

Návrh a realizace automatické vizuální kontroly výrobků

Bc. Tomáš Michálek

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

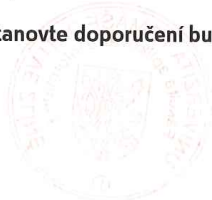
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Michálek**
Osobní číslo: **A17292**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh a realizace automatické vizuální kontroly výrobků**
Téma anglicky: **A Design and Implementation Application for Product Automatic Visual Control**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte teoretická východiska práce, stanovte cíle a metody pro zvládnutí řešené problematiky.
2. Analyzujte současný stav vizuální kontroly ve vybraném konkrétním provozu.
3. Navrhněte automatický způsob kontroly.
4. Vhodně zvolte a popište technické prostředky budoucí realizace.
5. Realizujte a otestujte Váš návrh.
6. Otestujte funkčnost výsledné realizace v reálném provozu.
7. Vypracujte závěr a stanovte doporučení budoucího rozvoje realizovaného řešení.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. AGARWAL, Vidya Vrat a James HUDDLESTON. Databáze v C# 2008: průvodce programátora. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2309-6.
2. WIEGERS, Karl Eugene. Požadavky na software. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-1877-1.
3. IEC Integra PRO PPC – F24AA [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.elvac.eu/Default.aspx?tabid=701&Display=ProductDetailView&TreeType=Product&>
4. Strojové vidění [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/strojove-videni/>
5. MAREŠ, Amadeo. 1001 tipů a triků pro C#. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-2125-2.
6. Osvětlovače pro strojové vidění [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/>
7. Automation Net/PVI. B&R Industrial Automation GmbH [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/en/products/software/automation-netpvi/>

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Bc. Pavel Vařacha, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

3. prosince 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2019

Ve Zlíně dne 7. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
garant oboru

Jméno, příjmení: Tomáš Michálek

Název diplomové práce: Návrh a realizace automatické vizuální kontroly výrobků

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s příjmutím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne 13.5.2019

.....
podpis diplomanta

³¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

³²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní díla:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Témou tejto diplomovej práce je návrh a realizácia automatickej vizuálnej kontroly výrobkov. V prvej časti sú popísané teoretické východiská problematiky automatických optických inšpekčných systémov a ako tieto systémy fungujú. Ďalej je popísaný súčasný stav vizuálnej kontroly výrobkov v priemyselnom podniku, pre ktorý má byť automatický vizuálny kontrolný systém vyrobený a definované portfólio výrobkov spolu s ich vlastnosťami na základe ktorých je optická kontrola vykonávaná. V praktickej časti je navrhnuté technické riešenie automatickej optickej kontroly. Pričom je popísaný hardware, ktorý je súčasťou dodávky externej firmy a jeho prepojenie v rámci zariadenia. Ďalej je popísaný software, ktorý je pre potreby riadenia a vyhodnotenia automatickej vizuálnej kontroly vytvorený. V závere práce je pojednávané o výsledkoch práce, ktoré boli implementáciou tohto riešenia dosiahnuté a návrh možných zlepšení pre budúci rozvoj tohto riešenia.

Kľúčová slova: AOI, kamerová kontrola, strojové videnie, Cognex, Visual Studio

ABSTRACT

The topic of this diploma thesis is design and realization of automatic visual control of products. The first part describes the theoretical basis of the problems of automatic optical inspection systems and how these systems work. Next, the present state of visual inspection of parts in an industrial company is described, for which an automatic visual inspection system is to be produced and a defined product portfolio together with their optical control properties. In the practical part is designed technical solution of automatic optical control. Whilst the hardware that is included with the external company delivery and its connection within the device is described. The following is a description of the software that is created for the management and evaluation of automatic visual inspection. At the end of the thesis, the results of the work, which were achieved by the implementation of this solution and the proposal of possible improvements for the future development of this solution, are discussed.

