

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Optimalizace kamerové kontroly na automatizované
lince**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David PATERA**
Osobní číslo: **E14N0108P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Optimalizace kamerové kontroly na automatizované lince**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou dosavadního řešení vizuální kontroly kvality sestavení výrobku na automatizované lince ve firmě Valeo k. s.
2. Analýza metod vizuální kontroly vhodných pro řešení daného problému.
3. Navrhněte nejvhodnější variantu kamerové kontroly včetně vizualizace výsledků zkoušky a proveďte implementaci této varianty.
4. Zhodnoťte navržené řešení a porovnejte se stávajícím.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radek Holota, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá optimalizací vizuální kontroly na automatizované výrobní lince. První část práce je zaměřena na seznámení se s původním řešením vizuální kontroly. V následující části je výčet nedostatků systému, díky kterým vznikl požadavek na optimalizaci vizuální kontroly. V další části jsou shrnuty klíčové vlastnosti, které by měl navržený systém mít. Hlavní část se zabývá popisem hardwaru a softwaru navrženého systému. Poslední část práce se zabývá srovnáním implementovaného řešení s původním řešením.

Klíčová slova

Strojové vidění, COGNEX, inteligentní kamera, In-Sight Vision Systems, vizuální kontrola kvality, zpracování obrazu

Abstract

This diploma thesis deals with optimization of the visual inspection on the automated production line. The first part is focused on familiarization with the original solution of the visual inspection. In the following section is the list of shortcomings of the system, which created the demand to optimize the visual inspection. The next section summarizes the key features that the designed system should have. The main part deals with the hardware and the software of the designed system. The last part of the thesis is focused on the comparison of the implemented solution and the original solution.

Key words

Machine Vision, COGNEX, smart camera, In-Sight Vision Systems, visual quality control, image processing

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval 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 uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení §270 trestního zákona č. 40/2009Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 16.5.2016

David Patera

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 POPIS AUTOMATIZOVANÉ LINKY	12
1.1 VÝROBEK	12
1.1.1 Výparník a jeho části	12
1.1.2 Jakost výrobku	13
1.2 MONTÁŽNÍ LINKA CORE ASSEMBLY	13
1.3 POPIS PŮVODNÍHO ŘEŠENÍ VIZUÁLNÍ KONTROLY VÝROBKU	16
1.3.1 In-Sight vision system a příslušenství	16
1.3.2 Software In-Sight Explorer	17
1.3.3 Popis stávající inspekce výrobku	18
1.4 NEVÝHODY STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ A DŮVODY ZAMÍTÁNÍ SPRÁVNÉHO VÝROBKU	19
1.4.1 Vliv nestálosti vstupních komponentů	20
1.4.2 Vliv parametrů zachycených snímků	22
1.4.3 Vliv okolního prostředí	23
1.4.4 Nevlídnost uživatelského rozhraní pro obsluhu vizuální kontroly	23
2 VYMEZENÍ CÍLŮ	25
3 OPTIMALIZACE STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ VIZUÁLNÍ KONTROLY	26
3.1 ČINNOSTI PRO ZLEPŠENÍ KVALITY ZACHYCENÝCH SNÍMKŮ	26
3.1.1 Větší rozlišení částí podléhajících inspekci	26
3.1.2 Nasvícení scény	27
Nasvícení ohnutého kódování	30
3.1.3 Přizpůsobení stávajícího programu inteligentní kamery změnám	32
3.1.4 Snížení množství otřepů na komponentech trubek	32
3.1.5 Snížení dopadu tolerancí rozměrů komponentů na vizuální kontrolu	33
3.1.6 Výsledná podoba stanice vizuální kontroly	34
3.2 VÝVOJ JOBŮ PRO INTELIGENTNÍ KAMERY	34
3.2.1 Načtení dat z PLC	35
3.2.2 Zachycení snímků výrobku	36
3.2.3 Vybrání snímků pro inspekci	36
3.2.4 Inspekce snímku	37
3.2.5 Pokračování inspekce snímku	40
3.2.6 Rozhraní CustomView	43
3.2.7 Nastavení Vision Systému	44
3.2.8 Zpracování výsledků inspekce snímků	44
3.2.9 Odeslání výsledků kontroly do PLC	45
3.2.10 Odeslání snímků na FTP	45
4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ	47
MOŽNÁ VYLEPŠENÍ	50
ZÁVĚR	53

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	54
PŘÍLOHY	1
PŘÍLOHA A: POROVNÁNÍ SNÍMKŮ POŘÍZENÝCH PŘED INOVACÍ A PO INOVACI	1
PŘÍLOHA B: TABULKA ZAMÍTNUTÝCH SNÍMKŮ V JEDNOTLIVÝCH TÝDNECH ROKU 2016.....	2

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Výparník a jeho části [1]	12
Obr. 1.2 Detaily trubek a jejich kódování (zleva: STANDARD, BY-PASS by-pass at top, BY-PASS by-pass at bottom, PARTITION closed at bottom, PARTITION closed at top) [1]	13
Obr. 1.3 Výparník držen čelistmi a připraven k transportu. [1].....	14
Obr. 1.4 Dva detailní pohledy na stanici vizuální kontroly [1]	15
Obr. 1.5 In-Sight Micro 1400	16
Obr. 1.6 LED osvětlovač (vlevo) a řídicí jednotka pro osvětlovače.....	17
Obr. 1.7 Charakteristiky propustnosti vlnových délek světla modrého a červeného filtru [4]	17
Obr. 1.8 Příklad snímku zachyceného při inspekci	18
Obr. 1.9 Kontrolovaná část snímku se zobrazenými inspekčními nástroji.	19
Obr. 1.10 Snímek výparníku s ohnutým kódováním zachycený při inspekci.....	20
Obr. 1.11 Snímek trubek se znečištěným kódováním vrstvou tavidla.....	21
Obr. 1.12 Příklad otřepu na trubce, který způsobí zamítnutí výrobku.....	21
Obr. 1.13 Custom View zobrazení stávajícího řešení.....	24
Obr. 3.1 Objektiv Fujinon HF25HA-1B	27
Obr. 3.2 Porovnání dvou extrémů. Dostatečné nasvícení kódování s nežádoucími odlesky (vlevo). Zbavení se odlesků za cenu slabého nasvícení kódování (vpravo)	28
Obr. 3.3 Porovnání snímků s použitím polarizačních filtrů (vlevo) bez polarizačních filtrů (vpravo).....	29
Obr. 3.4 Princip nasvícení scény Diffuse On-Axis osvětlovačem [5]	29
Obr. 3.5 Diffuse On-Axis DL2449 osvětlovač [6]	29
Obr. 3.6 Výsledná podoba světel pro horní kameru, včetně polarizačního filtru (vlevo). Vliv třetího světla na světlost ohnutého kódování na snímku (vpravo)	30
Obr. 3.7 Natáčivý mechanismus pro třetí světlo.....	31
Obr. 3.8 Čtvrté snímky stejného testovacího výrobku (trubky 10-12) za použití původních dvou světel (vlevo) a za použití dalšího světla pro nasvícení ohnutých kódování (vpravo).....	32
Obr. 3.9 Otřepy na komponentech trubek a tryska vzduchového nože pro jejich odstranění	32
Obr. 3.10 Výsledná podoba stanice vizuální kontroly po procesu optimalizace	34
Obr. 3.11 Oblast buněk, týkajících se načtení dat z PLC	35
Obr. 3.12 Příklad třech typů trubek a jejich číselných kódů.....	36
Obr. 3.13 Oblast buněk obsahující obsluhu zachycení snímků	36
Obr. 3.14 Oblast buněk, která řídí vykonávání inspekce jednotlivých trubek	36
Obr. 3.15 Inspekce snímku 1	37
Obr. 3.16 Snímek se zobrazenými nástroji FindLine pro zaměření pozic trubek ve vodorovném směru	38
Obr. 3.17 Snímek se zobrazenými nástroji pro zaměření přesných pozic trubek	40
Obr. 3.18 Snímek s vizualizací kompletní sady nástrojů a oblast buněk obsahující tyto nástroje.....	42
Obr. 3.19 Rozhraní Custom View	43
Obr. 3.20 Oblast sloužící k základnímu nastavení Vision Systému	44
Obr. 3.21 Oblast buněk spreadsheetu, které obstarávají porovnání hodnot z inspekce a z PLC	45
Obr. 3.22 Oblast buněk spreadsheetu, která zprostředkovává odeslání výsledků zkoušky do PLC	45
Obr. 3.23 Úsek jobu obstarávající odesílání snímků na FTP server	46

Seznam symbolů a zkratek

<i>AB</i>	Allen-Bradley
<i>CCD</i>	Charge-Coupled Device
<i>C / CS</i>	Typ závitu objektivu
<i>COGNEX</i>	Cognition Experts
<i>FTP</i>	File Transfer Protocol
<i>I / O</i>	(Input/Output) Zařízení, které zprostředkovávají kontakt počítače s okolím
<i>LED</i>	Light-Emitting Diode
<i>LUCIE</i>	Light Ultra Cooling Inovative Evaporator
<i>Pixel</i>	Picture element
<i>PLC</i>	Programmable Logic Controller
<i>PoE</i>	Power over Ethernet
<i>ROI</i>	Region Of Interest
<i>SERCOS</i>	Serial Real-Time Communication System

Úvod

Na každého dodavatele v automobilovém průmyslu jsou v současné době kladeny vysoké nároky na kvalitu dodávaných produktů. Z těchto nároků plyne požadavek na dokonalou kontrolu produktů, zároveň ale musí být výrobní proces efektivní. Řešením není dokonalý systém kontroly kvality, který by ale zpomaloval výrobní proces. Výrobní proces je zapotřebí naopak neustále optimalizovat a zrychlovat.

Podobným tématem se zabývá tato práce. Předkládaná práce obsahuje analýzu systému vizuální kontroly kvality sestavení výparníků do klimatizací automobilů, pojednává o nevýhodách a slabinách stávajícího řešení a dále popisuje optimalizaci tohoto systému. Spolehlivost stávajícího řešení vizuální kontroly je podmíněna množstvím aspektů, které bohužel reálný provoz nemůže garantovat. Největší dopad na spolehlivost systému má nestálost podoby komponentů výparníku v čase, ale i rozdíly v komponentech způsobené výrobou na odlišných výrobních linkách. Případnou nespolehlivostí systému není myšlena výroba vadných produktů, ale nesprávné označení správného produktu jako zmetku. Z toho plyne zbytečně narůstající množství odpadu výroby, který je podle nejnovějších trendů naopak všemi dostupnými prostředky snižován. Systém vizuální kontroly tedy bylo zapotřebí velmi často nastavovat, aby vyhovoval aktuálnímu stavu vstupních komponentů a dalším okolním podmínkám.

Zmíněná optimalizace stávajícího systému by měla být provedena za použití dostupných prostředků, a s co nejnížší finanční náročností. Každý krok optimalizačního procesu by měl být pečlivě naplánován, protože výroba v daném provozu je nepřetržitá. Po každém zásahu bylo tedy nutné zajistit funkčnost systému.

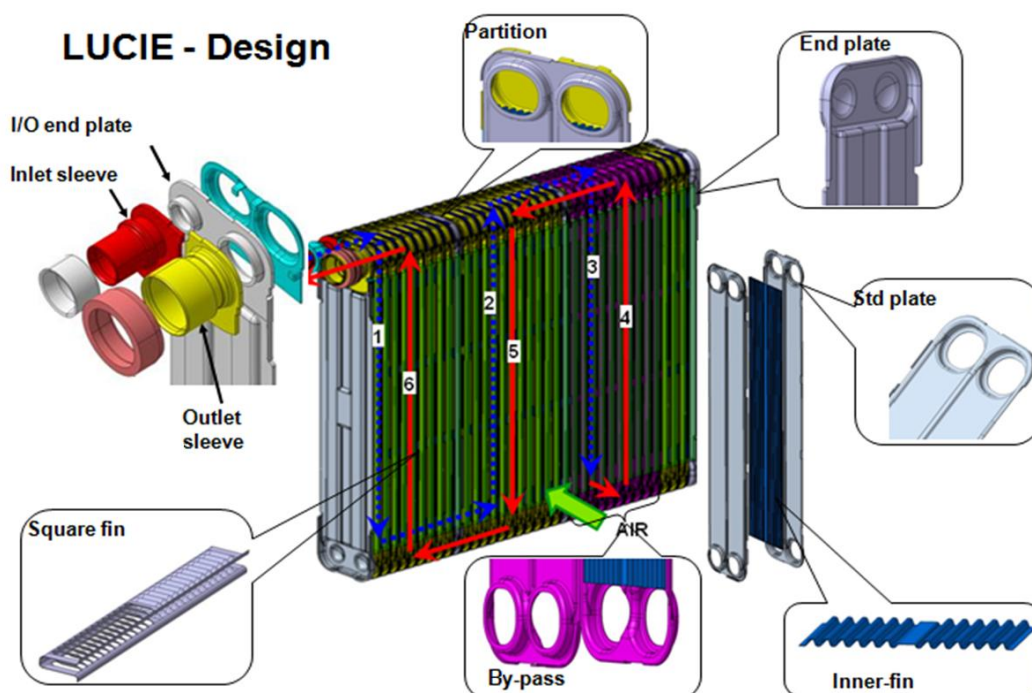
1 Popis automatizované linky

1.1 Výrobek

Finálním výrobkem linky LUCIE je hliníkový výparník, který posléze tvoří součást klimatizační jednotky automobilu. LUCIE je zkratka výrazu Light Ultra Cooling Innovative Evaporator. Výparníky typu LUCIE se vyznačují šířkou 38/48mm a výškou 254/225/200mm. Délka výparníku se liší podle počtu komponentů, ze kterých je výrobek poskládán. Tento počet spolu se zvolenou šířkou a výškou určí výsledný výkon výparníku, lišící se podle koncové aplikace.

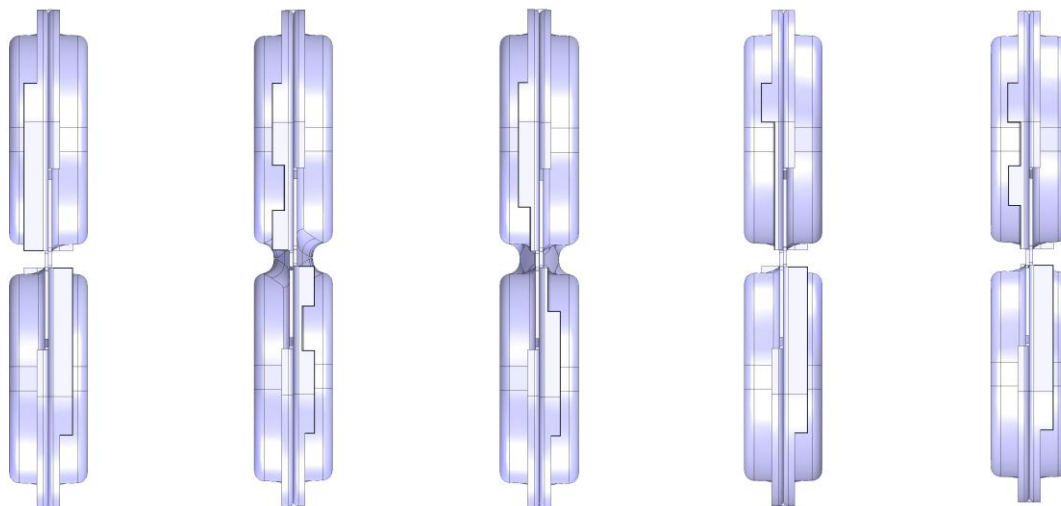
1.1.1 Výparník a jeho části

Koncept sestavení výparníku se pro všechny vyráběné verze shoduje. Blok je orámován 1mm silnými koncovými deskami (End plate), kde jedna z nich má I/O vývody. Tělo bloku je poskládáno ze třech typů komponentů označovaných jako trubka. Jde o trubky standardní (standard), bypassové (by-pass) a dělicí (partition). Liší se vnitřním uspořádáním, které určuje proudění média. Správným poskládáním těchto trubek vznikne výparník s maximálně využitou plochou, z čehož plyne nejvyšší výkon a účinnost.



Obr. 1.1 Výparník a jeho části [1]

Každý typ trubky je označen kódem, který je proveden drážkováním okraje na obou koncích. Typy drážkování na trubkách jsou naznačené na *Obr. 1.2*. Standardní trubka je univerzální, a tudíž ji nelze osadit špatně. Bypassová trubka se dá osadit ve dvou směrech, kdy jsou zajištěny funkce „by-pass at bottom“ a „by-pass at top“. Dělicí trubky je možno také osadit ve dvou směrech, kdy jsou zajištěny funkce „close at bottom“ a „close at top“. Protože je dělicí trubka nesymetrická, je možné trubku otočit, čímž získáváme další dvě orientace.



