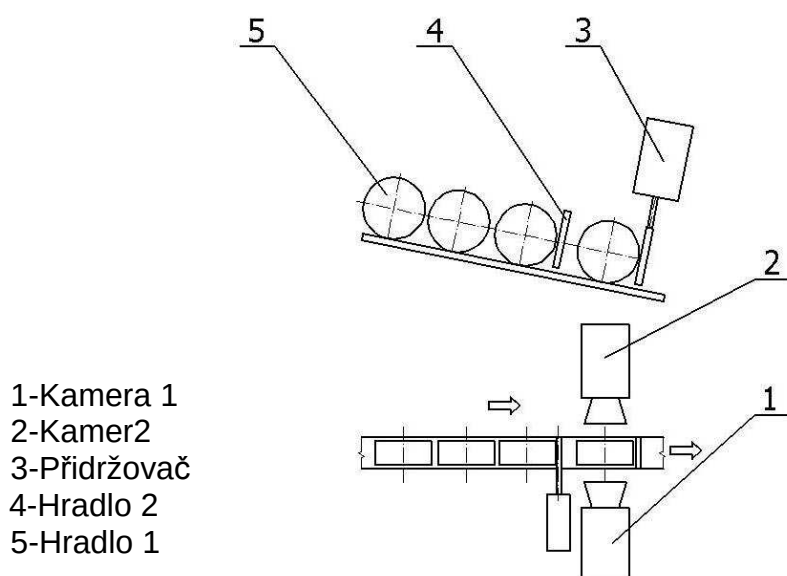


obr. 34 Schéma varianty s jednou kamerou a vertikální točnou

Princip: Kolečka jsou rozdělena stejně jako u varianty 1. Poté jednotlivé kola vjede do horizontální točny kde jej kamera zkontroluje nejprve z jedné strana a po otočení z druhé strany. Po kontrole hradlo 3 pustí kolo dále.

- Nevýhoda je použití el. pohonu točny a složitá konstrukce horizontální točny což danou variantu značně prodražuje
- Výhodou je, že obraz kamery není ničím rušen

6.1.3 Varianta 3 – Použití dvou kamer proti sobě



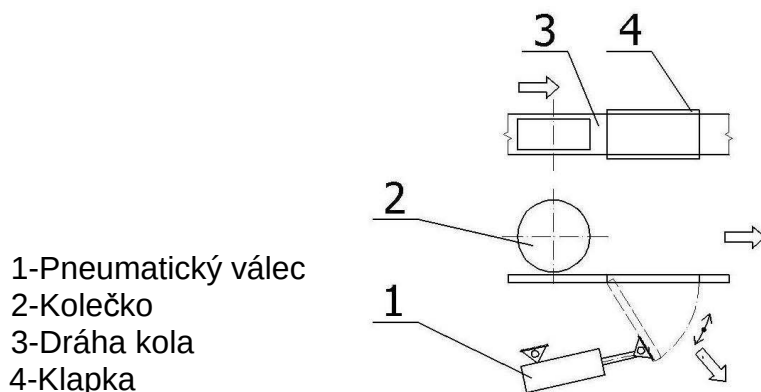
obr. 35 Schéma varianty s dvěma kamerami

Princip: Pomocí hradla 1 je odděleno jedno kolo které je zastavena hradlem 2 a následně nasnímáno pomocí dvou protilehlých kamer. Po kontrole hradlo 2 pustí kolo dále.

- Výhodou této varianty je jednoduchost konstrukce, prakticky minimální možnost závady
- Nevýhodou je vysoká pořizovací cena kamery a horší rozlišovací schopnosti kamer způsobené chybějícím kontrastním pozdím