Keywords: AOI, camera inspection, machine vision, Cognex, Visual Studio

Ďakujem vedúcemu práce Ing. Bc. Pavlovi Vařachovi, PhD. za rady, pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovávaní tejto diplomovej práce. Ďalej ďakujem svojej manželke a rodine za trpezlivosť a podporu počas celého môjho štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 AUTOMATICKÁ OPTICKÁ KONTROLA	13
1.1 AKO SYSTÉMY AUTOMATICKÝCH OPTICKÝCH KONTROL PRACUJÚ	13
1.2 SNÍMANIE OBRAZU	13
1.2.1 Objektív	14
1.2.1.1 Základné charakteristiky objektívov	15
1.2.2 Osvetlenie.....	17
1.2.2.1 Svetelné zdroje – typy a charakteristiky	17
1.2.2.2 Difúzne dosky a polarizačné platne	18
1.2.2.3 Typy osvetľovačov	19
1.2.3 Predspracovanie obrazu (Image preprocessing)	21
1.2.3.1 Typicky používané filtre	22
1.2.3.2 Iné typy predspracovania obrazu	24
1.3 RIADIACI SYSTÉM.....	25
1.3.1.1 Čo je to PLC	25
1.3.1.2 Architektúra PLC	26
1.4 VYHODNOCOVANIE NASNÍMANÉHO OBRAZU	27
2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU VIZUÁLNEJ KONTROLY	28
2.1 VÝROBKY PRIEMYSELNÉHO PODNIKU	28
2.1.1 Manuálna optická kontrola.....	29
2.1.2 Chybovosť	29
2.1.3 Portfólio výrobkov pre kontrolu.....	30
2.2 DEFINÍCIA KONTROLNÝCH POHLEDOV	30
2.2.1 Produkt1	31
2.2.2 Produkt2	33
2.2.3 Produkt3	35
2.3 VPLYV NA KVALITU	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
3 NÁVRH TECHNICKÉHO RIEŠENIA AUTOMATICKEJ OPTICKEJ KONTROLY	39
3.1 NÁVRH HW RIEŠENIA	41
3.1.1 Počítačový HW	41
3.1.2 Riadiaci HW	41
3.1.3 HW pre snímanie obrazu.....	42
3.2 NÁVRH SW RIEŠENIA	46
3.2.1 ProcessControl.Vision.....	47
3.2.1.1 Štruktúra programu	47
3.2.1.2 Externé knižnice	48
3.2.1.3 Nastavenia.....	49
3.2.1.4 Komunikačné rozhrania	50
3.2.1.5 Sekvenčný beh programu.....	52

3.2.1.6	Priebeh signálov počas kontroly výrobku s PLC riadením zariadenia	54
3.2.1.7	Priebeh signálov počas kontroly výrobku s PLC riadením vizuálnej kontroly	55
3.2.1.8	Databáza	56
3.2.1.9	Kontroly vykonávané ProcessControl.Vision	57
3.2.1.10	Logovanie programu	58
4	SKUTOČNÉ RIEŠENIE	59
4.1	HW KOMPONENTY KAMEROVEJ KONTROLY	59
4.2	PROGRAMOVANIE A VIZUALIZÁCIA KAMEROVÝCH KONTROL	61
4.3	PROCESSCONTROL.VISION	62
4.3.1	User Login	62
4.3.2	Resize	63
4.3.3	Process Status	63
4.3.4	Sequence Status	64
4.3.5	Logger Messages	65
4.3.6	OPC Process Image	67
4.4	ZOBRAZOVANIE VÝSLEDKOV KONTROL	68
4.5	ARCHIVÁCIA DÁT	68
4.6	TEST FUNKČNOSTI VÝSLEDNEJ REALIZÁCIE	69
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK	76
	SEZNAM PŘÍLOH	77

ÚVOD

Súčasným trendom v moderných priemyselných podnikoch je zavádzanie automatických optických inšpekčných zariadení, ktoré pomocou kamerových systémov a vhodných softvérových komponentov dokážu plnohodnotne zastúpiť ľudské oko pri kontrole fyzických parametrov výrobkov. Medzi hlavné výhody takéhoto riešenia nesporne patrí: rýchlosť, stabilita a presnosť. V neposlednej rade sa podniky uchyľujú k použitiu automatických optických inšpekčných systémov i kvôli znižovaniu nákladov na kvalitu.