Obr. 1.2 Detaily trubek a jejich kódování (zleva: STANDARD, BY-PASS by-pass at top, BY-PASS by-pass at bottom, PARTITION closed at bottom, PARTITION closed at top) [1]

1.1.2 Jakost výrobku

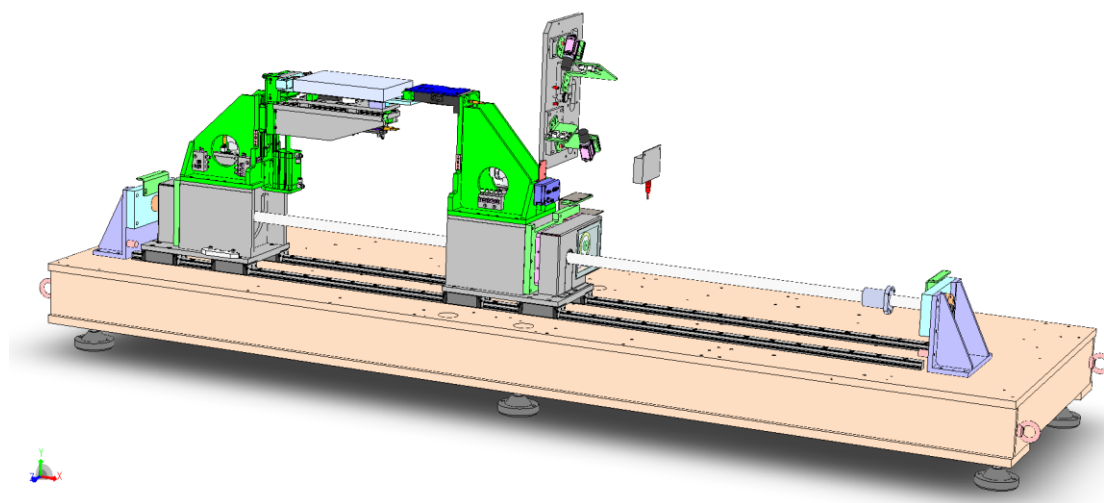
Výsledný sestavený výparník dále projde procesem pájení, kde se z něho stane jednolitě těleso. Po pájení již nelze případný vadný kus jakkoliv opravit, proto je zapotřebí detailní kontroly kvality v předchozích fázích výrobního procesu. Jedno z nejdůležitějších hledisek kvality výrobku je jeho správné sestavení sekvencí trubek. Chyba v sestavení může mít minimální, ale také fatální dopad na výsledný výkon výrobku. Jak již bylo popsáno výše, výparník je složen ze tří typů trubek, kde je důležitá pozice každé trubky a její orientace. Ze všech směrů a orientací tří typů trubek vychází sedm možností na jednu trubku. Při výsledném výrobku o 50 trubkách je možné sestavit nepřeborné množství variant. Do skladby výparníků z části zasahuje i operátor výroby, proto je kontrola sestavení naprosto nutná.

1.2 Montážní linka Core Assembly

Montážní linka Core Assembly je součástí linky LUCIE. Celkem je zde těchto linek 8. Výstupem této linky je sestavený výparník, vsazený do pájecích přípravků a tedy připraven

na proces pájení. Vstupem jsou automaticky nebo ručně poskládané trubky a lamely, které vyplňují prostor mezi trubkami a uměle zvyšují aktivní plochu výparníku. Celkem montážní linka zabírá přes 25m² a zastává mnoho dalších funkcí, ale pro účely této práce bude dále věnován prostor jen částem souvisejících s vizuální kontrolou výrobku.

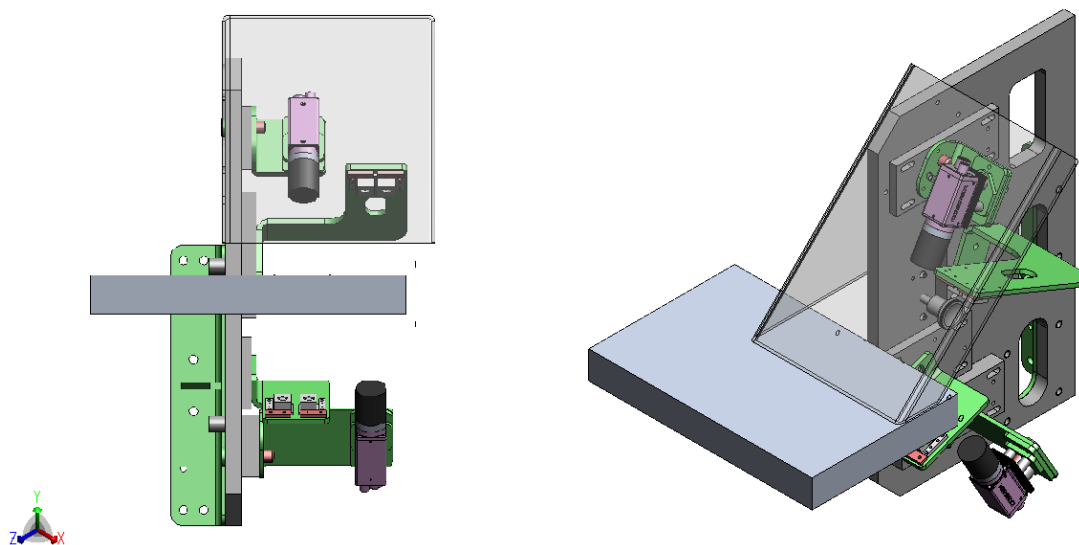
Během automatického cyklu stroje Core Assembly nastane moment, kdy je výparník, složený z koncových desek, trubek a lamel, transportován ze stanice *Montáž* do stanice *Vystředění*. Výparník je během transportu držen mezi čelistmi. Čelisti, díky svému usazení na stejných kolejnicích, zajišťují lineární pohyb. Tělo každé čelisti má v ložisku usazenou rotační matici, připojenou přes řemen a řemenice k motoru. Jde o servomotor AB MPL-B430P řízený servoměničem AB Kinetix 6000. Rotační matice obou čelistí jezdí na přibližně tři metry dlouhé stacionární šroubové hřídeli. Toto uspořádání zajišťuje nezávislý lineární pohyb obou čelistí, s přesně známou pozicí a přesností pozice lepší než $\pm 0,1\text{mm}$. Tento poměrně náročný způsob transportu výparníku má své opodstatnění hlavně v dalších fázích cyklu stroje. Jeden z důvodů je ale také to, že je výparník během transportu podroben vizuální kontrole.



Obr. 1.3 Výparník držen čelistmi a připraven k transportu. [1]

Chod stroje řídí PLC řady ControlLogix od Rockwell Automation. Do PLC nebo do rozšiřujících portů jsou přivedeny všechny digitální vstupní a výstupní 24V signály. Dále PLC komunikuje prostřednictvím rozhraní ethernet a optického rozhraní SERCOS. Po ethernetu komunikuje například s kamerami, které obstarávají vizuální kontrolu. PLC si s kamerou vyměňují informace o vyráběné verzi, cyklu nebo o výsledcích vizuální kontroly. Optické rozhraní SERCOS slouží k rychlé komunikaci PLC se servoměničem Kinetix 6000.

Během transportu výrobku dávají servoměniče do PLC informaci o pozici servomotorů. PLC porovnává tuto informaci s vypočtenými hodnotami, které má v paměti, a v případě shody vyše impuls na jeden konkrétní digitální výstup. Tento výstup je připojen do TRIGGER vstupu kamery a ta v tomto okamžiku vyfotí snímek. Tímto způsobem obě kamery vyfotí za každý výrobní cyklus 20 snímků. Na každém snímku jsou zachyceny 3 trubky, což při 20 snímcích dá maximální délku výparníku 60 trubek. Za předpokladu vyráběné verze o délce menší než 60 trubek se nevyužité snímky inspekce neúčastní. Vzhledem k tomu, že trubka je již složena ze třech komponentů, nestačí jedna kamera pro 100% kontrolu. V krajním případě lze totiž složit trubku z různých komponentů. Ta by opět neměla potřebné parametry, což by se projevilo na výsledném výkonu výparníku. Vizuální kontrola tedy nejenže kontroluje správnou sekvenci trubek, ale také správné složení jednotlivých trubek. Absolutní kvality lze tedy dosáhnout inspekcí každé trubky dvěma kamerami. Kamery také disponují digitálním výstupem. Tento výstup je použit pro spínání světel. LED světla jsou připojena do napájecí jednotky, načež jsou spínány podle impulsů z kamer.



Obr. 1.4 Dva detailní pohledy na stanici vizuální kontroly [1]

Na Obr. 1.4 jsou dva pohledy na stanici vizuální kontroly s vyznačeným výparníkem v podobě kvádrů. Výparník se nachází v místě, kterým je v reálné situaci transportován. Na hřbet výparníku jsou namířeny dvě kamery. Z obrázku je patrné, že každá kamera má v ose dva osvětlovače. Jde o typ THINLED 1 od firmy TPL Vision. Kamery jsou vůči sobě prostorově posunuty právě kvůli tomu, že každá kamera potřebuje vlastní osvětlovače. Z tohoto posunutí vyplývá i nutnost vysílat TRIGGER signál do každé kamery zvlášť.

Dále je také na obrázku vidět kryt, který je pro názornost v obrázku transparentní. Kryt slouží jednak k ochraně kamer před mechanickým poškozením, ale také pro zamezení ovlivnění scény okolními zdroji světla.

1.3 Popis původního řešení vizuální kontroly výroby

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.1, každý typ trubky má unikátní kódování provedené drážkováním okraje na obou koncích. Nejjednodušší pohled na princip vizuální kontroly je ten, že kamera vyfotí sadu snímků obsahující vždy 3 trubky, porovná drážkování s informací získanou z PLC a pošle zpět do PLC informace o shodě nebo neshodě.

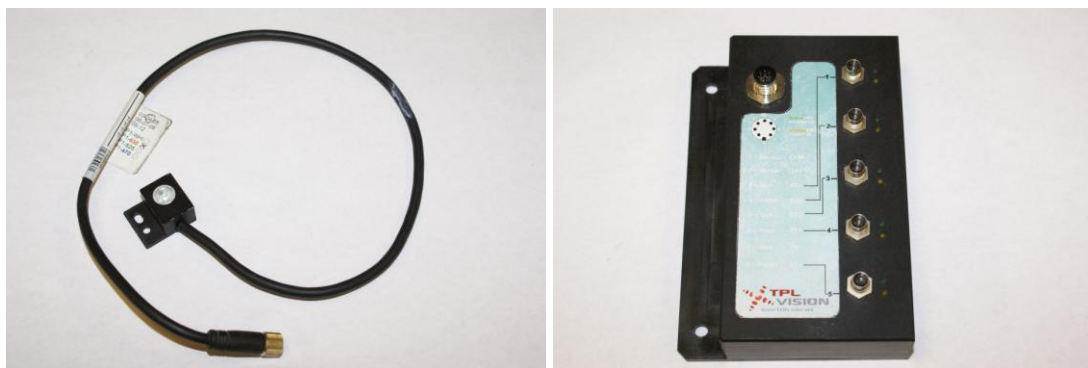
1.3.1 In-Sight vision system a příslušenství

In-Sight Micro 1400 je miniaturní inteligentní kamera o rozměrech (30x30x60mm). Disponuje průmyslovými konektory M12 pro PoE a M8 pro I/O. PoE zkratka znamená Power over Ethernet, takže nepotřebuje další konektor pro napájení. M8 konektor poskytuje jeden TRIGGER vstup a dva digitální výstupy. Pro připojení objektivu má kamera CS mount závit. CS mount závit na kameře dává možnost použití jak CS mount objektivů, tak i C mount objektivů za podmínky použití 5mm mezikroužku. Kamera disponuje 1/3 palcovým CCD snímačem (úhlopříčka 5,92mm) s rozlišením 640x480 pixelů a bitovou hloubkou 256 odstínů šedi. Programovou paměť o velikosti 128MB a operační paměť 256MB. Elektronickou závěrkou o rychlosti 16 μ s až 1000ms. [2]



Obr. 1.5 In-Sight Micro 1400

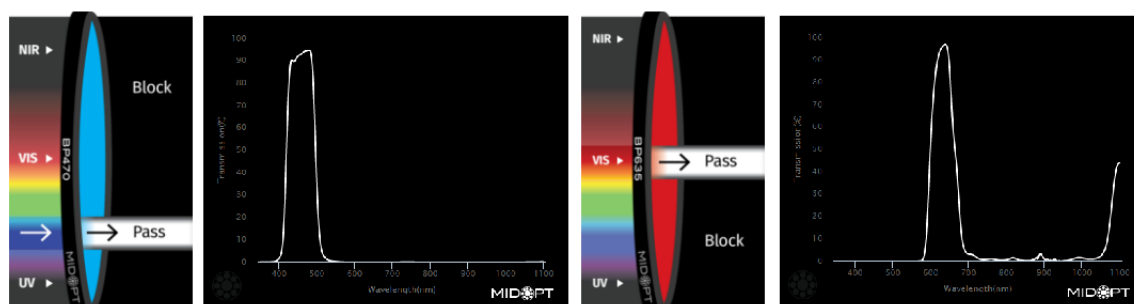
Pro potřeby inspekce výparníků v montážní lince je tato kamera použita dvakrát. Napájení kamer zajišťuje ethernetový PoE switch. Prostřednictvím tohoto switche jsou kamery propojeny s řídicím PLC. Digitální výstup z obou kamer je připojen do zařízení, které obstarává napájení LED osvětlení. Horní kamera si spíná červené a spodní kamera modré LED osvětlení.



Obr. 1.6 LED osvětlovač (vlevo) a řídicí jednotka pro osvětlovače

Kamera je osazena objektivem RICOH FL-CC1614-2M. Jde o objektiv se závitem C mount, takže je zde použit 5mm mezikroužek. Některé parametry objektivu: 16mm ohnisková vzdálenost, 1,4 clonové číslo, 2/3 formát a manuální ostření a nastavení clony. [3]

Objektiv horní kamery je osazen červeným Bandpass filtrem MIDOPT BP635-27 pro světla červené barvy a objektiv spodní kamery je osazen Bandpass filtrem MIDOPT BP470-27 pro světla modré barvy. Důvod různých barev spočívá v zamezení vzájemného ovlivnění dvou vision systémů. [4]



Obr. 1.7 Charakteristiky propustnosti vlnových délek světla modrého a červeného filtru [4]

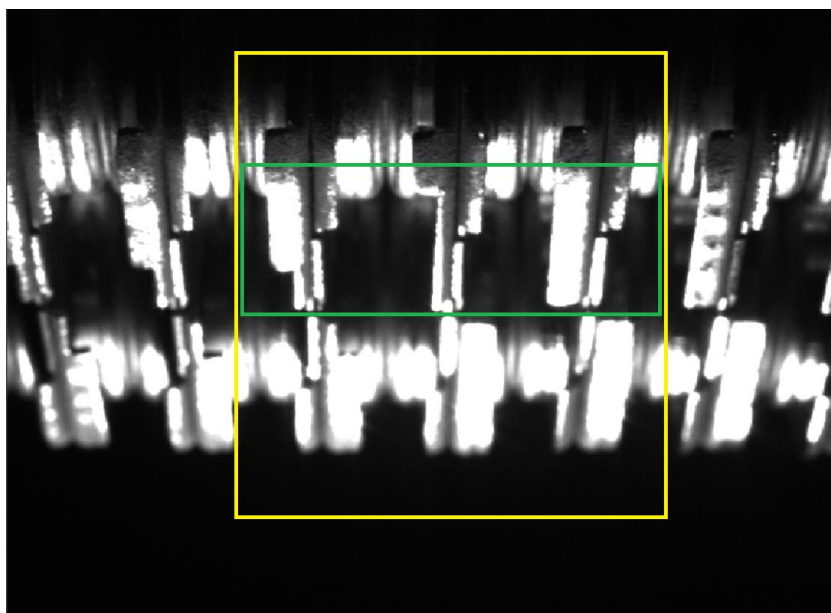
1.3.2 Software In-Sight Explorer

Software In-Sight Explorer slouží jednak jako nástroj pro programování a parametrizování inteligentních kamer řady In-Sight, ale také jako nástroj pro správu a obsluhu těchto systémů. V dnešní době tento software nabízí dvě vývojová rozhraní. Je to rozhraní

Spreadsheet a EasyBuilder. Rozhraní Spreadsheet dává programátorovi plnou kontrolu nad všemi nástroji a funkcemi, podporovanými daným systémem strojového vidění tj. inteligentní kamerou. Rozhraní EasyBuilder je jen nástavbou nad Spreadsheetem a poskytuje programátorovi zjednodušený přístup k nástrojům a funkcím. Hlavní výhodou je ale to, že rozhraní EasyBuilder vede programátora během vývoje aplikace hlavními kroky. Pro začínajícího programátora nebo pro účely jednodušších aplikací je toto rozhraní vhodné. Pro složitější a rozsáhlejší systémy je toto rozhraní nedostačující a je zapotřebí využít Spreadsheet.

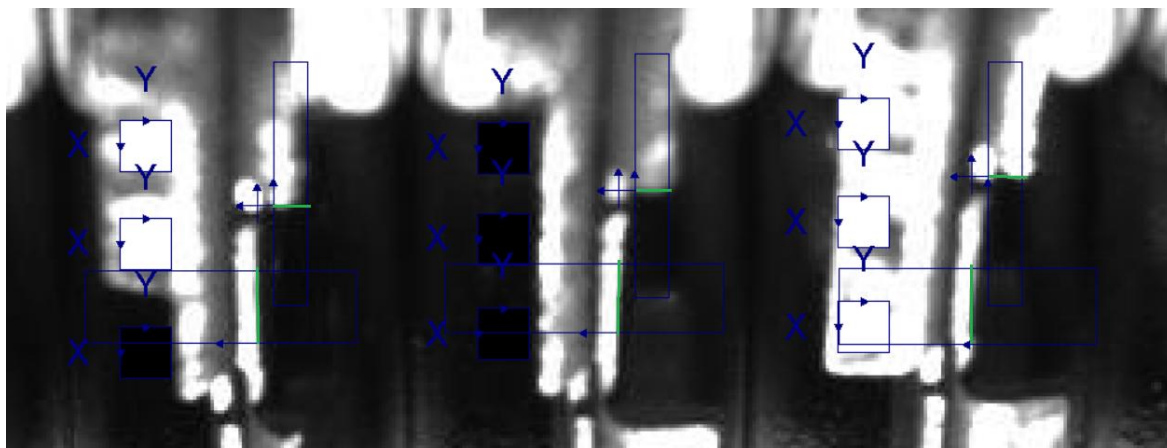
1.3.3 Popis stávající inspekce výrobku

Jak již bylo řečeno, výrobek je zachycen na maximálně 20 snímcích každou kamerou. Každý snímek obsahuje trojici trubek. Na Obr. 1.8 je příklad snímku, který obsahuje pro názornost 3 různé trubky. Trojice trubek, podléhajících inspekci v tomto snímku, je vyznačena žlutým obdélníkem. Zeleným obdélníkem je orámována polovina trubek, kterou kamera zpracovává. Spodní polovinu trubek ve žluté oblasti zpracovává druhá kamera.