6.2 Varianty separace zmetků

6.2.1 Varianta 1- Použití propadové klapky

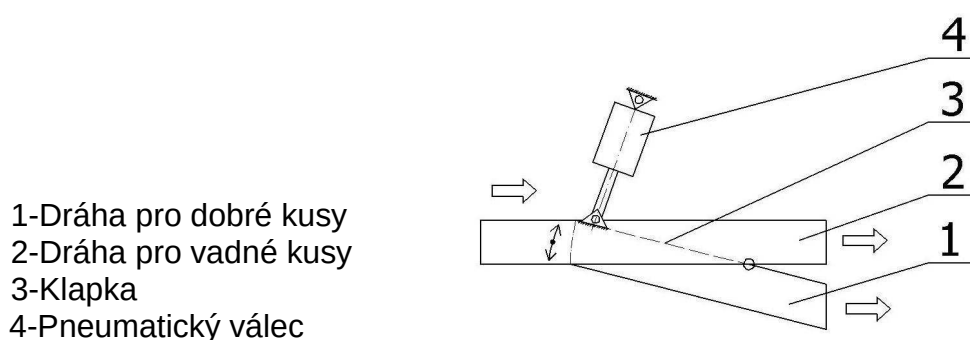


obr. 36 Schéma varianty s propadovou klapkou

Princip: V dráze kola je umístěná propadová klapka, která je ovládaná pomocí pneumatického válce. Pokud je kolo vyhodnoceno jako vadné, válec otevře klapku a kolo propadne do připravené přepravy.

- Výhodou této varianty je minimální možnost vzpříčení kola
- Nevýhodou je zvýšení celé konstrukce

6.2.2 Varianta 2- Použití výhybkové klapky



obr. 37 Schéma varianty s výhybkovou klapkou

Princip: Dráha kola je rozdělena na dvě části první pro dobré kusy druhá pro vadné. Výhybková klapka, které je ovládaná pomocí pneumatického válce otevře vždy jen jednu část dráhy dle výsledku snímání kola.

- Výhodou této varianty je přístupnost dráhy po celé délce
- Nevýhodou je možnost vzpříčení kola díky zakřivení dráhy

6.3 Multikriteriální metoda hodnocení navrhovaných variant [1]

6.3.1 Popis metody

6.3.1.1 Úvod

Při výběru nového zařízení, výrobku či obecně technického objektu, stojíme často před otázkou, který zvolit ze široké nabídky trhu a následně zda jsme zvolili správně. K tomuto problému můžeme přistupovat buď subjektivně (nadřazená restrikce naznačí, „kdo by měl vyhrát“ po vyhlášení hospodářské soutěže a ukončení výběru dodavatele) nebo si necháme zpracovat expertní posudky od nezávislých odborníků. Ovšem jako seriózní se jeví skutečnost, že užijeme systematických a racionálních metod práce využívající objektivizující matematický aparát. V našem případě využijeme poslední možnost, kdy za využití metod systémového přístupu můžeme paralelně srovnávat například několik nabídkových projektů na dodávku výrobku (stroje, zařízení apod.), nebo provádět výběr z množství několika variantních řešení (například projekty).

Cílem hodnocení například nabídkových projektů je souhrnně vyjádřit technicko-ekonomickou (dále je TE) úroveň jednotlivých návrhů a určit pořadí jejich výhodnosti. Porovnání TE úrovně technických objektů (nejen výrobků ale i technologických procesů, racionalizačních návrhů hodnotové analýzy ap.). Je obtížné proto, že TE úroveň je popisována soustavou TR parametrů, o různých jednotkách. Problém přímé nesčitatelnosti hodnot parametrů se musí řešit různými způsoby agregace těchto hodnot tak, aby bylo možné vyjádřit TE úroveň jedinou hodnotou. K tomuto účelu bylo vypracováno několik postupů, souhrnně označovaných jako metody multikriteriálního hodnocení [1].

Každý předkládaný projekt má obvykle dvě stránky:

- **Technickou**, která vyjadřuje funkční vlastnosti projektu a její úroveň je definována stupněm plnění všech funkcí projektu $\Sigma^{\circ}F_j$.
- **Ekonomickou**, která vyjadřuje náklady na zabezpečení těchto funkcí **N**

Zatímco náklady lze poměrně snadno zjistit, neboť jednotlivé nákladové položky mají stejné jednotky a jsou tedy sčitatelné, stupeň plnění funkcí je třeba určit právě pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení. Pak teprve lze určit poměrnou efektivní hodnotu (PEH) každého projektu a podle klesající hodnoty PEH projekty seřadit.

$$PEH = \Sigma^{\circ}F_j/A$$

Nejužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou:

- bážická bodovací metoda
- metoda pořadí
- metoda PATTERN

6.3.1.2 Bazická bodovací metoda

Protože se obvykle předkládané varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, patří tato metoda mezi metody multikriteriálního hodnocení. Hodnocená hlediska jsou vyčíslitelná a to významně zjednodušuje proces hodnocení. Použitím bazické bodovací metody se porovnává hodnocená varianta se vzorovým řešením – vzorovým etalonem – bází.