V prvej kapitole tejto diplomovej práce popíšem teoretické východiská práce, stanovím ciele a metódy pre zvládnutie riešenej problematiky.

V druhej kapitole vykonám analýzu súčasného stavu optickej kontroly výrobkov v konkrétnom priemyselnom podniku, ktorý budem pre jednoduchosť v ďalších častiach tejto diplomovej práce nazývať priemyselný podnik, kde sa pokúsim poukázať na jej nedostatky a popísať možné zlepšenia pre zvýšenie kvality výstupnej optickej kontroly výrobkov. Zadefinujem tu i portfólio výrobkov a ich vlastnosti, ktoré majú byť automatickým optickým systémom kontrolované.

V tretej kapitole tejto práce navrhmem automatický spôsob optickej kontroly výrobkov. Pokúsim sa navrhnuť optimálny a ekonomicky rentabilný systém pre kontrolu fyzických vlastností výrobkov a nájsť vhodné technické prostriedky pre budúcu realizáciu. Výrobky vyrábané priemyselným podnikom obsahujú viacero vkladacích prvkov, ktoré sú do výrobkov vkladané a ohýbané, pričom môže dôjsť k poškodeniu týchto prvkov, resp. poškodeniu samotného výrobku. Výrobky sú na konci výrobného procesu popísané popisovacím laserom, správnosť tohto popisu je taktiež nutné skontrolovať. Aby bolo možné danú automatickú optickú kontrolu vykonávať, je potrebný pohľad z troch rôznych strán. Tento dosiahneme použitím troch kamier. Tieto kamery budú ovládané pomocou PLC. Toto technické riešenie bude predmetom dodávky tretej strany. Hlavným predmetom tejto práce bude správna definícia HW riešenia v spolupráci s externými dodávateľmi, definícia rozhraní medzi jednotlivými systémami a návrh a realizácia SW pre zber a spracovanie dát získaných pomocou kamerových kontrolných zariadení.

V štvrtej kapitole popisujem realizáciu môjho navrhovaného riešenia, V prvej časti opisujem HW riešenie, ktoré som navrhol a bolo vytvorené externou dodávateľskou firmou. Ďalej popisujem SW riešenie, ktoré som vytvoril pre komunikáciu s HW zariadenia, v ktorom je systém automatickej optickej kontroly implementovaný, riadenie HW samotného

systemu automatickej optickej kontroly, vyhodnocovanie a ukladanie výsledkov jednotlivých kontrol.

V závere tejto práce hodnotím funkčnosť zrealizovaného technického riešenia automatickej optickej inšpekcie a navrhmem odporúčania budúceho rozvoja daného riešenia.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 AUTOMATICKÁ OPTICKÁ KONTROLA

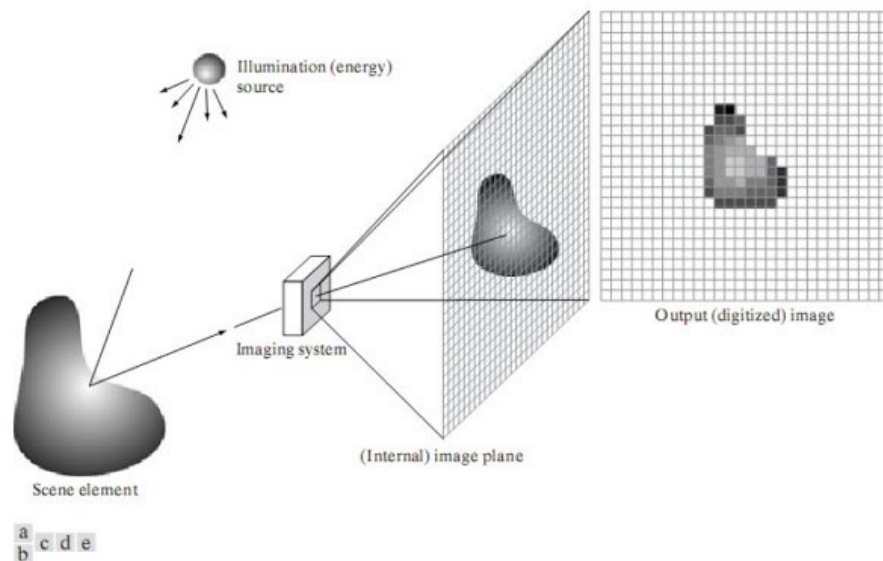
V jednoduchosti je možné povedať, že sa jedná o spracovanie obrazových informácií s využitím počítačovej techniky. Objektom strojového videnia môže byť prakticky čokoľvek – ľudská tvár, biologické vzorky, röntgenové snímky, hustota dopravnej premávky, ľudská činnosť (predovšetkým proces výroby) a ďalšie. Charakteristickou vlastnosťou systémov strojového videnia je napojenie kamerového systému do výrobného procesu s orientáciou na typické úlohy, ktorými sú napríklad kontrola vstupnej/výstupnej kvality, kontrola tvarov, počítanie objektov, kontrola farebných výrobkov, čítanie čiarových kódov, hľadanie väd, atď. [1]