Obr. 1.8 Příklad snímku zachyceného při inspekci

Kvůli tolerancím v rozměrech komponentů a malých nepřesnostech v pozici trubek na snímcích je zapotřebí nejprve nalézt pozici každé trubky. K tomu dojde nalezením její pozice ve vodorovném a svislém směru. V obou směrech je tedy hledána hrana. Detail kontrolované části snímku se zobrazenými inspekčními nástroji je na Obr. 1.9.



Obr. 1.9 Kontrolovaná část snímku se zobrazenými inspekčními nástroji.

Jednotlivé nástroje budou podrobněji popsány dále, ale je zde vidět oblast pro vyhledání svislé hrany pro každou trubku. Světle zelenou barvou je označena nalezená hrana. Podle pozice této hrany se vyhledá stejným způsobem i vodorovná hrana. Průsečík těchto hran je označen modrým křížkem. Tento křížek určí lokální souřadný bod každé trubky a podle tohoto bodu jsou do obrázku umístěny tři nástroje, které rozpoznají, jestli se v tom místě nachází drážka či nikoliv. Kromě zachycení snímků a aplikace inspekčních nástrojů provádí kamera ještě další operace jako: získání informací od PLC ohledně vyráběné verze, kódování (drážkování) jednotlivých trubek, reprezentace výstupů z inspekčních nástrojů jako typ trubky, porovnání výsledků a přijatých dat, poslání informace o kontrole zpět do PLC, uložení snímků na FTP server a další.

1.4 Nevýhody stávajícího řešení a důvody zamítnutí správného výrobku

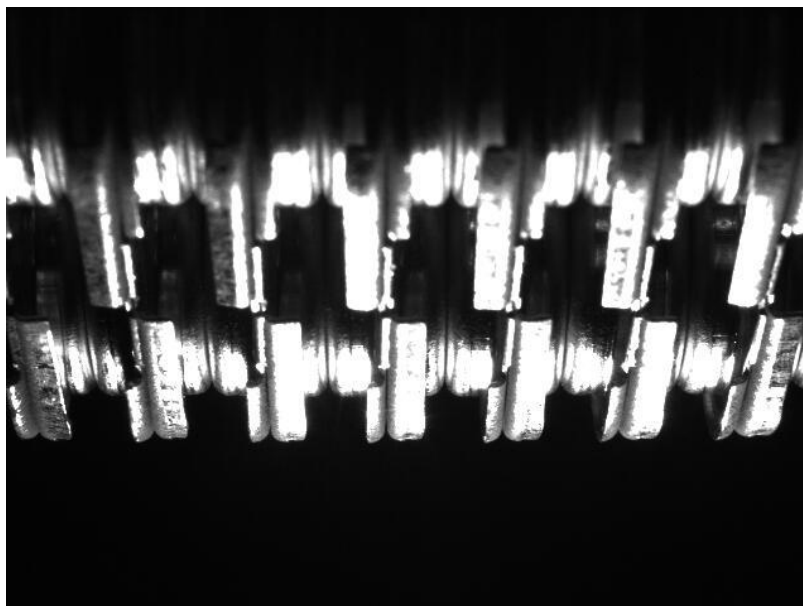
Spolehlivost původního řešení vizuální kontroly výparníků, tak jak bylo zjednodušeně nastíněno v předchozí kapitole, je dostačující pouze za předpokladu splnění mnoha podmínek, které bohužel v reálném provozu z různých důvodů splnit nelze. Během několikaleté obsluhy strojů Core Assembly obsluha nashromáždila množství důvodů, některé vyskytující se vzácně a jiné denně, kvůli kterým došlo k zamítnutí správného výrobku. Velmi často (mnohdy i několikrát denně) musel obsluhující technik měnit nastavení programu v kameře tak, aby výparník úspěšně prošel inspekcí. Z toho plynou prostoje strojů a mnohdy také zbytečný odpad ve formě nevyhovujících výparníků. V následující části budou popsány ty důvody, které mají největší vliv a další poznatky z obsluhy stroje.

1.4.1 Vliv nestálosti vstupních komponentů

Důvody zamítnutí správného výrobku spojené s nestálostí komponentů v čase jsou nejčastější. Všechny tyto vlivy spojují dvě vlastnosti, a to náhodnost jejich výskytu v čase a proměnlivost hloubky jejich dopadu.

- ***ohnuté kódování (drážkování) na deskách***

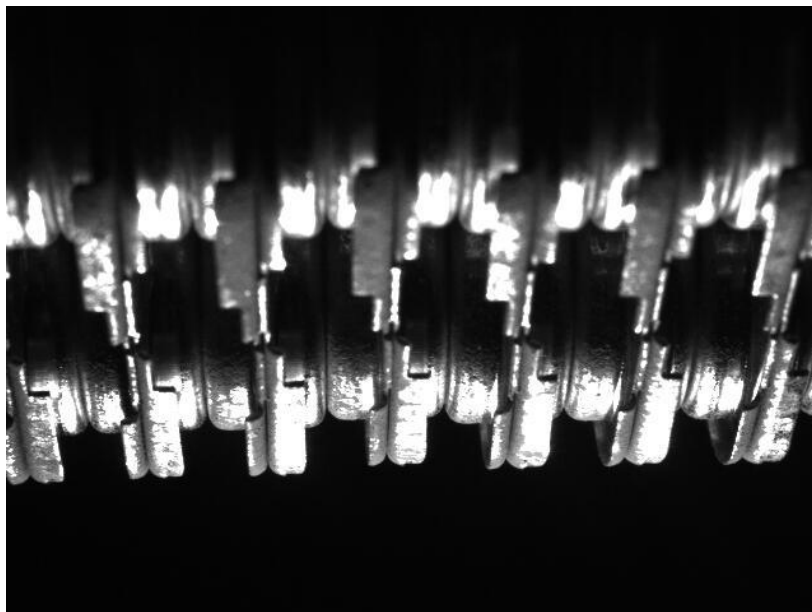
Ohnutý okraj způsobí, že se paprsky světla od LED osvětlení odrazí mimo objektiv kamery. Drážkovaný okraj (dále kódování) je poté na snímku tmavý a inspekční nástroje potom špatně identifikují trubku. Ohnuté kódování je způsobeno buď při výrobě komponentů trubek, nebo při manipulaci s nimi.



Obr. 1.10 Snímek výparníku s ohnutým kódováním zachycený při inspekci

- ***nadměrné znečištění kódování trubek tavidlem***

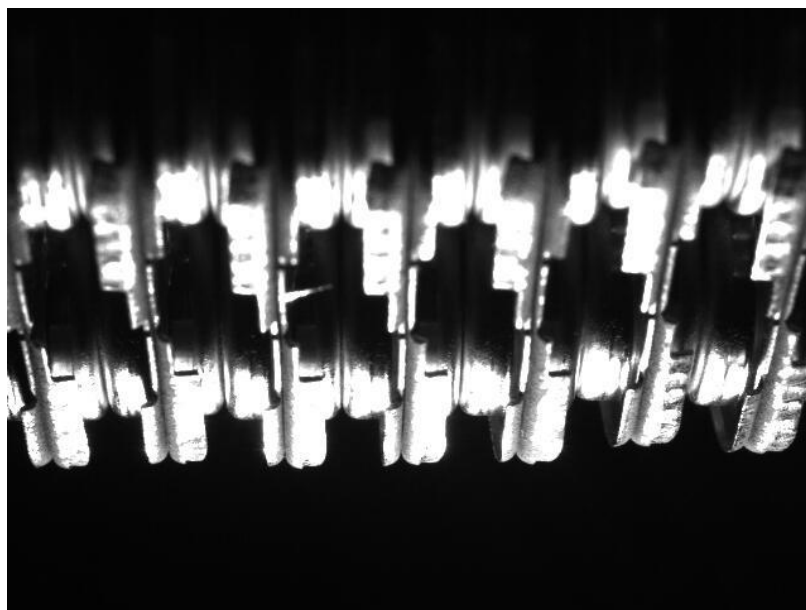
Výparník je za vysokých teplot spájen v pájecí peci. Pro zlepšení kvality pájení jsou na kritické plochy komponentů nanášeny vrstvy tavidla. Tavidlo se nanáší ve formě bílého prášku rozpuštěného ve vodě. Po zaschnutí tvoří hrubou, sytě bílou vrstvu. Při nesprávném nastavení nanášení tavidla na komponenty dojde k tomu, že je nanášena vrstva i na okraje trubek, zejména na kódování. Takto znečištěné povrchy trubek potom mnohem hůře odrážejí světlo a na snímcích se opět jeví velmi tmavě. Problém může nastat v momentě hledání hran nebo opět nízkou intenzitou světla v místě drážkování.



Obr. 1.11 Snímek trubek se znečištěným kódováním vrstvou tavidla

- **otřepy na komponentech**

Trubka je již celek složený z dílčích komponentů. Jsou to dvě desky, které jsou jedna do druhé těsně zakrimpovány pro dosažení dokonalého zapájení všech spojů později. Mezi deskami je sevřen vnitřní fin pro zajištění optimálního proudění média ve výparníku. Desky jsou lisovány v několika krocích z hliníkové cívky. Při lisování vzniká mnoho tenkých, ostrých a lesklých otřepů. Ty pak zůstanou na deskách přichyceny a výrobním procesem doputují až do stanice vizuální kontroly.



Obr. 1.12 Příklad otřepu na trubce, který způsobí zamítnutí výrobku

Bohužel mají tendenci přichytávat se na nejhorším možném místě, a to přímo v oblasti podléhající vizuální kontrole. Kvůli velmi dobré odrazivosti světla od ostré hrany otřepu, dojde k detekci hrany v chybné pozici a výrobek je zpravidla zamítnut. Závažnost problému s otřepy spočívá hlavně v náhodnosti velikosti otřepů, jejich pozice a odrazivosti povrchu. Výsledek je opět takový, že vizuální kontrola vyžaduje časté změny parametrů a změnu nastavení.

- ***odlesky od oblých povrchů z pozadí***

Změna odrazivosti povrchu trubky v místě, které způsobí silný odlesk na snímcích přesně v místě oblasti hledání svislé hrany. Hrana je opět nalezena na špatné pozici a všechny další kroky inspekce jsou tímto faktem ovlivněny. Změna odrazivosti může být způsobena proměnlivostí hrubosti povrchu hliníkových komponentů nebo opět přítomností vrstvy tavidla.

- ***nestálost pozice trojice trubek na snímku***

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, výparník je kontrolován během přesunu mezi dvěma stanicemi. TRIGGER signál pro kameru je vyslán v okamžiku, kdy se servomotory nachází v předem vypočtených pozicích. Tyto pozice jsou vypočítány na základě předpokladu, že mezery mezi trubkami jsou v celém výparníku stejné. Tento předpoklad často bohužel není splněn. Důvodem jsou opět komponenty trubek s nestálými rozměry. Pokud jsou tedy komponenty širší, projeví se to i na šířce trubek. Jenže výparník je při přesunu sevřen čelistmi stále stejně. Vzhledem k tomu, že čelisti drží výparník ve středu, má výparník v tomto případě tendenci rozprostřít se do vějířovitého tvaru. Tím je porušena podmínka na stejnou mezeru mezi trubkami a pozice trubek na snímcích nespádají do vyhledávacích oblastí. Zpravidla na začátku a konci výparníku jsou mezery větší. Tento problém je už komplexnější a je ovlivněn mnoha faktory, nicméně na spolehlivost vizuální kontroly má přímý dopad.

1.4.2 Vliv parametrů zachycených snímků

Jak již bylo naznačeno na Obr. 1.8 a Obr. 1.9, jen malá část (cca osmina) zachyceného snímku je využita pro další zpracování. Z celého snímku s rozlišením 640x480 pixelů to znamená oblast o rozměrech přibližně 320x120 pixelů. Tato skutečnost má později vliv na nástroje, vyhledávající hrany ve snímcích. Zejména kratší ze dvou hran na každé trubce,

hrana vodorovná, vychází šířkou jen na několik málo pixelů. Mnohdy jen okolo pěti pixelů. To je velikost odpovídající odleskům od nečistot nebo menších otřepů. Snadno zde dojde k chybné detekci hrany a opět zamítnutí výrobku.

Po každé inspekci jsou všechny snímky odeslány na FTP server, kde jsou nějaký čas zálohovány. Počet snímků zálohovaných jedním strojem za měsíc výroby se pohybuje okolo 900 000. Při velikosti snímku zhruba 25kB jsou kladeny vcelku vysoké nároky na úložný prostor a správu těchto dat. Uvážením, že pouze osmina každého snímku obsahuje požadovanou informaci, se nabízí myšlenka, že ukládáním jen důležitých oblastí snímku by došlo k úspoře úložného prostoru.

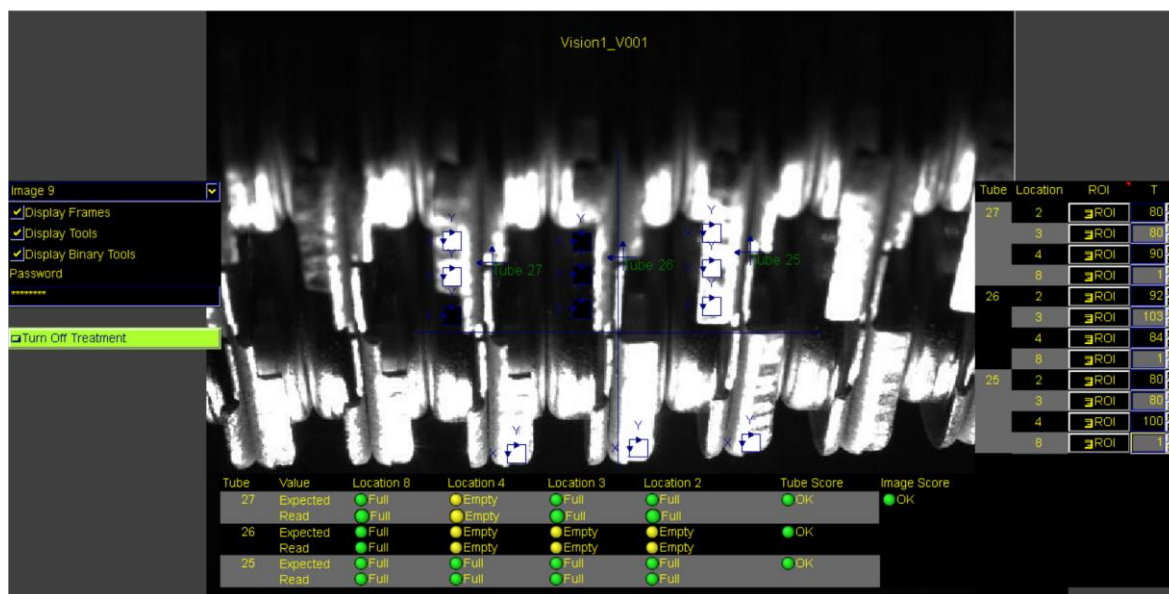
1.4.3 Vliv okolního prostředí

Do této kapitoly spadá zejména ovlivnění scény při focení jinými zdroji světla. Nejčastější případ je přímý dopad slunečních paprsků do spodní kamery. K tomu dochází u dvou strojů Core Assembly, které jsou umístěny pod okny výroby a navíc jen za brzkých ranních hodin jarních měsíců.

1.4.4 Nevůidnost uživatelského rozhraní pro obsluhu vizuální kontroly

Každý stroj Core Assembly je osazen osobním počítačem. Ten je připojen do stejné sítě jako PLC a kamery vizuální kontroly. Na PC je nainstalován software In-Sight Explorer a obsluhující technik má možnost připojit se do kamer ve stroji a nastavovat je. K tomu by mu mělo sloužit rozhraní Custom View, které je součástí programu In-Sight Explorer. Custom View je vlastně jen oblast ze Spreadsheetu, která se zpřístupní potřebným uživatelům a je zobrazena na právě kontrolovaném snímku. V této oblasti jsou vloženy některé konfigurační a vizualizační prvky. Pro potřeby neustálého obsluhování tohoto systému je Custom View stávajícího řešení naprosto nedostačující. Naznačeno je na Obr. 1.13. Je zde vidět snímek s vloženými inspekčními nástroji pro posouzení drážkování jednotlivých trubek. Není zde vidět informace o nalezení jednotlivých hran, která je při řešení problémů naprosto stěžejní. V případech nenalezení kterékoliv z hran, se další nástroje již nevykonají a na obrázku není vidět nic. Buňka vlevo nahoře s popiskem Image 9 je nástroj, který slouží pro vybrání jednotlivého snímku. V závislosti na zvoleném snímku jsou zobrazeny i odpovídající nástroje a jejich výsledky. Napravo je tabulka obsahující políčka ROI (Region Of Interest), pomocí kterých lze zadat pozice inspekčních nástrojů vzhledem k lokálnímu souřadnému bodu. Ve sloupci T (Threshold) jsou hodnoty

rozhodovací úrovně, podle které se posuzuje, zdali je na místě drážka či nikoliv. Pro každou trubku jsou zde vidět tyto nástroje čtyři. I když na samotné inspekci se podílí jen tři. Čtvrtý nástroj (čtvereček) vespodu trubek je vyřazen tím, že má nastavenou hodnotu T na jedna. Tabulka vespod dává obsluze vědět, jaké drážkování by každá trubka měla mít (řádek Expected) a také, jaké drážkování vyšlo aplikací nástrojů na snímek (řádek Read). Žlutá tečka s popiskem Empty znamená, že na daném místě má být drážka. Zelená tečka s popiskem Full znamená, že toto místo má být bez drážky.