Hodnocení konkrétní varianty probíhá jak po stránce technické (označení τ), tak i po ekonomické (označení ϵ). Technická i ekonomická hodnota varianty se posléze umísťuje do roviny hodnotícího diagramu ($\epsilon = f(\tau)$), kde je její výhodnost patrná ze vztahu k jiným, rovněž zaneseným variantám.

Stručnou podstatu metody a postup při aplikaci lze uvést v následujících bodech:

- Nejprve je třeba provést reprezentativní výběr parametrů (vlastností). Je třeba vyloučit vzájemně závislé parametry. Jejich počet by měl být omezen na podstatné a spolehlivě zjistitelné.
- Stanoví se bodovací stupnice, která hodnotí buď kvalitativní nebo kvantitativní hodnoty parametrů.
- Určí se významnost (váha) parametrů.
- Proveďte se hodnocení

6.3.1.2.1 Technická hodnota τ

A) Při identifikaci varianty se hodí celá řada **faktorů, parametrů a vlastností**, které označíme jako $T_1, T_2, \dots, T_n$, tj. **$T(1, \dots, n)$**

kde : n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností

n = obvykle (1-100)

B) Hodnotu každého faktoru, parametru a technické vlastnosti vyjádříme pomocí třídníku $t_1, t_2, \dots, t_j$ se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. : **$t(1, \dots, j)$**

kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti

t_j = maximální hodnota

s kvantifikací a se slovním hodnocením: $t_1 = 0$ = nevyhovující (min)

$t_2 = 1$ = velmi slabé

$t_3 = 2$ = vyhovující

$t_4 = 3$ = dobré

$t_5 = 4$ = velmi dobré

$t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%)

(max)

Doporučený rozsah stupnice třídníku: $t(1, 6)$ nebo $t(1, 10)$ atd.

I když je hodnocení faktorů subjektivní je však podloženo objektivně zjistitelnými parametry a vlastnostmi.

C) Hodnocený faktor, parametr, vlastnost lze vyjádřit i procentuálně: $p_T = 100/t_j$ [%]

D) **Relativní technická hodnota** n-tého hodnota faktoru, parametru, vlastnosti je pak : $T_n \cdot t_j$

E) **Význam (váhu)** jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak dle důležitosti rozlišíme koeficienty g_n (≤ 1), tedy : $0 < g_n \leq 1$

F) **Technický stav hodnocené varianty** dle a různých hledisek je pak :

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_j \cdot t_j, \dots, g_n \cdot t_n)$$

G) **Konečná technická hodnota varianty** je pak vyjádřena:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{\max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_j} \leq 1$$

kde : g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti

n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

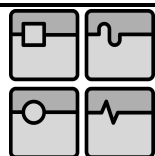
V procentuálním vyjádření : $\tau \leq 100$ %

Konečná technická hodnota (např. zcela nového, továrně vyrobeného produktu) činí : $\tau = 100$ %

6.3.1.2.2 Aplikace a hodnocení metody

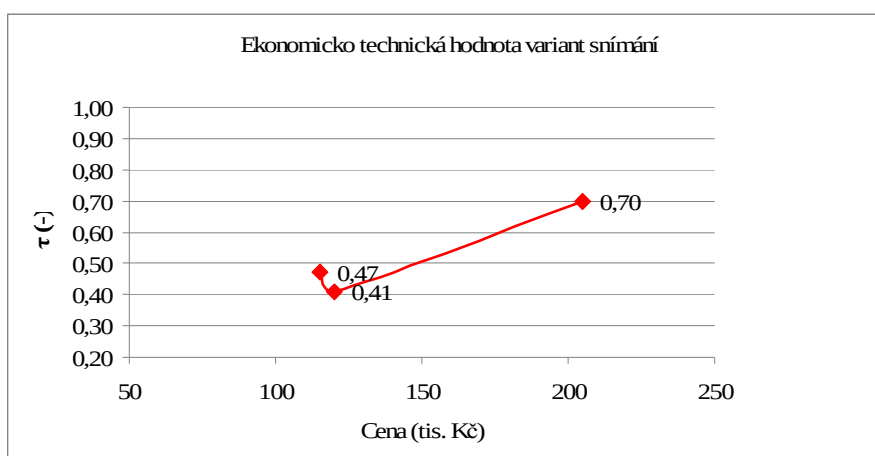
tab.7 Hodnocení konstrukce kontrolního pracoviště