1.1 Ako systémy automatických optických kontrol pracujú

Kamera zachytí obraz snímaného predmetu, systém analýzy obrazu ho vyhodnotí podľa presne definovaného algoritmu a vykoná požadovanú akciu na základe výsledku vyhodnotenia. V dnešnej dobe je jediným efektívnym a prakticky možným spôsobom vyhodnotenia obrazovej informácie počítač. Pre strojové videnie je typické, že sa výmena získaných informácií s okolím prevádza na základe spätnej väzby s výrobným procesom. Na jednej strane sa získajú vstupné informácie a na druhej strane sa na základe výsledkov analýzy obrazu vykonávajú rôzne úkony, ktorými môže byť napríklad vyradenie nevhodného či nesprávne vyrobeného výrobku, presnosť pri plnení fliaš, kontrola prítomnosti etikiet a ďalšie. Informácie o splnení požadovaného úkonu ide pomocou digitálnych vstupov priamo do zariadenia, alebo je informácia odovzdaná riadiacemu systému, ktorý už sám vykoná potrebný zásah. [1]

1.2 Snímanie obrazu

Priemyselné kamery pri snímaní obrazu používajú metódu, kde svetlo prechádza cez objektív a dopadá na obrazový senzor, ktorý obsahuje určitý počet obrazových bodov (pixelov). Na každý pixel dopadá určité množstvo svetla, ktoré je pomocou fotoelektrického javu zaznamenávané (Obr. 1). V súčasnej dobe sú najčastejšie využívané obrazové senzory typu CCD a CMOS. [2]



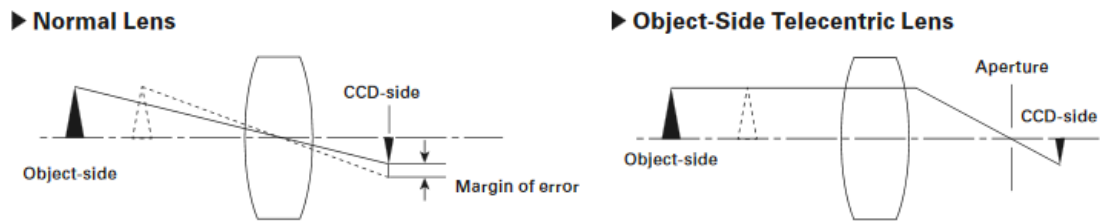
Obr. 1 Princíp snímania obrazu [2]

1.2.1 Objektív

Pri spracovaní obrazu sa svetlo, ktoré dopadá na prvok prijímajúci obraz (napr. CCD čip), transformuje na elektronické signály a použije sa ako dáta. Pre tento proces je dôležité mať šošovku, ktorá zbiera svetlo do prijímacieho prvku obrazu. Na základe princípu lomu objektív zbiera svetlo z cieľa do jedného bodu a vytvára obraz. Počas tohto procesu sa jediný bod, na ktorý sa zameriava svetlo, nazýva zaostrenie a vzdialenosť od stredu objektívu k ohniskovému bodu sa nazýva ohnisková vzdialenosť. Pri použití konvexnej šošovky sa ohnisková vzdialenosť bude líšiť v závislosti od stupňa vydutia šošovky. Čím väčší je stupeň vydutia, tým kratšia je ohnisková vzdialenosť [3].