Obr. 1.13 Custom View zobrazení stávajícího řešení

Pro každodenní konfigurování je toto rozhraní nedostačující. Chybí zde většina používaných nastavovacích prvků inspekčních nástrojů. Je tedy nutné vyhledat tyto buňky v prostředí Spreadsheet, kde ale není vidět zpracováváný snímek. Nejsou tedy patrné změny, a tak je zapotřebí znovu přepnout do rozhraní Custom View a zjistit, jestli změna parametrů přinesla očekávané výsledky. Spodní tabulka s údaji vypsány v řádce ztrácí na přehlednosti, protože nástroje jsou na snímku umístěny pod sebou. Nepřehlednost i nutnost neustálého přepínání rozhraní mezi sebou přináší další zdržení. K dalšímu zdržení dochází při změně některých parametrů (expoziční, zisk...), kdy musí být kamera přepnuta do režimu Offline. Samotné přepínání kamery mezi režimy Online/Offline trvá několik vteřin.

2 Vymezení cílů

Z důvodů popsaných v předchozí kapitole vznikl požadavek na optimalizaci celého systému vizuální kontroly. Několikaleté obsluhování strojů Core Assembly poskytla množství poznatků a zkušeností, které vplynuly z reálného provozu stroje, na rozdíl od původního řešení vizuální kontroly, které neuvažovalo tak značné změny v prostředí a kvalitě vstupních komponentů. Tyto poznatky by měly určovat, jakým směrem se bude optimalizace ubírat. Klíčové vlastnosti optimalizovaného systému by měly být tyto:

- *plně automatický systém vizuální kontroly,*
- *zachovat absolutní spolehlivost ve smyslu „no false acceptance“,*
- *zlepšit spolehlivost ve smyslu „no false reject“,*
- *uživatelsky vřídlné ovládací prostředí a přehledná vizualizace pro obsluhu.*

Některé funkce systému, jako komunikace s řídicím PLC a zálohování na FTP server, svoji funkci plní tak, jak je zapotřebí. Není proto důvod tyto funkce zásadně měnit. Změna komunikace s PLC by zahrnovala změnu programu i v PLC. Náročnost tohoto programu, plynoucí z rozsáhlosti montážní linky Core Assembly, je velmi vysoká a nad rámec této práce. Dalším naprosto samozřejmým požadavkem je, pokusit se optimalizovat systém vizuální kontroly za co nejnižších nákladů, pokud možno za použití dostupných prostředků. Pokud by ovšem bylo zapotřebí nákladnější investice, musel by přínos odpovídat pořizovací ceně. Díky této skutečnosti by měl být kladen největší důraz na zlepšení inspekce zachycených snímků, tj. program v inteligentních kamerách. Tento program neboli job, by měl být naprosto univerzální v tom smyslu, že bude aplikovatelný na jakýkoliv stroj Core Assembly. Job by měl obsahovat část, která bude sloužit pro zadání parametrů daného systému. Proces optimalizace systému bude ztížen faktem, že výroba v tomto provozu je nepřetržitá, včetně víkendů. Veškeré testy a aplikace inovací budou muset být předem důkladně promyšleny a otestovány v emulátoru, který In-Sight také obsahuje, aby nedošlo k významnému odstavení výrobní linky. Veškerý prostor pro práci na systému by mohly poskytnout několikaminutové prostoje při střídání směn, nahodilé prostoje způsobené poruchami a podobně.

3 Optimalizace stávajícího řešení vizuální kontroly

Veškeré práce na zlepšení systému probíhaly po sobě tak, aby se jednotlivým změnám systém dal snadněji přizpůsobit a mohl dále plnit funkci v nepřetržitém provozu.

3.1 Činnosti pro zlepšení kvality zachycených snímků

Hlavní myšlenkou této části je, že pokud by se podařilo zlepšit podmínky pro snímání a samotné snímání snímků tak, že by již nemusely být dále upravovány, ušetřil by se výpočetní výkon inteligentních kamer. Zlepšením kvality snímků je myšleno zdůraznit některé parametry snímků pro účely vizuální kontroly.

3.1.1 Větší rozlišení částí podléhajících inspekci

Vzhledem k pevnému rozlišení snímače kamery, je zapotřebí zabírat jen výřez původní oblasti výrobku a využít celé rozlišení snímače na tuto oblast. Dostupné možnosti pro tento úkon jsou přiblížení kamery blíže k výrobku anebo změnění optické soustavy, a tím zorného úhlu. Zmenšení vzdálenosti mezi výrobkem a stávajícím objektivem není možné ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že by hrozilo mechanické poškození kamery s objektivem a druhým důvodem je minimální zaostřovací vzdálenost stávajícího objektivu.

Pro zmenšení zorného úhlu byly vyzkoušeny objektivy s větší ohniskovou vzdáleností (25 a 35mm). Vyhovující oblast systém zabíral při použití objektivu s ohniskovou vzdáleností 25mm, což byl objektiv HF25HA-1B.

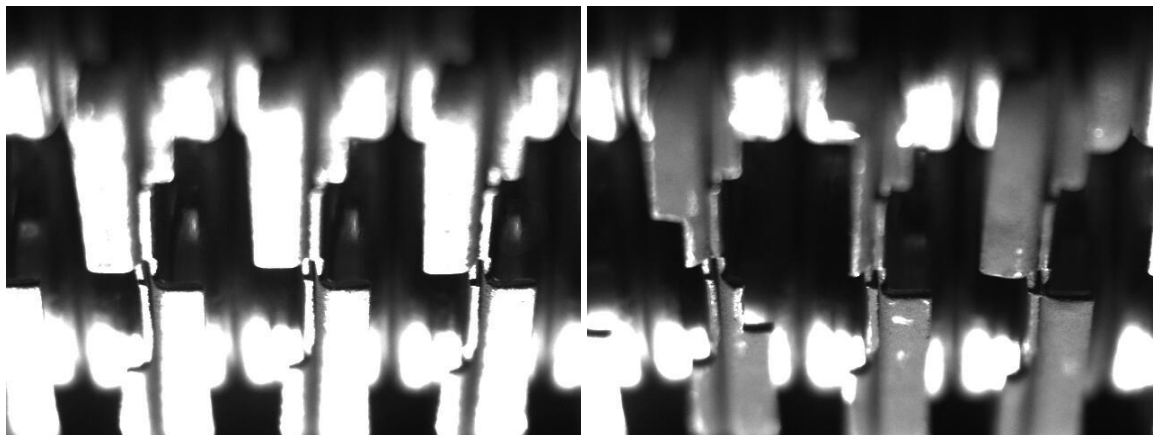


Obr. 3.1 Objektiv Fujinon HF25HA-1B

Objektiv podporuje až 1,5 Mpx kamery, což je v případě kamery In-Sight micro 1400 dostačující. Minimální zaostřovací vzdálenost objektivu je 15cm, což je dostačující vzhledem k tomu, že původní objektiv měl tuto vzdálenost 25cm. Volba tohoto objektivu má jednu nevýhodu, skrytou v menší hloubce ostrosti. Snímaná část výparníku není v rovině vůči objektivu a s tímto objektivem nelze zajistit, aby byl celý snímek zaostřený. V tomto případě ale není nutné mít celý snímek zaostřený. Naprosto stačí horní polovina výparníku, kde se nachází drážkování.

3.1.2 Nasvícení scény

Nehledě na konkrétní další zpracování, by měly snímky mít jisté parametry. Nejideálnější stav by byl, kdyby snímky byly čistě černobílé, tj. vysoce kontrastní přechody bílá a černá. Vzhledem k velké členitosti povrchu výparníku tohoto nelze snadno dosáhnout. Vcelku dobrý výsledek přinese, když je výparník intenzivně nasvícen, to ale přináší problém v podobě odlesků z oblých částí z pozadí. Další důvod pro silné nasvícení výparníku, je výše zmíněná proměnlivost nánosu tavidla. Pokud je drážkovaná oblast trubek bez nánosu tavidla, je v tomto místě tvořen velmi dobrý odraz a jas na snímku je potom maximální (saturace 255). Pokud je zde nános tavidla, je jas stále přijatelný a detekovaný jako bílá barva.



Obr. 3.2 Porovnání dvou extrémů. Dostatečné nasvícení kódování s nežádoucími odlesky (vlevo). Zbavení se odlesků za cenu slabého nasvícení kódování (vpravo)

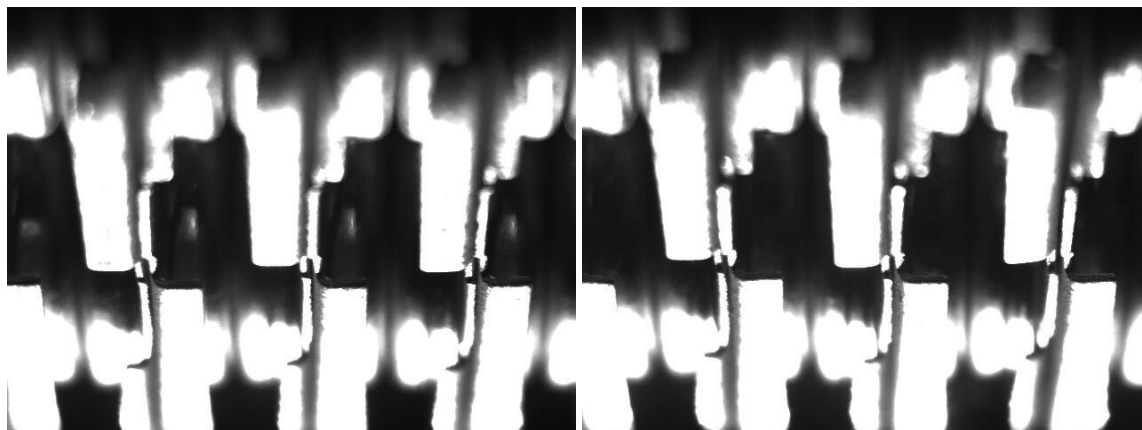
Snížením jasu (pozicí světla, dobou expozice nebo clonkou), jsou odstraněny odlesky z pozadí, ale při nánosu tavidla na drážkování, již není množství odraženého světla dostačující. Zajímavé řešení potlačení nežádoucích odlesků při zachování intenzivního nasvícení, přineslo použití polarizačních filtrů.

Otočný lineární polarizační filtr na objektivu

Polarizační vrstva je v těle filtru otočná. Po nalezení úhlu lze pozici zafixovat šroubkem. V celém rozmezí 0 až 180° nebyl nalezen úhel natočení filtru, při kterém by došlo k významnějšímu potlačení odlesků.

Otočný lineární polarizační filtr na objektivu a polarizace světla osvětlovačů

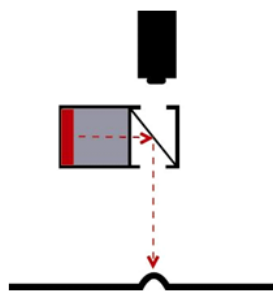
Oproti předchozímu případu, použití dvou polarizačních filtrů přineslo zajímavé výsledky. Nejlepší varianta nastala při natočení držáku se světly tak, aby světelný kužel dopadal nejvíce na střed výparníku, volbě vodorovného směru propustnosti polarizační fólie umístěné před osvětlovače a následným natočením polarizačního filtru na objektivu pro největší potlačení odlesků. Při použití této konfigurace je tedy výrobek dostatečně nasvícen a zároveň došlo k potlačení nežádoucích odlesků.



Obr. 3.3 Porovnání snímků s použitím polarizačních filtrů (vlevo) bez polarizačních filtrů (vpravo)

Na Obr. 3.3 vpravo je výsledný snímek, získaný prostřednictvím objektivu s ohniskovou vzdáleností 25mm s polarizačním filtrem a světly vybavenými polarizační fólií.

Výše popsané snažení bylo realizováno za použití původních dvou LED světel pro každou kameru. Další potencionální variantu nabízel dostupný Coaxial neboli On-Axis osvětlovač.



Obr. 3.4 Princip nasvícení scény Diffuse On-Axis osvětlovačem [5]

Diffuse ON-Axis osvětlovače jsou velmi efektivní při osvětlování plochých povrchů a obzvláště efektivní pro rozlišení úhlů a textur na relativně plochých vzorcích. Vyžadují poměrně malou vzdálenost od vzorku. [5]

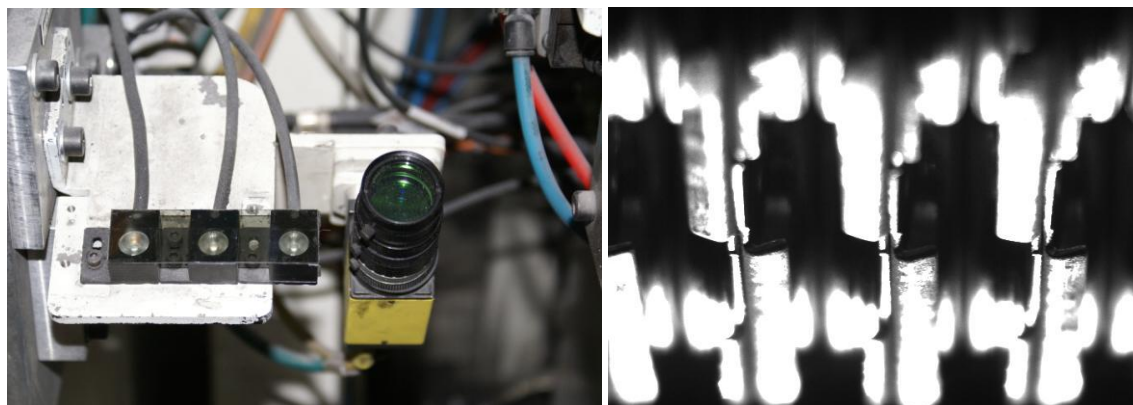


Obr. 3.5 Diffuse On-Axis DL2449 osvětlovač [6]

Konkrétní dostupná varianta Diffuse On-Axis osvětlení byla DL2449 Legacy Light. Tento typ poskytuje rovnoměrné nasvícení 50mm x 50mm oblasti. Osvětlovač byl testován v Live módu se statickým výparníkem umístěným před kamerami. Obraz vykazoval zajímavé vlastnosti z hlediska malé tvorby intenzivních odlesků. Oproti tomu ale dosahoval mnohem menšího kontrastu a větší náchylnosti na vady povrchu komponentů, než obraz při použití LED světel. Další nevýhodou bylo obtížné vtěsnání rozměrného těla světla do omezených prostorů ve stroji. Z těchto důvodů zde byl použit původní typ osvětlení scény vizuální kontroly v podobě LED světel.

Nasvícení ohnutého kódování

Pro případy, kdy je kódování trubek ohnuté, toto nastavení neřeší problém odrážejícího se světla mimo kameru. Pro pokus o odstranění tohoto problému byl získán jeden osvětlovač od každé barvy a stejného typu, jako jsou dvojice již použité pro nasvícení výparníku. Hlavní myšlenka byla dostat další zdroj světla ze směru, do kterého je kódování ohnuté. První pokus tedy spočíval v přidání třetího světla pro horní kameru, umístěného vedle stávající dvojice světel a tím získání nasvícení z potřebného směru. Toto řešení ale naráží na omezení plynoucí z nedostatku místa v tomto prostoru. Třetí osvětlovač tedy musel být umístěn těsně vedle původních. Takto umístěný osvětlovač byl doplněn o polarizační fólii s nastavenou rovinou propustnosti, stejně jako u původních dvou osvětlovačů.

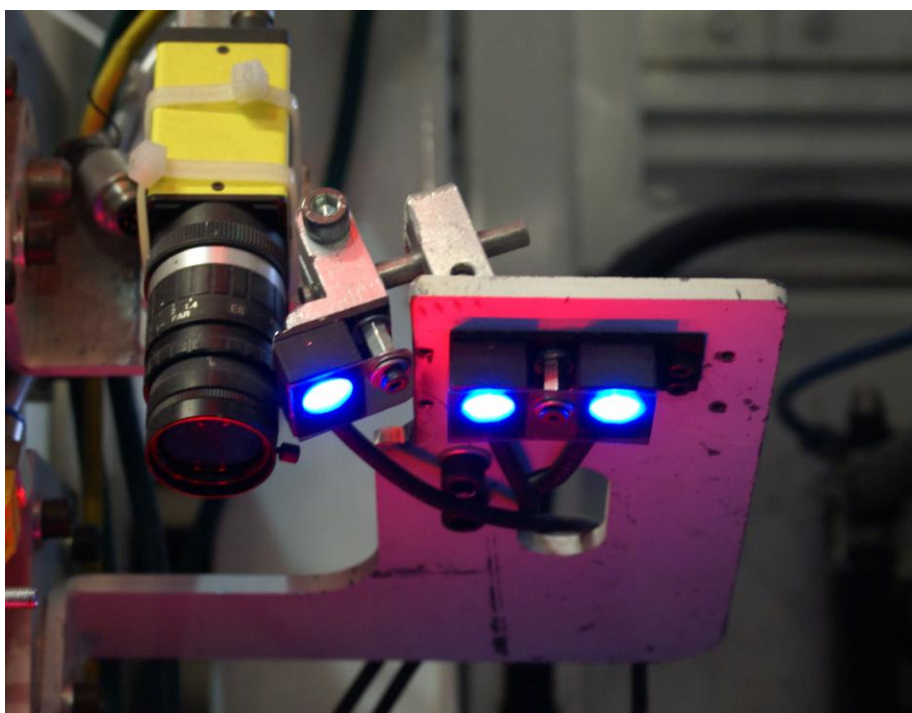


Obr. 3.6 Výsledná podoba světel pro horní kameru, včetně polarizačního filtru (vlevo). Vliv třetího světla na světlost ohnutého kódování na snímku (vpravo)

Tato konfigurace přinesla určité zlepšení, avšak při značném ohnutí kódování neřeší tento problém vždy. Nicméně udává směr, kterým se ubírat pro dokonalé nasvícení.