n	VLASTNOST	OZN.	V1				V2				V3			
			t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n
1	Jednoduchost konstrukce	T1	3	0,9	40	2,7	1	0,9	33	0,9	4	0,9	60	3,6
2	Výhled kamery	T2	3	0,8	70	2,4	5	0,8	90	4	4	0,9	90	5
3	Časová náročnost	T3	4	0,2	40	0,8	3	0,2	40	0,6	5	0,2	60	1
4	Spolehlivost	T4	4	0,6	33	2,4	3	0,6	33	1,8	4	0,6	25	2,4
5	Hmotnost	T5	4	0,2	40	0,8	2	0,2	40	0,4	5	0,2	50	1

tab.8 Hodnocení technické hodnota variant konstrukce kontrolního pracoviště τ

var.	τ
1	0,47
2	0,41
3	0,70

Graf 3 Konečná (technicko-ekonomická) hodnota variant



Závěr:

Varianta 3 má sice nejvyšší technickou hodnotu ale její cena je vůči této hodnotě neúměrná a proto volím jako optimální variantu 1.

tab. 9 Hodnocení variant separace zmetků

n	VLASTNOST	OZN.	V1				V2			
			t_j	g_n	p_T	t_n	t_j	g_n	p_T	t_n
1	Jednoduchost konstrukce	T1	4	0,8	40	3,2	3	0,8	30	2,4
2	Ovládání	T2	5	0,5	30	2,5	5	0,5	30	2,5
3	Spolehlivost	T3	4	0,9	60	3,6	3	0,9	50	2,7
4	Kapacita	T4	3	0,3	40	0,9	4	0,3	40	1,2

tab.10 Konečná technická hodnota variant separace zmetků τ

var.	τ
1	0,59
2	0,47

Závěr:

Jelikož ekonomická náročnost na obě varianty je prakticky stejná, jako jediné kritérium volby použiji technickou hodnotu a proto volím variantu 1.

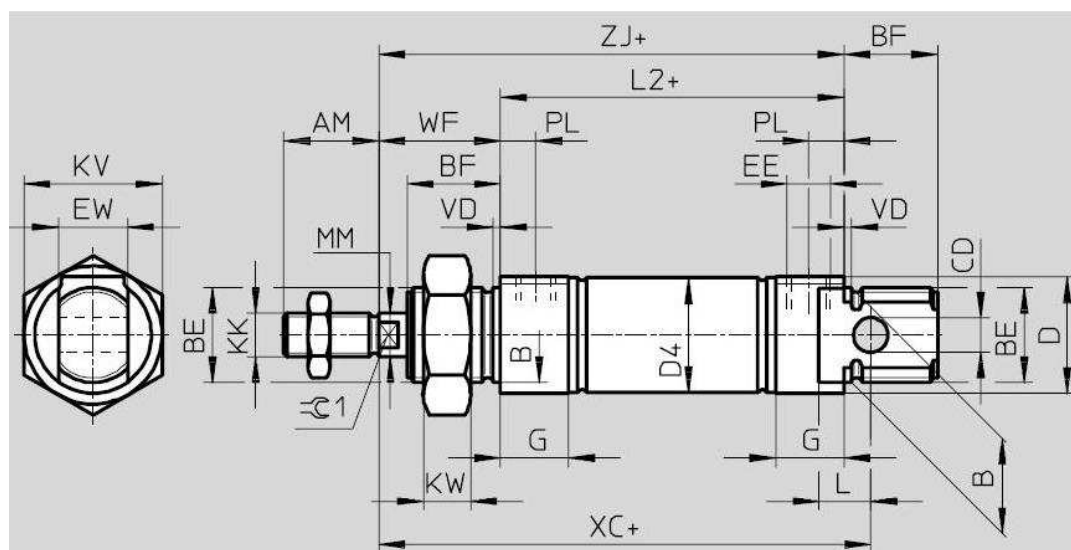
6.4 Volby jednotlivých komponent

6.4.1 Hradla zásobníku

Hradla slouží k rozdělení koleček čekajících v zásobníku. 1. Hradlo přidržením druhého kola za vnitřní díru odděluje první kolo z řady čekajících. Hradlo 2 má za úkol pustit oddělené kol na točnu. K přehrazení dráhy zásobníku jsem použil dvoučinnné válce. Zvolil jsem značku FESTO typ DSNU-8-25-P-A. Přehrazení zajišťují samotné pístnice. Upevnění válců k základní desce je provedeno pomocí patkového upevnění FESTO-HBN.

tab.11. Technické informace válce DSNU

$\varnothing$ pístu	zdvih	posuvná síla	zpětná síla	připojení	hmotnost
8mm	25 mm	30 N	23N	M5	62 g



obr.38. Rozměry válce Festo DSNU [5]

tab.12 Rozměry válce DSNU v mm.