V priemyselnej praxi sa najčastejšie používajú entocentrické (normálne) a telecentrické objektívy.

S telecentrickými objektívmi sa veľkosť a tvar objektu nemení pri posune objektu za predpokladu, že objekt zostane v určitom rozsahu často označovanom ako hĺbka ostrosti, alebo telecentrický rozsah. Tzn., že pri snímaní obrazu pomocou takéhoto objektívu neprichádza k skresleniu. Je to spôsobené tým, že barycentrický lúč (alebo "hlavný lúč") je paralelný s opto-mechanickou hlavnou osou. Z tohto dôvodu musí byť priemer predného objektívu aspoň taký veľký ako diagonálna poloha objektu [4].



Obr. 2 Porovnanie snímania objektov normálnym a telecentrickým objektívom [3]

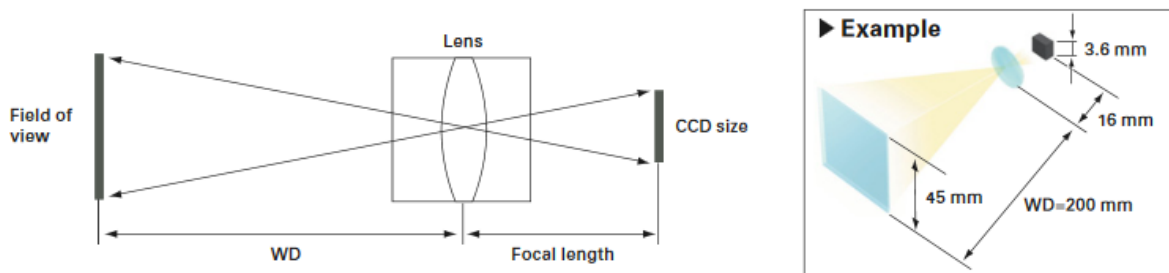
1.2.1.1 Základné charakteristiky objektívov

Pracovná vzdialenosť (WD - Working Distance)

Pracovná vzdialenosť hovorí o vzdialenosti snímaného objektu od šošovky objektívu.

Ohnisková vzdialenosť (Focal Length)

Ohnisková vzdialenosť je vyjadrená ako vzdialenosť medzi stredom objektívu a rovinou na ktorej dokáže objektív zaostriť snímaný objekt, tj. tam, kde sa pretínajú všetky lúče svetla, ktoré objektívom prechádzajú.



Obr. 3 Grafické znázornenie charakteristík objektívu [3]

Veľkosť pracovnej vzdialenosti a zorného poľa sú určené ohniskovou vzdialenosťou šošovky a veľkosťou CCD snímača. Tento vzťah môže byť vyjadrený nasledovne:

pracovná vzdialenosť: zorné pole = ohnisková vzdialenosť: veľkosť CCD snímača [3]

Zorné pole (Field of view)

Zorné pole vyjadruje priestor v ktorom dokáže objektív snímať snímaný objekt. Vo všeobecnosti platí, že čím dlhšia je pracovná vzdialenosť medzi snímaným objektom a šošovkou objektívu, tým širší je pohľad (uhol pohľadu) [3].