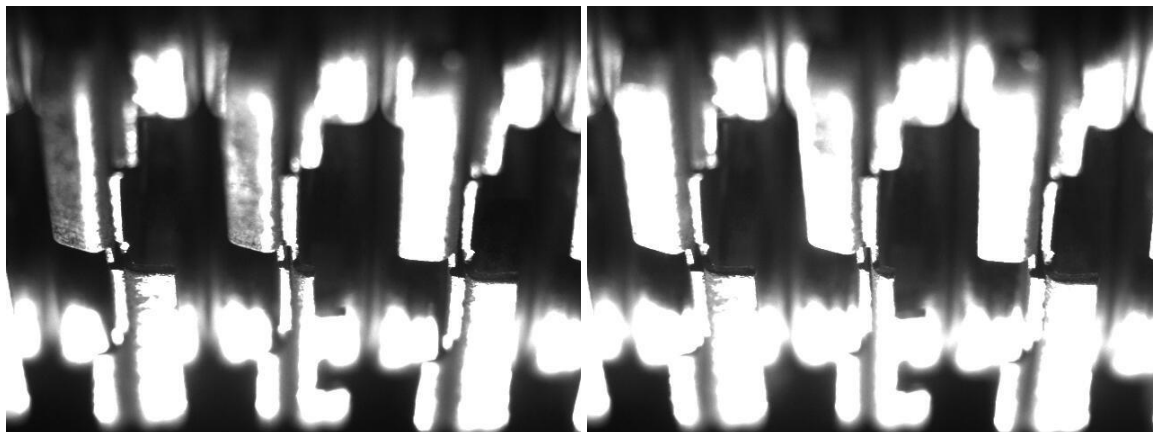
Pro spodní kameru, tj. světla pro ni umístěná nahoře, vznikl požadavek na vylepšené řešení, obsahující taktéž třetí světlo, ale s možností natočení světla podle potřeby. Řešení je limitováno velmi omezeným prostorem. Z těchto požadavků vznikl držák pro světlo, který

poskytuje možnost natočit světlo do všech směrů. Světlo muselo být z prostorových důvodů umístěno pod úrovní původních dvou světél. V tento okamžik již bylo obsazeno všech pět portů řídicí jednotky. Tři porty zabírají světla pro horní kameru a zbylé dva porty světla pro spodní kameru. Řídicí jednotka napájí světla zdrojem proudu, a tak byla pomocí několika konektorů vytvořena redukce, díky které jsou dvě světla v sérii zapojena do jednoho portu. Díky natáčivému mechanismu byl světelný kužel namířen přímo do potřebného místa na výparníku. Světlo bylo poté rovněž doplněno o polarizační fólii s rovinou propustnosti stejnou jako zbylá dvě světla. Vytvořený mechanismus slouží hlavně pro testovací účely. Pokud se tato inovace osvědčí, bude později vytvořen profesionální držák, založený na stejném principu.



Obr. 3.7 Natáčivý mechanismus pro třetí světlo

Pro účely otestování tohoto řešení byl sestaven výparník z trubek s ohnutým kódováním tak, jak bývá ohnuto v nejhorších případech. Šlo o verzi 35T, což udává počet snímků 12. Jak bylo předpokládáno, většina snímků byla při inspekci zamítnuta. Konkrétně snímky 1-9 a 11-12 byly, převážně kvůli 1. a 2. trubce, zamítnuty. V celkovém pořadí je první trubka každého snímku na snímcích spodní kamery umístěna nejvíce vlevo, tzn. je nejnáchylnější. Po připojení třetího světla, namířeného přímo do problematické oblasti, ten samý výrobek vizuální kontrolou zamítnut nebyl. Všech 12 snímků inspekce tohoto testovacího výrobku před inovací a po inovaci se nachází včetně popisu v příloze A.

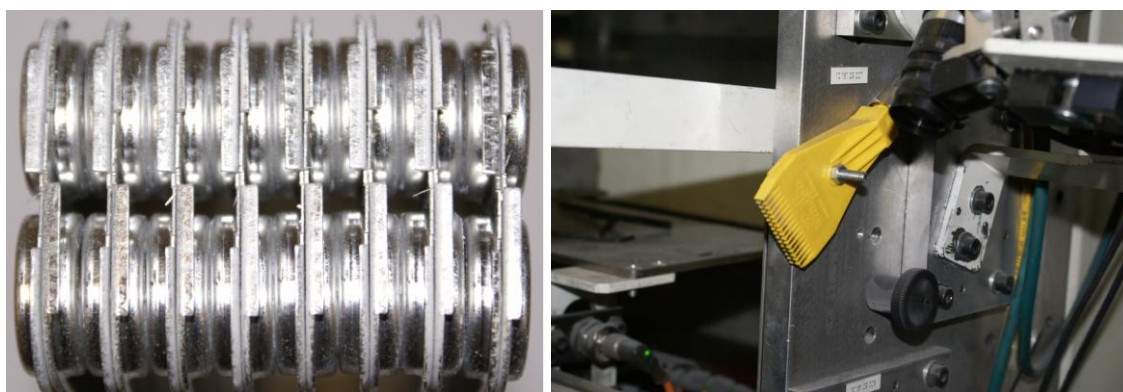


Obr. 3.8 Čtvrté snímky stejného testovacího výrobku (trubky 10-12) za použití původních dvou světel (vlevo) a za použití dalšího světla pro nasvícení ohnutých kódování (vpravo)

3.1.3 Přizpůsobení stávajícího programu inteligentní kamery změnám

Změna objektivu a orientace nasvícení přinesla zásadní změnu zachycených snímků a stávající program v inteligentních kamerách bylo zapotřebí přizpůsobit. Nedošlo ale k zásadní změně programu. Pouze korekce umístění použitých nástrojů ve snímku a úprava velikostí jejich oblastí. Takto mohla výroba na tomto stroji pokračovat a inovace mohla být testována do doby dalšího kroku optimalizace.

3.1.4 Snížení množství otřepů na komponentech trubek



Obr. 3.9 Otřepy na komponentech trubek a tryska vzduchového nože pro jejich odstranění

Z důvodu naprosto nemožné predikce velikosti a pozice otřepů je velmi obtížné zajistit, aby je inspekce uvažovala. Z tohoto důvodu je zapotřebí vyvinout maximální úsilí na jejich odstranění ještě před samotnou vizuální kontrolou. Před stanicí vizuální kontroly byla tedy vřazena tryska vzduchového nože. Ta vcelku spolehlivě odstraní největší z otřepů, tj. ty s největším vlivem na vizuální kontrolu.

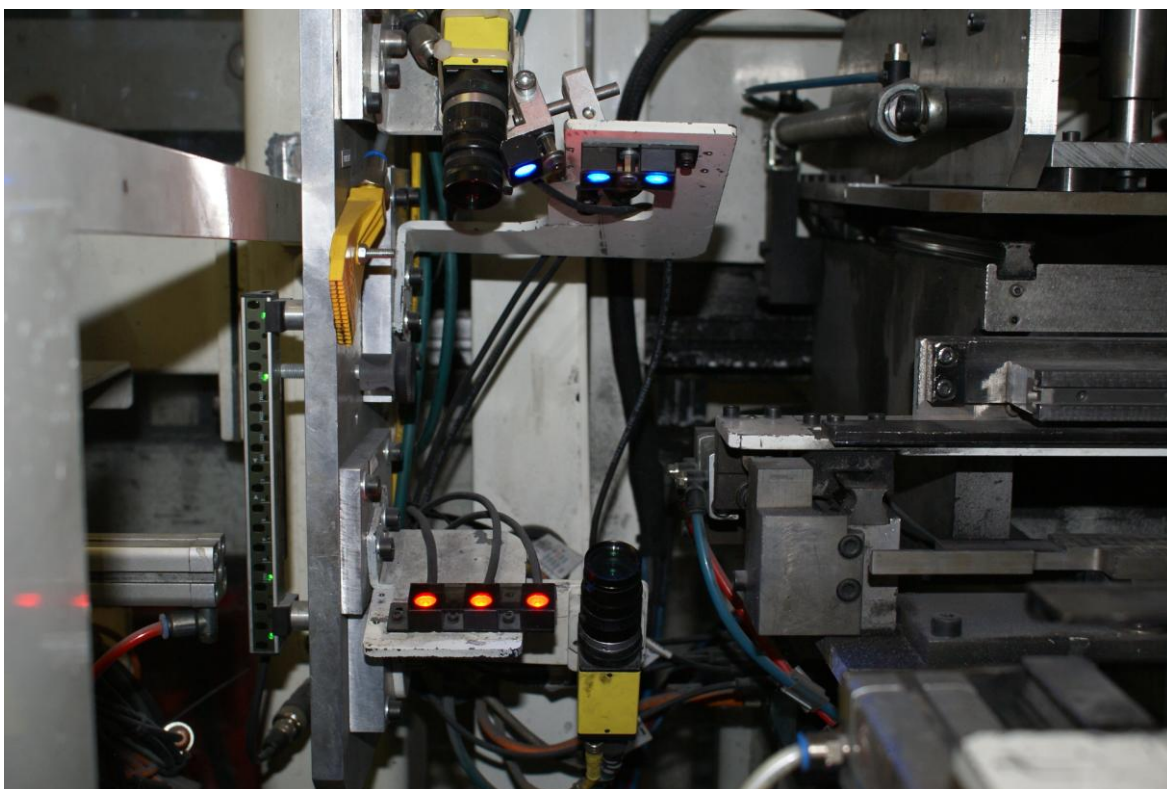
3.1.5 Snížení dopadu tolerancí rozměrů komponentů na vizuální kontrolu

V sestaveném výparníku se trubky navzájem dotýkají v horním i spodním hřbetu, kde jsou otvory pro propojení se sousedními trubkami. Tyto otvory jsou v komponentech trubek vyraženy lisováním. Výroba komponentů ražením probíhá na několika lisech, v závislosti na rozměrech, typu a aktuální potřebě. Při vyrážení otvorů do komponentů vznikne na okraji otvoru miniaturní otřep. Podoba a velikost otřepu závisí na mnoha aspektech, jako například na materiálu komponent, stavu raznic, nastavení konkrétního lisu a dalších. Výsledek je ten, že rozměry komponentů trubek a posléze i rozměry trubek se pohybují v určitých tolerancích. Další tolerance rozměrů přináší tloušťka lamel, umístěných ve výparníku mezi trubkami.

Při uvážení, že výparník je sestaven z například 150 komponentů, může nastat stav, kdy sečtením nebo odečtením tolerancí vznikne rozdíl v rozměrech nespájeného výparníku v řádech jednotek milimetrů. Výparník je ale ve stroji core assembly, při podrobení se vizuální kontrole, stlačen čelistmi stále stejně. Čelisti drží výparník uprostřed, a proto dochází k případům, kdy se má výparník na krajích tendence rozevírat do vějířovitého tvaru. Rozevřením je myšleno to, že se zvětší mezery mezi trubkami. Ke zvětšení mezer dojde převážně na krajích, zatímco uprostřed zůstanou mezery téměř stejné. Toto rozevření má poté závažný dopad na vizuální kontrolu výrobku, protože pozice výparníku, ve kterých jsou pořízeny snímky, jsou pevné a s konstantní velikostí mezery.

Částečné řešení tohoto problému přineslo postupné nastavení sevření výparníku čelistmi na všech vyráběných verzích. Sevření bylo nastaveno tak, aby byl obecně výparník méně stlačen. Tímto nedochází k významnějšímu rozevření trubek ve hřbetech výparníku. Povolení sevření je ale omezené tím, aby byl výparník dostatečně pevně sevřen i při nejmenší momentální velikosti.

3.1.6 Výsledná podoba stanice vizuální kontroly



Obr. 3.10 Výsledná podoba stanice vizuální kontroly po procesu optimalizace

Na Obr. 3.10 je stanice vizuální kontroly po procesu optimalizace. Nalevo je tryska vzduchového nože. Obě kamery jsou osazeny objektivem Fujinon HF25HA-1B, na objektivu je barevný filtr a na něm ještě polarizační filtr. Spodní držák světel pro horní kameru obsahuje třetí světlo pro nasvícení ohnutých kódování. Všechny tři světla jsou opatřeny fólií s polarizačním filtrem. Horní sada světel pro spodní kameru má, oproti spodní sadě, třetí světlo umístěné na natáčivém mechanismu. Všechny tři světla jsou stejně jako spodní sada opatřeny polarizačním filtrem.

3.2 Vývoj jobu pro inteligentní kamery

Před samotným vývojem nového jobu pro inteligentní kamery, bylo zapotřebí nejprve naprosto porozumět původnímu jobu, který byl dodán se strojem. Důvod byl ten, že některé funkce kamery nebylo zapotřebí měnit, ale také to, že změna, například komunikace s PLC, by znamenala i nutnost zásahu do programu v PLC. Tyto funkční bloky programu bylo tedy zapotřebí použít i v novém jobu a pro účely propojení těchto bloků s novými principy zpracování snímků jim bylo zapotřebí perfektně rozumět. Navržený nový job bude mít stejnou strukturu jako job původní. Tato struktura je dána bloky, do kterých je job rozvržen, protože přechody mezi těmito bloky řídí PLC. Největší

úpravy budou tedy v rámci jednotlivých bloků. Původní i nový job jsou programovány v prostředí Spreadsheet programu In-Sight Explorer. Spreadsheet je forma tabulkového procesoru a analogicky jako u tabulkového procesoru se s buňkami pracuje.

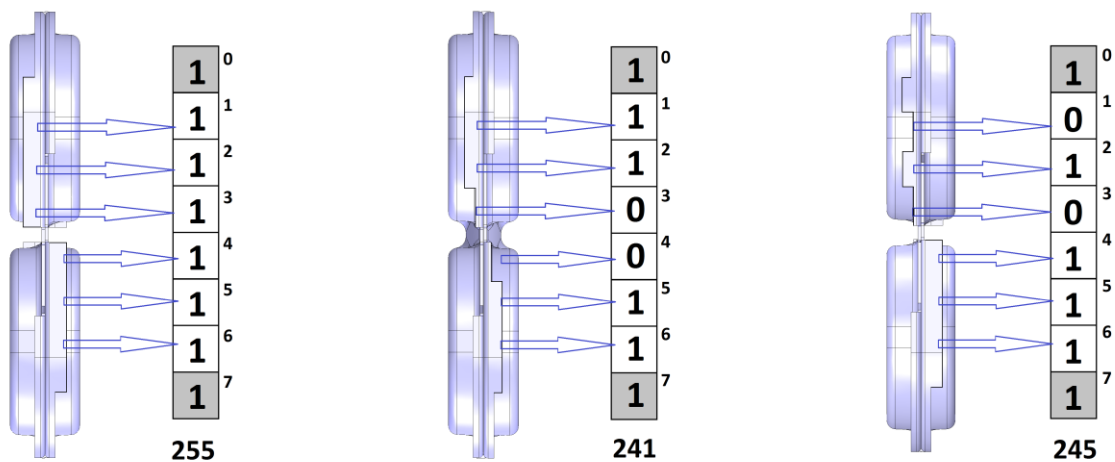
V následujících kapitolách bude výsledný navržený job po částech vysvětlen. Největší důraz bude kladen na část řešící samotnou inspekci snímků.

3.2.1 Načtení dat z PLC

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
60	Read data from the PLC																					
61	Simulate Soft 0	Event				Number of the receipt:				10									Number of tubes:			35
62	Buffer	ReadEIP				Number of images:				12									Write data counter:			1
63																						
64	Tube:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
65	Code:	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	245	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
66	Tube:	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
67	Code:	255	255	241	231	231	231	231	231	231	231	231	231	231	255	255	0	0	0	0	0	0
68	Tube:	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
69	Code:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70																						

Obr. 3.11 Oblast buněk, týkajících se načtení dat z PLC

Tato část je vykonána na povel Soft Event 0 od PLC. Dojde při ní k vyčtení sady dat, poslaných od PLC a jednotlivé hodnoty jsou umístěny do vlastních buněk pro přehlednost a další zpracování. Jsou to data jako: číslo vyráběné reference (I61), potřebný počet snímků (I62), počet trubek (S61), čítač dat (S62) a poté kódy jednotlivých trubek. Smysl čítače dat bude vysvětlen v části obstarávající odeslání výsledků inspekce do PLC. Smysl číselného kódu jednotlivých trubek je znázorněn na Obr. 3.12. Každá trubka je prostřednictvím drážkování zakódována do osmi bitového čísla. Šedě označené bity LSB a MSB byly v původním jobu také použity a dané místo kódování trubek bylo kontrolováno. Vzhledem k tomu, že na žádném typu trubek není na pozici LSB ani MSB bitu drážka a tudíž není nesena žádná informace, nebyly tyto pozice v novém jobu kontrolovány. Hodnoty daných bitů byly z důvodu kompatibility komunikace s PLC zvoleny napevno na vysokou úroveň.