AM	ø B h9	BE	BF	ø CD	ø D	ø D4	EE	EW	KK
12	12	M12	12	4	15	9,3	M5	8	M4
KV	KW	L	L2	ø MM	PL	VD	WF	XC	ZJ
19	6	6	46	4	6	2	16	64	62

6.4.1.1 Výpočet rozteče válců

Průměr základní kružnice

$$d = z \cdot m = 23 \cdot 2 = 46mm$$

$$\begin{array}{ll} z = 23 & \text{zadáno} \\ m = 2mm & [2] \end{array}$$

(3)

Průměr hlavové kružnice

$$d_a = d + 2m = 23 + 2 \cdot 2 = 51mm$$

$$\begin{array}{ll} d = 23 & \text{vypočteno (3)} \\ m = 2mm & \text{zadáno} \end{array}$$

(4)

Vzdálenost os

$$a = \frac{d + d}{2} = \frac{23 + 23}{2} = 23mm$$

$$d = 23mm \quad \text{vypočteno (3)}$$

(5)

Maximální vzdálenost středu 1. kola od 2. hradla

$$l_{k\max} = d_a + \frac{d_a}{2} = 51 + 25,5 = 76,5mm$$

$$d_a = 51mm \quad \text{vypočteno (4)}$$

(6)

Minimální vzdálenost středu 1. kola od 2. hradla

$$l_{k \min} = a + \frac{d_a}{2} = 46 + 25,5 = 71,5 \text{ mm}$$

$$d_a = 51 \text{ mm}$$

vypočteno (4)

$$a = 46 \text{ mm}$$

vypočteno (5)

(7)

Maximální délka rozteče os válců

$$l_{v \max} = l_{k \min} + \frac{d_l}{2} - \frac{d_p}{2} = 71,5 + \frac{18}{2} - \frac{4}{2} = 78,5 \text{ mm}$$

$$l_{k \min} = 71,5 \text{ mm}$$

vypočteno (7)

$$d_l = 18 \text{ mm}$$

zadáno

$$d_p = 4 \text{ mm}$$

[5]

(8)

Minimální délka rozteče os válců

$$l_{v \min} = l_{k \max} - \frac{d_l}{2} + \frac{d_p}{2} = 76,5 - \frac{18}{2} + \frac{4}{2} = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_{k \max} = 76,5 \text{ mm}$$

vypočteno (6)

$$d_l = 18 \text{ mm}$$

zadáno

$$d_p = 4 \text{ mm}$$

[5]

(9)

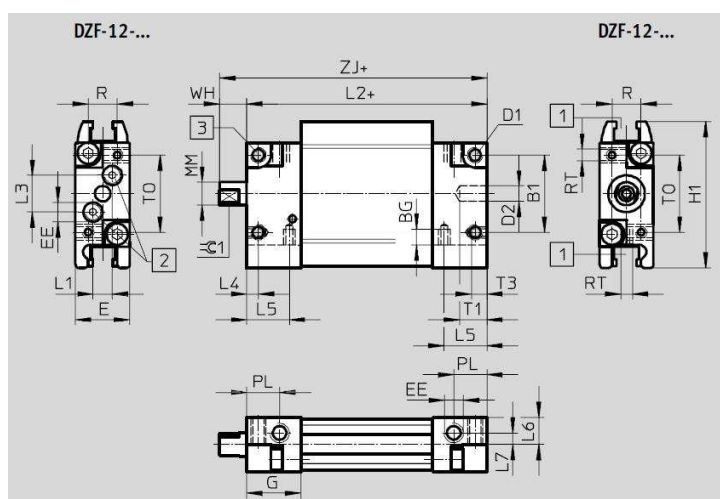
Volím rozteč os válců 75 mm

6.4.2 Přidržovač

Slouží k zajištění ozubeného kola při otáčení na točně. Skládá se z mostu, plochého válce a příložky. Válec přitlačí příložku ke kolu a tak zabrání jeho pohybu. Válec jsem zvolil dvojčinný plochý s koncovým tlumením typ DZF-12-10-A-P-A od firmy FESTO. Plochý válec jsem zvolil proto, protože jeho konstrukce zabraňuje pootočení pístnice kolem vlastní osy.