Hĺbka ostrosti (Depth of field)

Hĺbka ostrosti určuje rozsah v ktorom je snímaný objekt ostrý. Pokiaľ je tento rozsah široký, nazýva sa veľká hĺbka ostrosti, naopak, pokiaľ je rozsah úzky, nazýva sa malá hĺbka ostrosti. [5]

Zväčšenie objektívu (Lens magnification)

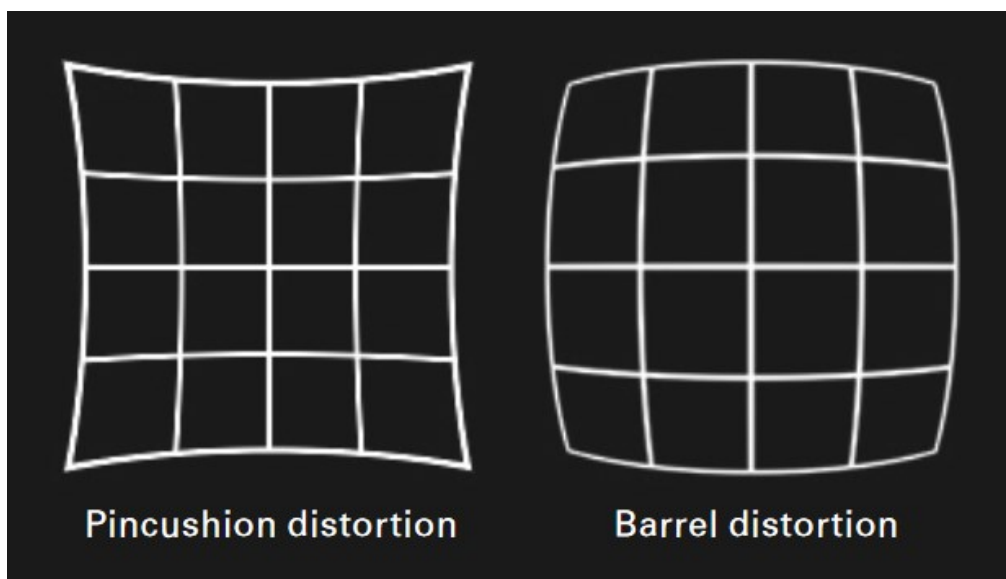
Zväčšenie objektívu je pomer medzi skutočnou veľkosťou snímaného objektu a veľkosťou, ktorú možno pozorovať pomocou optického zariadenia. [5]

Úchyt (Mount)

Úchyt je mechanizmus, pomocou ktorého je prichytený objektív k zariadeniu na snímanie obrazu, pri ktorom je možná výmena objektívu. V priemyselnom použití sa často používajú úchyty typu C-mount a CS-mount. [5]

Skreslenie (Distortion)

Skreslenie vyjadruje deformáciu obrazu snímaného objektívom. V skutočnosti neexistuje dokonale tvarovaná šošovka. V ideálnom prípade by svetlo, ktoré prešlo objektívom malo postupovať do snímacieho zariadenia nezmenené. V skutočnosti sa svetlo prechádzajúce objektívom deformuje pozdĺž vonkajšej, alebo vnútornej oblasti. Prvé sa nazýva barel skreslenie, druhé pincushion skreslenie (Obr. 4). [5]



Obr. 4 Typy skreslenia [5]

1.2.2 Osvetlenie

Pre osvetlenie snímaných objektov je dôležité, aby všetky snímky mali rovnaké svetelné podmienky a rovnaký osvit. Iba tak je možné zaručiť opakovateľnosť pri riešení aplikácie strojového videnia. Pokiaľ je jediným zdrojom svetla správne zvolený osvetľovač, potom je táto podmienka úplne istotne dodržaná. V praxi a prevažne v priemyselných prevádzkach však na snímanú scénu pôsobia i okolité vplyvy – denné svetlo, umelé svetlo, a to všetko v závislosti na ročnom období. Napr. v zime sa stmieva skôr, slnko je nízko nad obzorom a svetlo dopadá pod iným uhlom než napríklad v lete v rovnakú dobu. Existujú dva spôsoby, ako tomuto javu predísť. Buď mechanicky odtienime rušivé vplyvy (pokiaľ je to z konštrukčného hľadiska možné) alebo použijeme osvetlenie s oveľa väčším svetelným tokom a pokiaľ to je možné, zapneme svetlo iba po dobu expozície. Pri vysokom osvetlení je potreba viac zacloniť objektív a to môže byť niekedy nežiaduce. [6]

1.2.2.1 Svetelné zdroje – typy a charakteristiky

LED (Light emitted diode)