Obr. 3.12 Příklad třech typů trubek a jejich číselných kódů

3.2.2 Zachycení snímků výrobku

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
71	Capture images																					
72	Simulate Trigger		Current image: 0										Triggers in progress: 0									
73			Number of photos: 20										Triggers finished: 0									
74																						
75	Image:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
76	Capture:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	20 images:	LatchIn LatchIn																				
78																						

Obr. 3.13 Oblast buněk obsahující obsluhu zachycení snímků

Na Obr. 3.13 je oblast buněk obsahující 20x funkci LatchImage, která obstará zachycení snímku. Okolní buňky řídí proces vyvolávání jednotlivých funkcí LatchImage po sobě, protože výparník je focen od konce. Samotný povel pro focení ale přijde od PLC ve formě hrany digitálního signálu TRIGGER.

3.2.3 Vybrání snímků pro inspekci

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
79	Selecting tubes for inspection																							
80	Simulate Soft 1		Event		Start of inspection																			
81	Simulate Soft 2		Event		End of inspection										Inspection in progress: 1									
82																								
83	Tube:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
84	Inspect (1 = yes):	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
85	Tube:	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40			
86	Inspect (1 = yes):	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
87	Tube:	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60			
88	Inspect (1 = yes):	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
89																								

Obr. 3.14 Oblast buněk, která řídí vykonávání inspekce jednotlivých trubek

Tato část je řízena dvěma povely od PLC. Je to povel pro začátek inspekce zachycených snímků a povel pro konec inspekce. V závislosti na tomto povelu se u čísla jednotlivých trubek zobrazí, zdali se má inspekce vykonat nebo nikoliv. Snímků se totiž vyfotí pokaždé 20, což znamená 60 trubek. Výparníky mohou mít však trubek mnohem méně, jako například v tomto případě, kdy jde o verzi 35T.

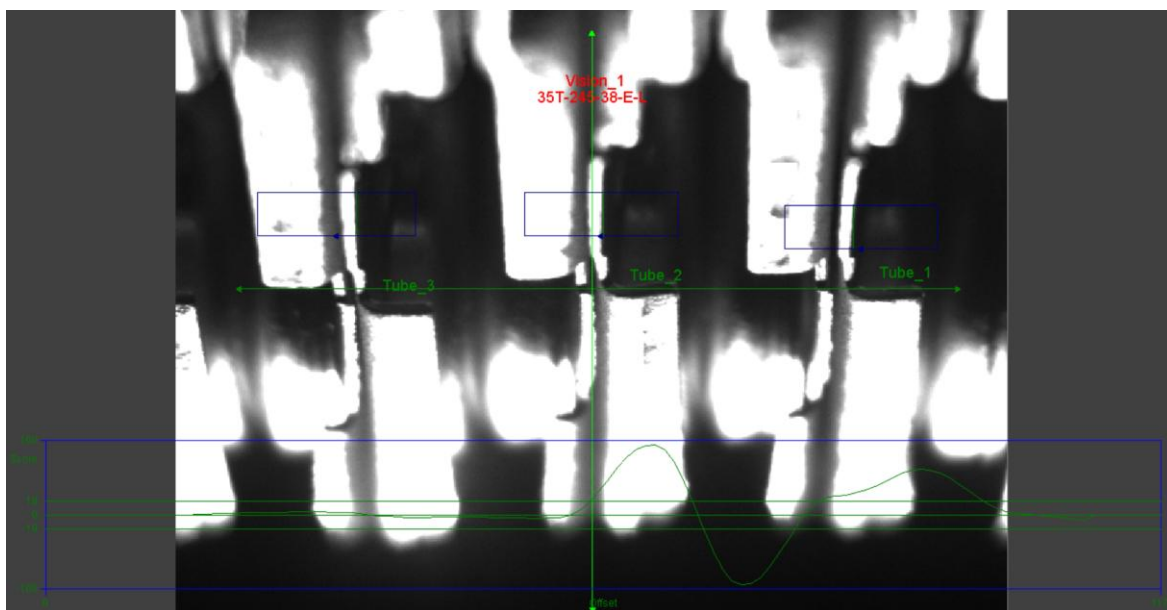
3.2.4 Inspekce snímku

Na Obr. 3.15 je oblast buněk, obstarávající inspekce trubek na snímku 1. Podrobně zde bude probrána jen inspekce jedné trubky ze snímku. Pro zbylé dvě trubky snímku a všechny ostatní snímky platí vše analogicky stejně.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
100	Processing of image 1												
101	Tube 1				Tube 2				Tube 3				
102	Edges	Row	MidCol	Angle	Edges	Row	MidCol	Angle	Edges	Row	MidCol	Angle	
103	Edges	180	520	180	Edges	180	328	180	Edges	180	139	180	
104	Dist	213	520	-91	Dist	214	328	-90	Dist	222	139	-90	
105	ErrFree:	213	520	180	ErrFree:	214	328	180	ErrFree:	222	139	180	
106	1.000	ShiftRegis	hiftRegis	hiftRegis	1.000	ShiftRegis	hiftRegis	hiftRegis	1.000	ShiftRegis	hiftRegis	hiftRegis	
107	Mean:	215	516	180	Mean:	214	326	180	Mean:	220	137	180	
108	Use:	213	520	180	Use:	214	328	180	Use:	222	139	180	
109	Fixture	213	520	180	Fixture	214	328	180	Fixture	222	139	180	
110	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	
111	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	
112	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	Hist	Image	462	1.000	
113	Plot					Plot					Plot		

Obr. 3.15 Inspekce snímku 1

V buňce A102 je umístěna funkce FindLine. Ta najde jednu rovnou hranu uvnitř zadané oblasti. Hrana je rozhraním mezi dvěma přilehlými oblastmi pixelů s kontrastními hodnotami stupně šedi. Funkce FindLine obsahuje parametry, které je zapotřebí zadat. Jde například o snímek, oblast pro vyhledání hrany ve snímku, polaritu hrany (white to black nebo black to white), úhel hrany, rozhodovací úroveň a také způsob interpretace výsledků. Vstupní parametry jsou zadány uživatelem v sekci Custom View. Výstupem funkce FindLine jsou souřadnice dvou bodů přímky, charakterizující nalezenou hranu a její úhel.



Obr. 3.16 Snímek se zobrazenými nástroji FindLine pro zaměření pozic trubek ve vodorovném směru

Na

Obr. 3.16 lze vidět oblast pro vyhledání hrany dále označené jako Edge 1 pro každou trubku. Vespodu obrázku je graf interpretující zpracování zadané oblasti nástrojem FindLine. Pro úplné pochopení významu dat v grafu, je zapotřebí vysvětlit pojem histogram. Histogram je pro potřeby In-Sight zařízení definován jako četnost jednotlivých hodnot odstínů šedi v konečné oblasti. Na základě statistických dat získaných z histogramu, je získána informace o kontrastu v této oblasti. Hodnota kontrastu z histogramu je vztažena na svislou osu v grafu na obrázku. Vodorovná osa znázorňuje souřadnici, ve které je hrana hledána. Dále jsou v grafu vyznačeny dvě hodnoty kontrast score (19 a -19). Tyto hodnoty znamenají rozhodovací úroveň, pod kterou jsou všechny hodnoty kontrastu zamítnuty.

Buňka A103 obsahuje opět funkci FindLine pro nalezení hrany označenou jako Edge 2. Pro tuto funkci platí totéž co pro předchozí s tím rozdílem, že pozice vyhledávání této hrany není pevná, nýbrž závislá na vodorovné souřadnici nalezené hrany v předchozím kroku a na svislé souřadnici zadané při konfiguraci v sekci Custom View.

Následuje funkce LineToLine (A104), která slouží k získání souřadnic průsečíku dvou přímek. Souřadnice dvou bodů každé přímky jsou výstupem předchozích dvou funkcí FindLine. Tento průsečík slouží jako fixační bod každé trubky, využitý k dalšímu zpracování. V tomto případě se chod programu dělí. Pokud totiž do této doby nenastala

žádná chyba, jednotlivé trubky mají zafixované pozice na snímcích a mohou být podrobeny samotné kontrole. V případě, že některá z předchozích vyhledávacích funkcí přešla do chybového stavu, je zapotřebí tuto chybu ošetřit a pokračovat v programu jinou cestou.

Bezporuchový průchod

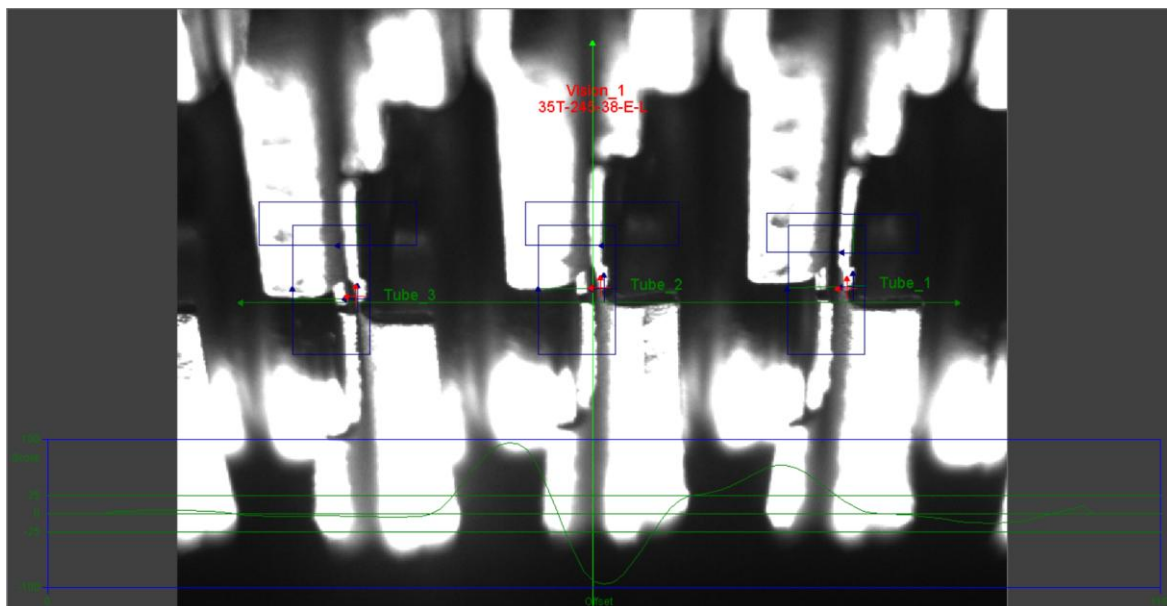
Informace o tom, zdali doposud nenastala žádná chyba, udává buňka A106. Za předpokladu, že tato buňka vrací hodnotu 1, je další postup následovný. Souřadnice nalezeného průsečíku a jeho úhel (Row, Column, Angle), v návaznosti na bezporuchovém průchodu, jsou vybrány v řádku 108, označeném jako USE. Na následujícím řádku (A109) je vložena funkce Fixture, která má jako vstupní hodnoty právě souřadnice a úhel z řádku předchozího. V tento moment je funkcí Fixture zvolen střed lokálního souřadného systému každé trubky a všechny další funkce a nástroje budou právě na tento střed navázány.

Další zpracování snímků bude popsáno dále, ale v tuto chvíli je zapotřebí vysvětlit funkce v buňkách B106, C106 a D106. V každé této buňce je vložena funkce ShiftRegister a jak název napovídá, plní funkci posuvného registru. Po každém bezporuchovém průchodu inspekci je do registru přidána hodnota jedné ze souřadnic nebo úhlu průsečíku. Délka posuvného registru je nastavena na hodnotu šest. Tato délka posuvného registru se osvědčila při testování. Souřadnice průsečíku a jeho úhel jsou tedy neustále průměrovány z hodnot posledních šesti bezporuchových průchodů nalezení hran. Tento průměr je získán prostřednictvím funkce GetMean, která se odkazuje na jeden z posuvných registrů. Průměrové hodnoty jsou vypsány v buňkách B107, C107 a D107. Hodnoty průměru jsou využity v případě, že při vyhledání hran dojde k chybě, viz níže.

Průchod s ošetřením chyby

V případě, že dojde k selhání kterékoliv ze dvou funkcí FindLine z důvodu nenalezení jedné ze dvou hran, nedojde k vykonání funkce LineToLine. Funkce totiž bude zavolána s neplatnými vstupními parametry a její výstup bude proto #ERR. Dále nedojde k vykonání žádných dalších funkcí závislých na této, a to vše by vyústilo k selhání inspekce a zamítnutí výrobku. V případě, že selhání nalezení jedné ze dvou hran má jiný důvod než je špatně sestavený výparník, by bylo vhodné, aby inspekce pokračovala.

Nejprve je zapotřebí zabránit dalšímu šíření #ERR. Pro tyto účely slouží funkce ErrFree, která je navázána na jinou funkci a v bezporuchovém stavu je dále transparentní a její výstup je výstup funkce, na kterou je navázána. V případě, že nedojde k vykonání předchozí funkce a její výstup je tedy #ERR, funkce ErrFree dá výstup 0. V případě, že buňka A106 dává výstup 0, v buňkách v řádku USE jsou použity průměrné hodnoty z posuvných registrů. Dále už je postup stejný jako u bezporuchového průchodu, tj. získání lokálního středu souřadné soustavy pro každou trubku.



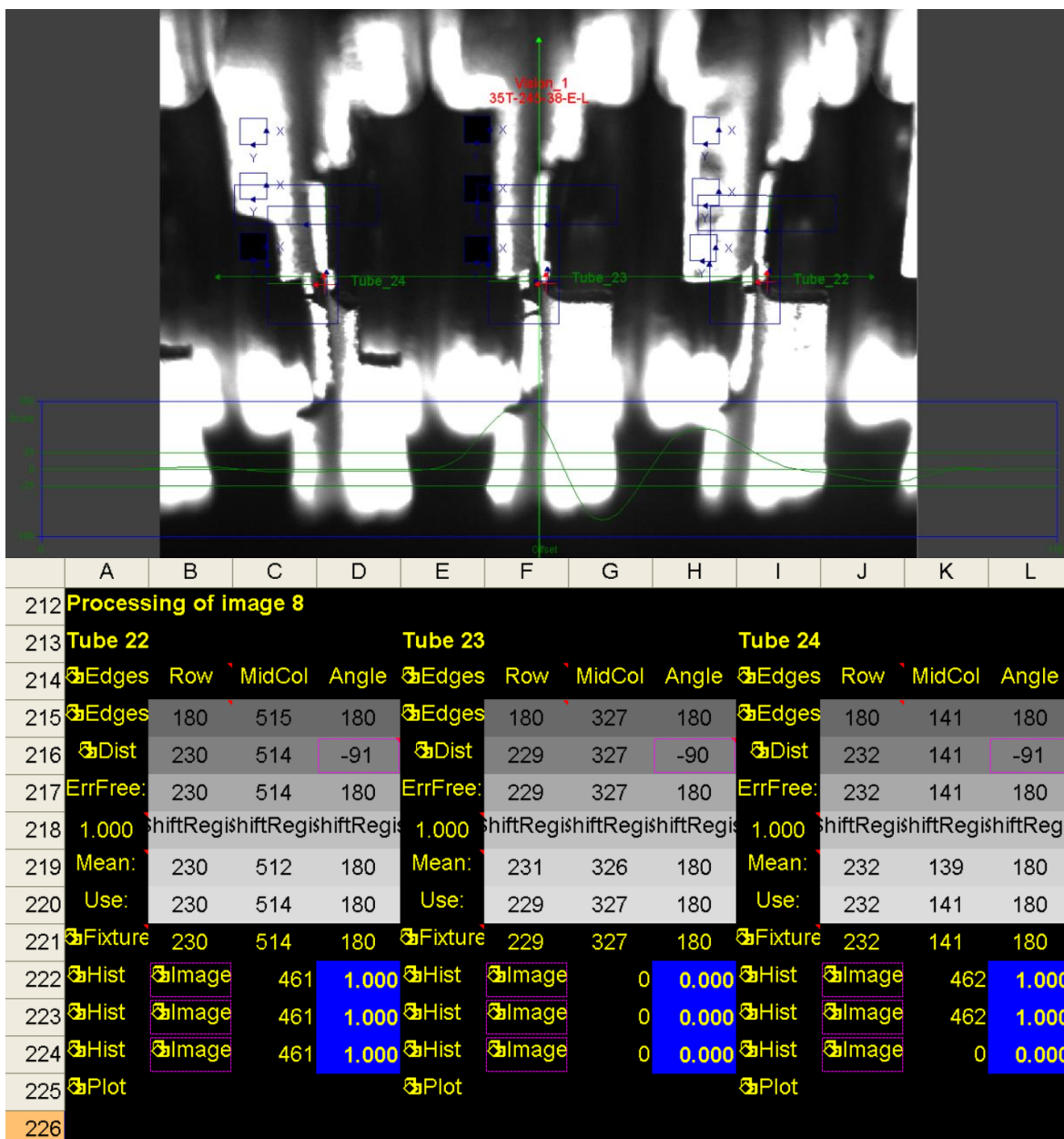
Obr. 3.17 Snímek se zobrazenými nástroji pro zaměření přesných pozic trubek

Na Obr. 3.17 je snímek se zobrazeným grafickým znázorněním nástrojů pro určení přesných pozic trubek na snímku a určení středů jejich lokálních souřadných systémů. Modrý kříž ve středu každé trubky znázorňuje střed souřadného systému, získaného nástrojem Fixture. Červený kříž udává také pozici středu trubek, ale je získán průměrováním předchozích šesti OK inspekci.