tab.13. Technické údaje válce DZF

ø pístu	zdvih	posuvná síla	zpětná síla	připojení	hmotnost
12mm	10 mm	68 N	51N	M5	105 g



obr. 39. Rozměry válce Festo DZF [5]

tab.14 Rozměry válce DZF v mm

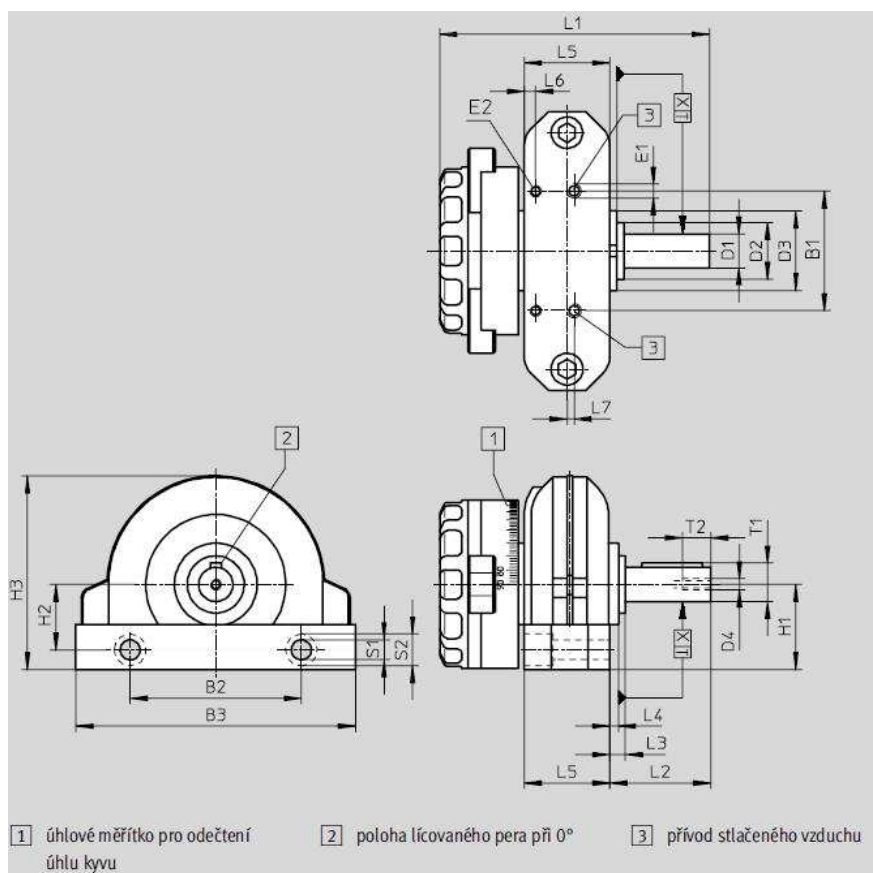
AM	B1	BG	D1	ø D2	E	EE	G	H1	KK	L1	L2
16	20	4	M4	4	14	M5	12	38	M6	5	62
L3	L2	L4	L5	ø MM	PL	R	RT	T1	T3	TO	WH
9,5	46	3	11	6	8,5	7,5	M3	7	4	20	7

6.4.3 Pohon točny

Pohon točny musí zajistit otáčení točny o 180° a zpět. O 360° otáčet točnu není možné z důvodů zamotání či zlomení přívodu tlakového vzduchu k přidržovači. Jelikož většinu prvků jsem zvolil s pneumatickým pohonem, volím i pohon točny s kyvným pneumatickým pohonem FESTO DSR-25-180-P s nastavitelnými dorazy a koncovým tlumením.

tab.15. Technické údaje kyvného pohonu DSR-25-180-P

Ø Pístu	Připojení	Max. rozsah kyvu	MK při 6 Bar	Max ax. zátěž	Max úhel tlumení	Hmotnost
25mm	M5	0-184°	5 Nm	50N	0,8°	540g



obr. 40. Rozměry kyvného pohonu Festo DSR v mm [5]

tab.16 Rozměry kyvného pohonu v mm

B1	B2	B3	Ø D1	Ø D2	Ø D3	D4	E1	E2	H1	H2	H3
42	60	98	12	18	28	M4	M5	M4	30	23	68
L1	L2	L3	L4	L5	L6	S1	S2	T1	T2	X	
94	35	5,4	3	30	4	7	11	13,5	10	0,4	