3.2.5 Pokračování inspekce snímku

Další krok programu je aplikace nástrojů ExtractHistogram pro získání informace o drážkování v kódování trubek. Tento nástroj zpracuje histogram ze zadané oblasti. K získání informací z histogramu slouží několik přístupových funkcí. Pro naše účely je použita funkce HistCount, která vrátí, kolik pixelů ze zadané oblasti se nachází mezi dvěma zadanými hodnotami stupně šedi. První hodnota je Thresh, zadaná v sekci CustomView a druhá hodnota je 255. Číslo získané pomocí funkce HistCount tedy udává počet „bílých“ pixelů. Od určitého počtu bílých pixelů se dá oblast považovat za „bílou“,

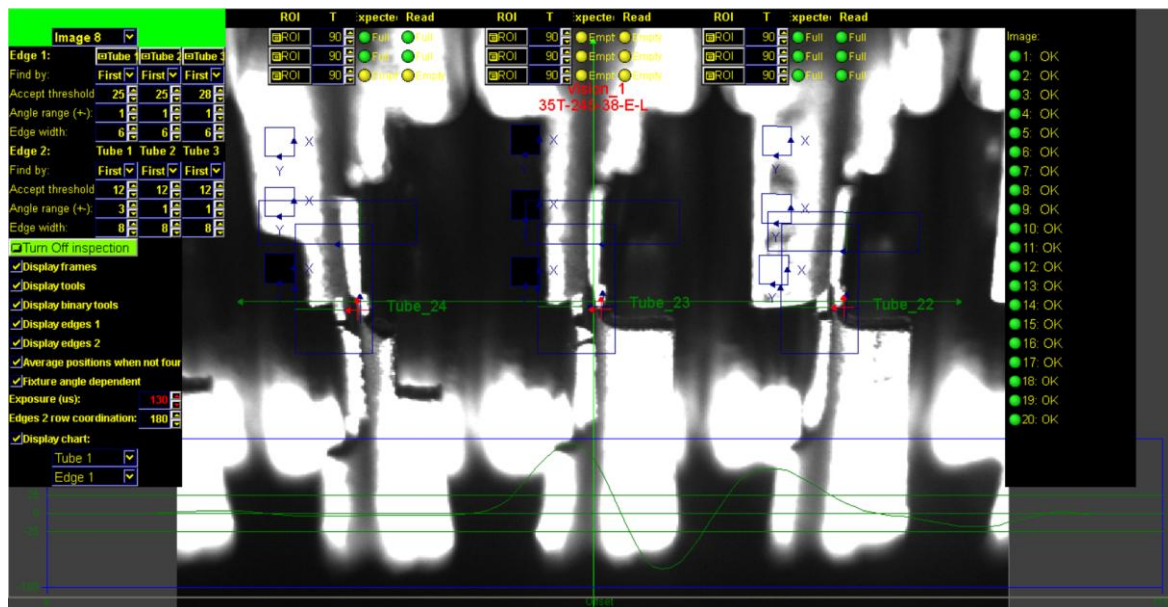
což znamená, že v místě není drážka. Velikost oblasti pro nástroj ExtractHistogram je 23x23 pixelů tj. 529 pixelů. Hodnota potřebného minimálního počtu bílých pixelů byla na základě velikosti oblasti a testování stanovena na 250 pixelů. Následuje tedy buňka obsahující jednoduché porovnání těchto dvou hodnot a na tomto základě dávající hodnotu 0 nebo 1. Pro účely grafického znázornění rozdělení oblasti na „černé“ a „bílé“ pixely slouží nástroj PointFilter, který na základě stejných vstupních parametrů jako nástroj ExtractHistogram a hodnoty Thresh převede zadanou oblast ze stupňů šedi do černobílé. Vše výše popsané je vykonáno třikrát pro každou trubku a výstupem jsou tedy tři binární jednobitové hodnoty, korespondující s drážkováním v kódování trubek. Na Obr. 3.18 je snímek se zobrazenou vizualizací všech výše popsaných nástrojů. Pro nejlepší ilustraci byl záměrně vybrán snímek obsahující tři typy trubek. Obrázek obsahuje i oblast buněk spreadsheetu, které tyto nástroje obsahují. Z obrázku je patrné, že výstupní binární hodnoty korespondují s drážkováním kódování trubek.



Obr. 3.18 Snímek s vizualizací kompletní sady nástrojů a oblast buněk obsahující tyto nástroje

3.2.6 Rozhraní CustomView

Jak již bylo řečeno, tato sekce slouží jako vizualizační a konfigurační rozhraní pro obsluhu. Bylo tedy zapotřebí umístit do jedné obrazovky všechny potřebné vizualizační a konfigurační nástroje.



Obr. 3.19 Rozhraní Custom View

Naprostá většina vizualizačních nástrojů je závislá na buňce vlevo nahoře (Obr. 3.19), kde obsluha vybírá snímek, se kterým chce pracovat. Pod buňkou pro výběr snímku je oblast pro konfiguraci nástrojů pro vyhledání hran Edge 1 a Edge 2 všech tří trubek. Následuje zelené tlačítko, které slouží pro umělé vyvolání startu inspekce. Pod tlačítkem je sada CheckBoxů pro zvolení skrytí nebo zobrazení některých nástrojů a také pro zapnutí nebo vypnutí některých funkcí. Buňka Exposure slouží k zadání doby, po kterou CCD snímač snímá obrazovou informaci. Následuje zadání jedné souřadnice pro vyhledání hrany Edge 2. Poslední buňky slouží k obsluze grafu.

Nahoře nad trubkami na snímku jsou buňky sloužící ke konfiguraci nástroje ExtractHistogram každé trubky, nastavení rozhodovací úrovně a vizualizace těchto nástrojů v podobě žlutých a zelených koleček. Vždy jeden sloupec koleček označený jako Expected a druhý sloupec koleček označený jako Read. Smysl těchto koleček je rychlé porovnání očekávaného drážkování kódování trubek a drážkování získaného z inspekce.

3.2.7 Nastavení Vision Systému

Tato část slouží k nastavení základních parametrů systému. Job je podle požadavků univerzální a je tedy možné použít ho v obou inteligentních kamerách. Kamery ale odlišně komunikují s PLC a interpretují výsledky.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
40	Setting of the Vision System																		
41	Password:																		
42	*****																		
43																			
44	Histogram ROI size:				23	version: Col offset				version: Col offset									
45	Number of pixels (above the thres				250	1	0	M3M4	39T-200-38-E-L	11	0	A9	39T-200-38-E-L-50um						
46						2	0	MQBL	41T-245-38-E-L	12	0		50T-225-38-E-R-50um						
47	Average position cross collor:				7	3	0	MQBR	41T-245-38-E-R	13	0		41T-245-38-E-R-9BXX						
48	Average position cross size:				15	4	0	K2XX	46T-245-38-E-R	14	0								
49						5	0	PL7	50T-225-38-E-R	15	0								
50	Mask coding				142	6	0	MERL	41T-245-38-S-L	16	0								
51	Communicate as:				Vision 1	7	0	MERR	41T-245-38-S-R	17	0								
52						8	0	P1LLUS	46T-245-38-S-R	18	0								
53	Size of shift registers:				6	9	0	X52	35T-225-38-E-L	19	0								
54						10	0	VOKKA	35T-245-38-E-L	20	0								

Obr. 3.20 Oblast sloužící k základnímu nastavení Vision Systému

Další důvod univerzálnosti jobu je plánované aplikování na ostatní stroje, kde ale nedojde ke změně objektivu, ani k jinému zásahu do scény a otestuje se přínos samotné změny softwaru. Z tohoto důvodu tato část obsahuje i prvky, pomocí kterých obsluha zadá velikosti oblastí nástrojů ExtractHistogram a počet bílých pixelů, který se od velikosti oblasti odvíjí. Dále tato část obsahuje volbu pro velikost posuvných registrů. Největší část zabírá tabulka s názvy a parametry jednotlivých vyráběných verzí výparníků, řazených podle indexu. Sloupec Col offset umožňuje přizpůsobení pozic všech nástrojů dané verze.

3.2.8 Zpracování výsledků inspekce snímků

Hodnoty třech jednobitových čísel, získaných inspekcí snímků, je dále zapotřebí porovnat s hodnotami získanými z PLC. Jak bylo naznačeno v Obr. 3.12, každá trubka je charakterizovaná svým číselným kódem. Z tohoto binárního čísla, kamera použitím unikátní masky získá hodnotu, která je již připravená pro porovnání. Podobně je zapotřebí připravit i hodnoty získané inspekcí. Tyto hodnoty jsou podle pozice inspekčních nástrojů uspořádány v osmibitovém binárním čísle a bitově vynásobeny se stejnou unikátní maskou jako data z PLC.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y		
269	Images and tubes results																										
270	IMAGE 1					IMAGE 5					IMAGE 9					IMAGE 13					IMAGE 17						
271	ide	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	
272	1	142	142	1	1	13	142	142	1	1	25	134	134	1	1	37	0	128	1	1	49	0	128	1	1		
273	2	142	142	1	1	14	142	142	1	1	26	134	134	1	1	38	0	128	1	1	50	0	128	1	1		
274	3	142	142	1	1	15	142	142	1	1	27	134	134	1	1	39	0	128	1	1	51	0	128	1	1		
275	IMAGE 2					IMAGE 6					IMAGE 10					IMAGE 14					IMAGE 18						
276	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score
277	4	142	142	1	1	16	142	142	1	1	28	134	134	1	1	40	0	128	1	1	52	0	128	1	1		
278	5	142	142	1	1	17	142	142	1	1	29	134	134	1	1	41	0	128	1	1	53	0	128	1	1		
279	6	142	142	1	1	18	142	142	1	1	30	134	134	1	1	42	0	128	1	1	54	0	128	1	1		
280	IMAGE 3					IMAGE 7					IMAGE 11					IMAGE 15					IMAGE 19						
281	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score
282	7	142	142	1	1	19	142	142	1	1	31	134	134	1	1	43	0	128	1	1	55	0	128	1	1		
283	8	142	142	1	1	20	142	142	1	1	32	134	134	1	1	44	0	128	1	1	56	0	128	1	1		
284	9	142	142	1	1	21	142	142	1	1	33	142	142	1	1	45	0	128	1	1	57	0	128	1	1		
285	IMAGE 4					IMAGE 8					IMAGE 12					IMAGE 16					IMAGE 20						
286	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score	Tube	Code	expect	Code	read	Tube	score	Image	score
287	10	142	142	1	1	22	142	142	1	1	34	142	142	1	1	46	0	128	1	1	58	0	128	1	1		
288	11	132	132	1	1	23	128	128	1	1	35	142	142	1	1	47	0	128	1	1	59	0	128	1	1		
289	12	142	142	1	1	24	134	134	1	1	36	0	128	1	1	48	0	128	1	1	60	0	128	1	1		

Obr. 3.21 Oblast buněk spreadsheetu, které obstarávají porovnání hodnot z inspekce a z PLC

Modře podbarvené jedničky v Obr. 3.21 znamenají, že se typ trubek identifikovaný inspekcí shoduje s očekávaným typem podle PLC. Inspekce probíhala jen pro 35 trubek. Jedničky vypsané u trubek 36-60 nejsou získané inspekcí, ale na základě toho, že výparník obsahuje trubek jen 35.

3.2.9 Odeslání výsledků kontroly do PLC

Na Obr. 3.22 je úsek jobu, který obsahuje buňky pro přípravu dat a odeslání dat do PLC. Výsledky inspekce, tj. 60 nul a jedniček jsou za sebou uspořádány do čtyř 16 bitových čísel. Následuje 16 bitové číslo obsahující status inspekce a poslední 16 bitové číslo obsahující čítač dat. Všech šest 16 bitových čísel je uspořádáno za sebou do Bufferu a odesláno do PLC. PLC si poté stejným způsobem data z těchto čísel vyextrahuje. Čítač dat slouží ke kontrole, zdali výsledky vizuální kontroly výparníku odpovídají výparníku, na který byl vyslán požadavek.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
292	Write data to the PLC																					
293	Soft event 5	Event																				
294		Buffers:			Values:																	
295	Result_Vision 1/4	Buffer			65535																	
296	Result_Vision 2/4	Buffer			65535																	
297	Result_Vision 3/4	Buffer			65535																	
298	Result_Vision 4/4	Buffer			4095																	
299	Status word	Buffer			12																	
300	Write_data_counter	Buffer			1																	

Obr. 3.22 Oblast buněk spreadsheetu, která zprostředkovává odeslání výsledků zkoušky do PLC

3.2.10 Odeslání snímků na FTP

Tato část je vyvolána řídicím PLC po skončení vizuální kontroly. Dojde při ní k odeslání zachycených snímků na FTP sever. Snímky jsou zálohovány pro případné další použití. Tato část byla v novém jobu použita takřka nezměněna, z důvodu vyhovující funkce.

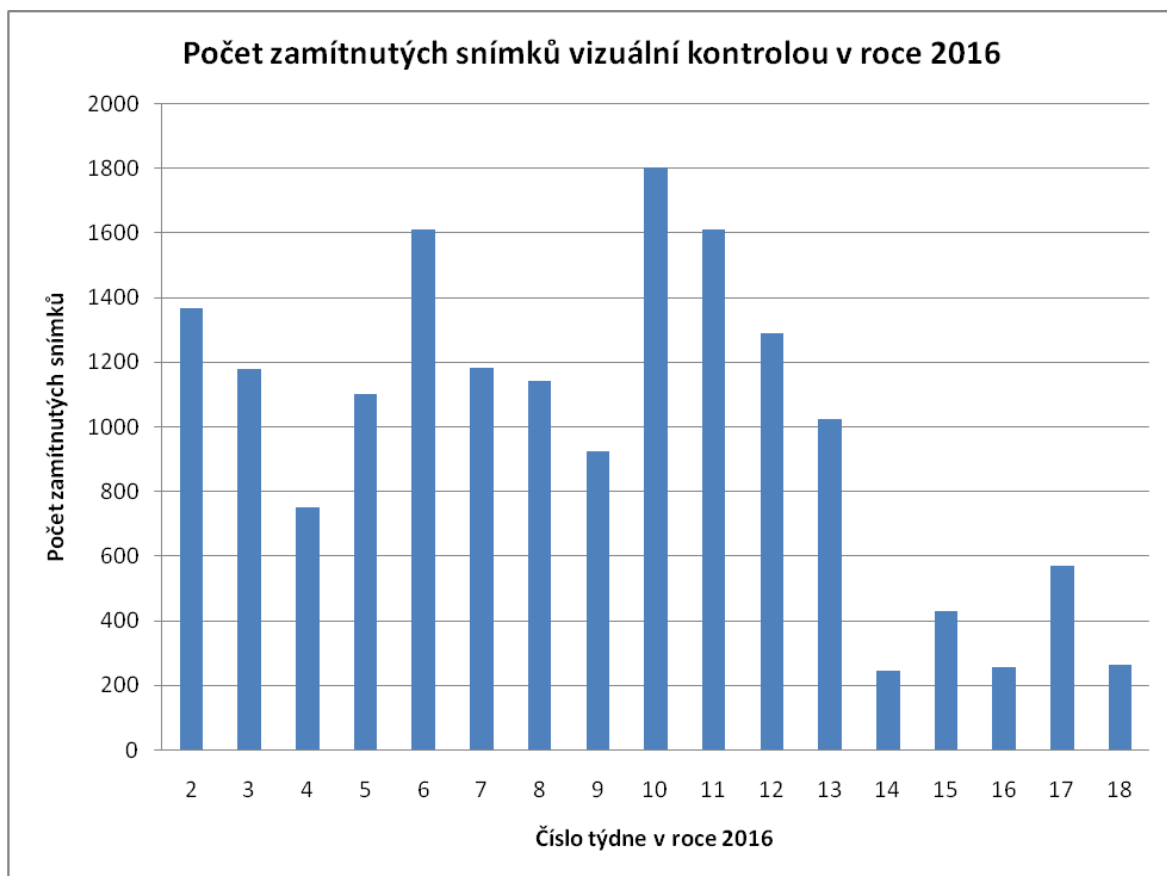
Jediná změna spočívala v přidání názvu aktuálně vyráběné verze do názvu snímků. Označením verze došlo k zjednodušení následné práce se snímky.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
302																						
303	Simulate Soft	Event	Event start saving images																			
304	Simulate Soft	Event	Event stop saving images																			
305																						
306	Image	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
307	Save Command	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
308	Image Score:	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
309	Tube 1 Score:																					
310	Tube 2 Score:																					
311	Tube 3 Score:																					
312	Concatenation:																					
313	File Name:	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05	2016-05
314																						
315		0																				
316	Event																					
317	0	87	2016-05-06_00-42-12_MOKKA_Vision_1_Image_01_OK_																			
318	FTP	LatchImage																				

Obr. 3.23 Úsek jobu obstarávající odesílání snímků na FTP server

4 Zhodnocení navrženého řešení

Přínos navrženého řešení nelze vyjádřit prostým číselným údajem, například o vyrobených kusech od doby inovace systému vizuální kontroly. Stroj Core Assembly je velmi rozsáhlá montážní linka a jeho výsledky jsou závislé na mnoha aspektech. Jedněmi z možných ukazatelů by ale mohly být databáze chyb, které jsou ze stroje sbírány. Pokaždé když dojde k zamítnutí výparníku vizuální kontrolou, je do databáze uložen údaj o času nastání chyby a její charakteristika v podobě čísla snímku. Pokud nastane zamítnutí několika snímků jediného výrobku, jsou všechny chyby zaznamenány. Závislost počtu zamítnutých snímků za týden je znázorněna níže (Graf 1.). Graf obsahuje údaje od 2. do 18. týdne roku 2016 a je zpracován z podrobné tabulky v příloze B. Na začátku 14. týdne tj. 28.3 byly na systém vizuální kontroly aplikovány všechny doposud osvědčené inovace, do kamer byl nahrán navržený job a došlo k nastavení parametrů stroje souvisejících s vizuální kontrolou na všechny vyráběné verze. Průměrné množství zamítnutých snímků za týden bylo před aplikací inovací 1248 snímků. Průměr za posledních 5 týdnů od inovace skýtá 364 snímků. Vliv inovací na další statistické údaje by měl být zřetelný po uplynutí několika měsíců. Výsledky zobrazené v grafu reflektují i ohlasy od členů údržby a operátorů stroje.



Graf 1 Počet zamítnutých snímků v jednotlivých týdnech roku 2016

Další možnost jak zhodnotit spolehlivost navrženého systému je detailní zkoumání snímků na FTP serveru. Do Tab. 1 byly uvedeny všechny důvody, kvůli kterým došlo k zamítnutí snímků v 18. týdnu. Poměrně obsáhlou skupinou jsou deformace. Částí této skupiny jsou i případy, kdy jsou komponenty trubek podélně posunuty vůči sobě a potom dojde k selhání nalezení hrany Edge 1. Zde je zapotřebí objektivně uvést, že původní řešení tento konkrétní typ slabiny nemělo, protože hrana byla vyhledávána v jiném místě trubek. Skupina skladba je nejobsáhlejší a její význam je špatné poskládání trubek. Řádek pozice udává, kolik snímků bylo zamítnuto z důvodu jiné pozice trubek na snímcích, než bylo očekáváno. Všechny záznamy v řádce Ohnuté kódování pochází ze snímků pořízených horní kamerou. Spodní kamera používá vylepšený systém nasvícení a problém se zamítáním snímků z důvodu ohnutého kódování se zde již nevyskytuje.

Snímek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	celkem
Otřepy	2	1	1	2	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	10
Deformace	7	10	0	5	3	2	1	1	1	3	4	6	8	15	66
Skladba	6	1	1	31	3	4	0	10	24	11	8	14	7	4	124
Pozice	2	2	1	4	2	2	4	3	5	7	7	2	8	1	50
Ohnuté kódování	0	0	1	1	1	1	1	2	0	2	2	3	1	0	15
Všechny důvody	17	14	4	43	9	10	8	16	30	23	24	25	24	20	265

Tab. 1 Detailní rozbor důvodů zamítnutí snímků v 18. Týdnu roku 2016

Provedená analýza znázorněná v Tab. 1 je velmi časově náročná. Podobná analýza pro některý z týdnů před aplikací inovací nebyla provedena z důvodu velkého množství zamítnutých snímků (v průměru 1248 za týden).

Výše zmíněných 265 snímků způsobilo zamítnutí 203 výrobků. V několika případech došlo k zamítnutí více snímků během jediné inspekce. Typickým příkladem je výparník, kde jsou prohozeny dvě trubky mezi sebou a to způsobí 2 zamítnuté snímky. Statistická data za rok 2016 udávají, že průměrný prostoj stroje po zamítnutí výrobku je 41 sekund. Pro tento konkrétní týden se v součtu dostáváme na celkový prostoj 2,31 hodiny.

V týdnu 12, kdy došlo k zamítnutí 1290 snímků (nejblíže průměrné hodnotě), byla provedena stejná analýza. Tento počet snímků způsobil zamítnutí 921 výrobků, což dává celkový prostoj 10,49 hodiny. Rozdíl mezi těmito dvěma týdny je přes osm hodin, což je doba trvání jedné směny. Nutno si také uvědomit, že stroj nejenže nevyráběl nové výrobky, ale že naopak tvořil odpad, vyžadoval obsluhu operátorem, spotřebovával energie apod.

Možná vylepšení

Veškeré práce se systémem vizuální kontroly při zavádění inovací, ale i při testování a následném analyzování snímků, přinesly několik dalších nápadů na budoucí vylepšení systému. V následujících odstavcích budou tyto eventuální vylepšení nezávisle na sobě diskutovány.

Zahrnutí paměťových prvků do inspekce přineslo jedno z nejvýznamnějších vylepšení systému. V okamžiku, kdy dojde k selhání nalezení jedné ze dvou hran, a tudíž i selhání zaměření pozice trubky ve snímku, se její pozice určí na základě pozic předchozích šesti nezamítnutých výrobků. Pokud je ale pozice trubky na snímku nalezena z jakéhokoliv důvodu mylně, inspekce přejde k dalšímu kroku a snímek je poté zpravidla zamítnut. Řešení by mohlo přinést porovnávání nalezené pozice trubky s pozicí získanou průměrováním pozic trubek několika posledních inspekci. Vzdálenost dvou pozic od sebe by se vypočítávala a při překročení stanoveného limitu by byl jako lokální souřadný střed určen bod získaný průměrováním.

Po aplikaci nástrojů ExtractHistogram na kódování trubek dojde k výpočtu, kolik pixelů z oblasti má jas větší, než je ručně stanovená hodnota. Alternativou ručního zadávání rozhodovací úrovně jasu by mohlo být automatické vypočítávání této hodnoty v každém snímku. Důvod pro toto snažení je rozmanitý stav a původ komponentů trubek. Jeden výparník může obsahovat trubky pocházející z různých výrobních linek, odlišného materiálu a odlišného data výroby, s čímž souvisí pravděpodobně odlišné nastavení nanášení tavidla. Informaci o jasu v místech, která nás zajímají a pozadí by mohla poskytnout přístupová funkce HistThresh, která určí rozhodovací úroveň ze zpracovaného histogramu nad zadanou oblastí. Tato oblast by byla záměrně zvolena tak, aby zabírala kódování i pozadí zároveň.

Důležitou částí zavádění inovací, odladování a rozhodování se, zdali došlo ke zlepšení či nikoliv, je práce se snímky na FTP serveru. V názvu snímku je informace o času, vyráběné verzi a stavu snímku. To znamená, že kromě označení OK nebo NOK a čísla trubky na snímku není známo, z jakého důvodu inspekce selhala. Řešení by mohlo být zavedení dalších znaků do názvu, které by udávaly informaci například: která detekce hrany selhala,

zdali bylo zapotřebí spolehnout se na pozici získanou průměrováním a podobně. Tato data by velmi usnadnila další práci se snímky.

V případech, kdy je výrobek vizuální kontrolou zamítnut, dostane operátor výroby prostřednictvím ovládacího panelu stroje informaci, která trubka z výparníku nevyhovuje. Nedostane ale už žádnou informaci o tom, z jakého důvodu je trubka zamítnuta. Každý operátor tedy musí mít dobrý přehled o složení výparníků jednotlivých verzí. Na základě vlastního úsudku výparník opraví nebo vyhodí. V případech méně zkušených operátorů, může špatné rozhodnutí na základě subjektivního úsudku znamenat jen další zamítnutý výparník a tedy další časové prostoje. Pokud by měl operátor jasnou informaci o důvodu zamítnutí a také o možné opravě, mohlo by dojít k dalšímu zlepšení využití stroje. Tuto možnost přináší software VisionView, který zprostředkuje operátorské rozhraní se zobrazenými inspekčními nástroji a řídicími prvky. Pro potřeby vizuální kontroly výparníků přichází v úvahu použití tohoto softwaru na dvou podporovaných platformách. Jednou z nich je monitor osobního počítače, na kterém by byl software nainstalován a druhou možností je VisionView 900 display. Tento panel podporuje heslem chráněný přístup, nastavování nástrojů a změny oblastí nástrojů. [7]

Výše zmíněný problém s tolerancí šířky trubek a následným vyosením trubek na snímcích byl částečně vyřešen povolením výparníku v čelistech. Pokud by se v následujících měsících ukázalo, že tento problém stále trvá, řešením by mohl být povel z kamer pro PLC o potřebné změně parametrů, udávajících okamžiky focení snímků. V tuto chvíli komunikace zahrnuje množství bytů, které mají nulovou hodnotu a jsou tedy volné pro další rozšíření komunikace.

Stanice vizuální kontroly obsahuje dvě kamery In-Sight micro 1400. Z toho plyne náročnost nezávislé komunikace se dvěma systémy, nastavení každého systému zvlášť, prostorové nároky a v neposlední řadě také značnou pořizovací cenu kamer. V dnešní době výrobce Cognex nabízí výkonnější řadu kamer In-Sight 8000 Series. S výkonnějším modelem by mohla kompletní vizuální kontrolu obstarat jedna inteligentní kamera. Vše by záleželo na tom, zda by se s jednou kamerou podařilo vytvořit vhodnou geometrii nasvícení, případně zda by nebyl problém s hloubkou ostrosti. Výrobce uvádí, že kamera In-Sight micro 8401 má Speed rating 15x, zatímco model 1400 jen 10x. Parametr Speed rating všech kamer je vztažen k základnímu modelu 1020, který má tento parametr uveden

jako 1x. Model 8401 disponuje rozlišením 1280 x 1024 pixelů oproti modelu 1400, který má snímač s rozlišením 640 x 480 pixelů. [8]

Závěr

Předkládaná diplomová práce popisuje proces optimalizace systému vizuální kontroly sestavení výrobku na automatizované lince. Hlavním cílem optimalizace je snížení množství správných výrobků, které jsou vizuální kontrolou zamítnuty.

V úvodu práce je stručně popsán finální výrobek linky, problematika kvality sestavení výrobku, montážní linka a samotná stanice vizuální kontroly. Následuje popis původního systému vizuální kontroly a jeho funkce. V další části jsou podrobně popsány nedostatky původního systému a také parametry komponentů a okolí, mající na spolehlivost systému největší vliv. V reakci na tyto nedostatky systému a jeho přílišné citlivosti na stav komponentů a okolí vznikl požadavek na optimalizaci celého systému.

Informace získané analýzou důvodů zamítnutí výrobků určovali směr, kterým se optimalizace ubírala. Postupně jsou tedy dále popsány všechny kroky optimalizace systému. První velmi významnou skupinou akcí byla snaha o zlepšení podmínek pro snímání a samotného snímání. Kamery byly osazeny objektivy s větší ohniskovou vzdáleností pro zmenšení zorného úhlu a tím získání snímků kontrolované oblasti s větším rozlišením. Pro každou kameru bylo přidáno světlo pro vyřešení problému zamítání výrobků z důvodu ohnutých kódování. Objektivy i světla byly osazeny polarizačními filtry, nastavenými pro potlačení odlesků z pozadí. Tyto akce vedly ke zlepšení rozlišení, kontrastu a potlačení nežádoucích odlesků na snímcích.

Druhou hlavní skupinou akcí optimalizace byl návrh programu pro inteligentní kameru a tvorba vizualizačního a konfiguračního rozhraní pro obsluhu. Nejvýraznější inovací v programu kamery byla implementace paměti pro pozice komponentů na snímcích a průměrování těchto pozic. V případě selhání nalezení komponentu z jakéhokoliv důvodu, může program jeho pozici určit na základě několika předchozích inspekcí. V navrženém programu také nebyly uvažovány některé kódovací plochy na komponentech z důvodu nenesení žádné informace. Výsledkem bylo ušetření výpočetního výkonu kamery. Navržené rozhraní pro vizualizaci a konfiguraci kamer obsahuje veškeré potřebné prvky a není tedy zapotřebí pracně hledat jakékoli informace a konfigurační prvky v rozhraní Spreadsheet.

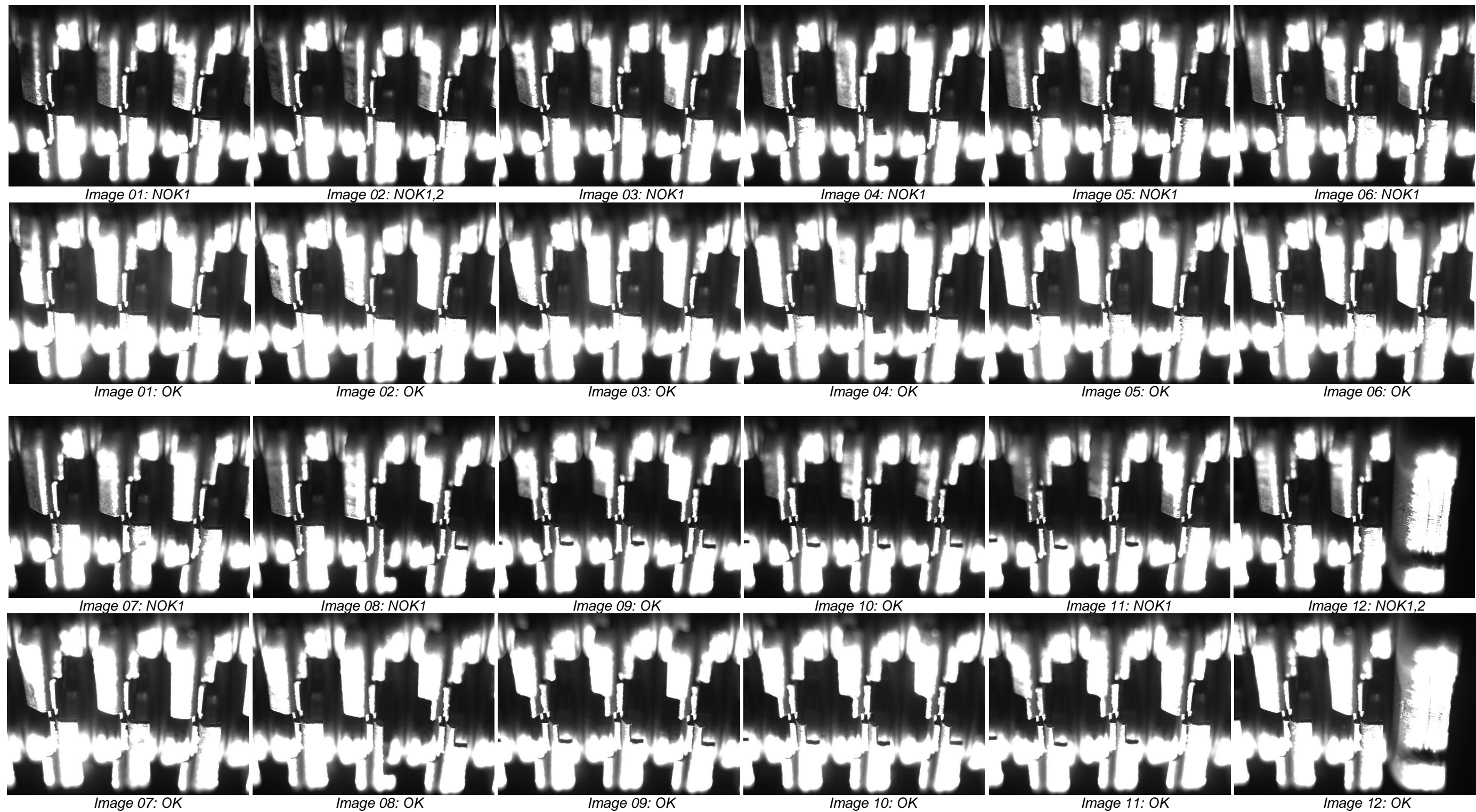
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Interní firemní elektronická dokumentace: Machine to produce evaporator core assembly. 29533-N°7. SMIAS Industrie - ZI Ecoflant - 4900 ANGERS, 2012.*
- [2] *In-Sight Micro Models(1020,1050,1100,1100C,1400,1400C,1403,1403C) Specification Sheets* [online]. 2009 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.cognex.com/support/downloads/ns/1/11/35/Micro_all_ss.pdf
- [3] *PRICE LIST 2009* [online]. 2009 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.pentax.cz/web-content/PDF/PENTAX%20CCTV%202009.pdf>
- [4] *MIDOPT: BANDPASS FILTERS* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://midopt.com/filters/bandpass/>
- [5] *A Practical Guide to Machine Vision Lighting - Part III* [online]. In: . 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/6903/en/>
- [6] *DL2449 Legacy Light: Low Power Coaxial Light* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.advancedillumination.com/uploads/products/DL2449-u.pdf>
- [7] *VisionView Operator Interface Visual Inspection. COGNEX* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cognex.com/products/machine-vision/in-sight-visionview-vision-systems/>
- [8] *In-Sight Micro Vision Systems. COGNEX* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.cognex.com/products/machine-vision/in-sight-micro-vision-systems/specifications/>

Přílohy

Příloha A: Porovnání snímků pořízených před inovací a po inovaci

Porovnání snímků výparníku bez použití dodatečného osvětlení a za použití třetího světla. Číslo za označením NOK snímku znamená, které trubky konkrétně byly zamítnuty (1 – vlevo)



Příloha B: Tabulka zamítnutých snímků v jednotlivých týdnech roku 2016

		Číslo týdne v roce 2016																
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Snímek	1	61	79	23	80	255	178	128	127	105	210	98	81	17	68	19	23	17
	2	43	18	22	53	74	50	51	44	60	47	36	37	15	0	24	15	14
	3	59	13	20	33	83	32	46	32	74	60	22	28	13	2	5	13	4
	4	126	88	50	101	159	190	178	67	160	128	183	192	27	5	25	47	43
	5	344	42	29	48	205	75	61	51	82	89	37	39	20	0	11	11	9
	6	51	25	21	39	86	33	32	40	58	67	44	45	8	0	8	11	10
	7	71	37	36	39	110	41	49	35	87	69	80	65	6	1	12	24	8
	8	60	56	51	52	93	59	61	42	148	78	129	70	11	2	8	25	16
	9	91	143	137	150	103	96	108	73	314	132	223	126	28	8	25	49	30
	10	83	173	92	137	82	91	93	74	182	231	149	112	21	72	23	88	23
	11	104	138	126	122	113	104	106	82	134	104	73	57	17	79	32	89	22
	12	135	208	63	123	126	116	102	99	153	179	90	114	22	65	27	88	25
	13	117	134	74	99	104	76	77	107	165	193	97	45	31	65	28	84	24
	14	23	24	8	25	16	42	49	51	78	22	29	13	9	65	10	5	20
Celkem:		1368	1178	752	1101	1609	1183	1141	924	1800	1609	1290	1024	245	432	257	572	265