6.4.4 Ovládání propadové klapky

K ovládání propadové klapky použiji pneumatický válec FESTO DSNU-8-40-P-A. Válec bude k rámu připevněn pomocí ložiskového tělesa FESTO LBN-8/10. K propadové klapce bude připevněn pomocí kloubové hlavice FESTO SGS-M4.

tab.17 Technické informace válce DSNU

ø pístu	zdvih	posuvná síla	zpětná síla	připojení	hmotnost
8mm	40 mm	30 N	23N	M5	77 g

tab.18 Rozměry válce DSNU-8-40 v mm dle Obr 38.

AM	ø B h9	BE	BF	ø CD	ø D	ø D4	EE	EW	KK
12	12	M12	12	4	15	9,3	M5	8	M4
KV	KW	L	L2	ø MM	PL	VD	WF	XC	ZJ
19	6	6	86	4	6	2	16	104	102

7 Ekonomická rozvaha

7.1 Cíl

Zhodnocení ekonomického přínosu optimalizace

7.2 Metoda

Porovnání reklamačních nákladů před optimalizací a po ní.

Propočet nákladů na zavedení optimalizace.

Zjištění doby návratnosti.

7.3 Zjištění

Tab.14 Výchozí stav - rok 2009

	Jednotky	2009
vyrobena náprav	ks	13 895
reklamováno	ks	15
celkové náklady na reklamace	CZK	780 000
průměrné reklamační náklady na 1 nápravu	CZK	52 000

V roce 2010 dochází ke zvýšení objemu výroby o 50 % proti roku 2009. Předpoklad zavedení optimalizace je červen 2010.

Tab.15 kalkulace optimalizace

	Jednotka	Bez optimalizace - leden až červen	S optimalizací - červenec až prosinec
vyrobena náprav	ks	10 421	10 421
reklamováno	ks	11	1
celkové náklady na reklamace	CZK	585 000	52 000
průměrné reklamační náklady na 1 nápravu	CZK	52 000	52 000
Pořizovací náklady na zařízení	CZK		154 392
z toho:			
díly festo			11 592
kamera			115 000
osvětlení			2 800
výroba rámu a nenormalizovaných dílů			25 000
Úspora v prvním roce	CZK		963 608
Úspora v dalších letech za předpokladu stejného objemu výroby jako v r. 2010	CZK		1 066 000
Doba návratnosti (bez diskontace)	měsíců		2

7.4 Závěr

Na základě propočtů jsem došel k závěru, že náklady vynaložené na investici se vrátí již po 2 měsících od zavedení optimalizace. Předpokladem je ovšem chybovost zařízení v rozsahu maximálně 2 neodhalených chyb za rok.

8. Závěr

Mým úkolem bylo navrhnout stanoviště automatické kontroly montáže ozubených koleček pro firmu Linde Pohony s.r.o. V práci jsem nejdříve rozebral příčiny vzniku montážních chyb. Poté jsem zhodnotil jednotlivé možnosti automatické detekce montážních chyb. Z těchto možností jsem si vybral detekci s využitím kamer pro strojní vidění. Tuto možnost jsem zvolil nejen proto, že to byl jeden z cílů mé diplomové práce, ale i proto že mi nikdo z výrobců laserových senzorů tento senzor nechtěl zapůjčit k měření mé diplomové práce. Při testech kamery jsem zkoušel měření při různých světelných podmínkách s dvěma druhy osvětlovačů. Na celém testování bylo nejtěžší najít optimální nastavení jednotlivých inspekčních oken (použité masky, filtry snímků, inspekční nástroje). Při řešení konstrukčního návrhu jsem se snažil, aby celé zařízení bylo co nejjednodušší a nejlevnější. Proto jsem zvolil konstrukční řešení při kterém je použita jen jedna kamera a komponenty od dodavatelské firmy Festo. Komponenty od firmy Festo jsem použil, protože na montážních linkách jsou již ve firmě hojně použité. Pro uvedení zařízení do provozu by bylo ještě nutné vypracovat program pro řídicí PLC, jehož schéma jsem v práci navrhl. Na závěr bych chtěl ještě poděkovat firmě Linde Pohony s.r.o za vstřícnou spolupráci a firmě Keyence Česká Republika s.r.o za zapůjčení kamerového systému.

9. Seznam použité literatury:

- [1] Fiala, P., Jablonský, J., Maňas: *M. Vícekriteriální rozhodování*, VŠE, Praha, 1997
- [2] Leinveber, J; Vávra, P; Řasa, J: *Strojnické tabulky*, Scientia-pedagogické nakladatelství, Praha 6, 1999, ISBN 80-7183-164-6
- [3] Katalog Keyence - *Sensors Visions Measurement and Microscopes* 2009 [online]. [cit. 2010-3-10]. URL: <<http://www.keyence.co.uk/services>>
- [4] User's Manual Keyence - *Super-high-speed Digital Machine Vision* Keyence 2009 [online]. [cit. 2010-3-10]. URL: <<http://www.keyence.co.uk/services>>
- [5] Katalog FESTO – *Výrobní program 2008/2009* [online]. [cit. 2009-12-5]. URL: < https://www.festo.com/cms/cs_cz/9516.htm>
- [6] Katalog Omron – *Měřicí senzory* [online]. [cit. 2010-5-9]. URL:<http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=4&ved=0CCwQFjAD&url=http%3A%2F%2Fdownloads.industrial.omron.eu%2F%2FIAB%2FProducts%2FSensing%2FMeasurement%2520Sensors%2FPGB_Measurement_Sensors%2FPGB_Measurement_Sensors_CZ01.pdf&ei=EM_7S62oJ-SjOPGRnI4C&usg=AFQjCNFHoR2DzK5VJ0LJYyetkO1JtJ8aWw>
- [7] Automatizace – *Kontrola pomocí kamery jako nutnost* [online]. [cit. 2010-5-11]. URL:<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=2417>>
- [8] Automatizace – *Osvětlovače pro systémy strojového vidění* [online]. [cit. 2010-5-11]. URL:<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=773>>
- [9] Automatizace – *Měření vzdálenosti, profilu a tloušťky laserovými snímači* [online]. [cit. 2010-5-11]. URL:<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=644>>
- [10] FCC-PS – *Systémy strojového vidění* [online]. [cit. 2010-5-5]. URL:<http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/tp_kamera.htm&id=2>
- [11] Láryš, T : *Návrh systému řízení plnicí linky bateriových modulů*, *Technická univerzita v Olomouci*, 2009
- [12] Design Tech – *Strojového vidění 1* [online]. [cit. 2010-5-7]. URL:<<http://www.designtech.cz/c/it-reseni/strojove-videni-1-dil.htm>>

10. Seznam použitých zkratk a symbolů:

a	rozteč os ozubených kol	mm
d	průměr základní kružnice oz. kola	mm
d_a	průměr hlavové kružnice oz. kola	mm
d_i	průměr vnitřní díry ložiska	mm
d_p	průměr pístnice hradla	mm
f	ohnisková vzdálenost	mm
g_j	koeficient významnosti vlastnosti	-
h	výška snímacího čipu	mm
H	výška snímaného objektu	mm
l_{kmax}	max. vzdálenost středu 1. kola od 2. hradla	mm
l_{kmin}	min vzdálenost středu 1. kola od 2. hradla	mm
l_{vmax}	max. délka rozteče pístnic hradel	mm
l_{vmin}	min. délka rozteče pístnic hradel	mm
m	modul ozubeného kola	mm
n	počet hodnocených parametrů	-
P_t	hodnocený faktor	%
t_j	hodnota vlastnosti	-
t_n	relativní technická hodnota	-
w	šířka snímacího čipu	mm
W	šířka snímaného objektu	mm
WD	pracovní vzdálenost	mm
z	počet zubů oz. kola	mm
ϵ	ekonomická hodnota	%
τ	technická hodnota	%

11. Seznam příloh:

Výkresová dokumentace:

Výkres sestavení:	Kontrolní stanoviště	0-5M/11-00
Seznam položek:		K-4-5M/11-00 3ks
Výrobní výkresy:	Vedení levé	3-5M/11-01
	Vedené pravé	3-5M/11-02
	Vedení dolní	3-5M/11-03
	Most pohonu	3-5M/11-04
	Základna	0-5M/11-05
	Držák kamery	4-5M/11-06
	Most přidržovače	4-5M/11-07
	Přidržovač	4-5M/11-08
	Klapka	4-5M/11-09
	Točna	3-5M/11-10