Pri LED osvetlení sa používa polovodičová dióda, ktorá emituje svetlo. Zatiaľ, čo fluorescenčné svetlá využívajú fenomény vybíjania na nepriamu premenu elektrickej energie na svetlo, LED priamo premieňajú elektróny na svetlo. Sú vysoko účinné pri premene energie a sú energeticky úspornými svetelnými zdrojmi. Okrem toho LED majú dlhú životnosť, vydávajú rôzne vlnové dĺžky (farby) a mnoho iných výhod. Sú často používané ako osvetľovacie zdroje pri snímaní obrazu. [7]

Fluorescenčné svetlá

Fluorescenčné svetlá vyžarujú viditeľné svetlo, keď ultrafialové žiarenie generované fenoménom oblúkového výboja narazí na fluorescenčnú látku obsiahnutú v telese svetla. Fluorescenčné svetlá boli používané v minulosti, pretože vydržia dlhšie ako klasické žiarovky. Dodávajú sa v rôznych tvaroch ako banky, rovné, alebo kruhové trubice. [7]

Xenónové výbojky

Xenónové výbojky sú plynové výbojky, ktoré vyžarujú svetlo podobné prirodzenému svetlu. Xenónový plyn je uzavretý vo vnútri trubíc z oxidu kremičitého. V porovnaní s klasickými žiarovkami sú xenónové žiarivky jasnejšie, spotrebúvajú menej energie a vydržia dlhšie. [7]

	Jas	Životnosť	Farby	Spotreba
LED	menej jasný	dlhá	mnohé	nízka
Flourescencčné	jasný	kratšia	menej	mierna
Xenón	jasný	dlhá	menej	mierna

Tab. 1 Relatívne porovnanie parametrov svetelných zdrojov [7]

1.2.2.2 Difúzne dosky a polarizačné platne

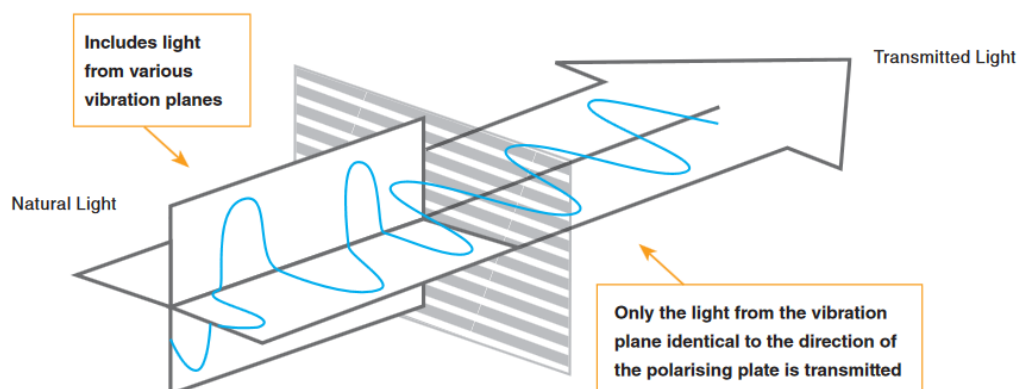
Difúzne dosky a polarizačné dosky sa používajú na to, aby sa osvetlenie prispôbilo snímanému objektu. [7]

Difúzne dosky

Difúzne dosky sú fólie, ktoré difundujú svetlo rovnomerne po celom povrchu. V minulosti plnilo túto úlohu leštené sklo. V súčasnosti sú difúzne dosky používané ako súčasť podsvietenia LCD panelov. [7]

Polarizačné platne

Prírodné svetlo zahŕňa mnoho vibračných rovín, ktoré sú orientované v rôznych smeroch. To je miesto, kde sa polarizačné dosky používajú na výrobu svetla len z danej roviny. Polarizačné platne majú extrémne tenké štrbiny, ktoré sú do nich vyrezané a svetlo svieti cez jednu polarizačnú platňu a vytvára len lúč na tej istej vibračnej rovine ako štrbina. Keď sa dve polarizačné dosky používajú spoločne, niekedy svetlo nesvieti (Obr. 5). [7]

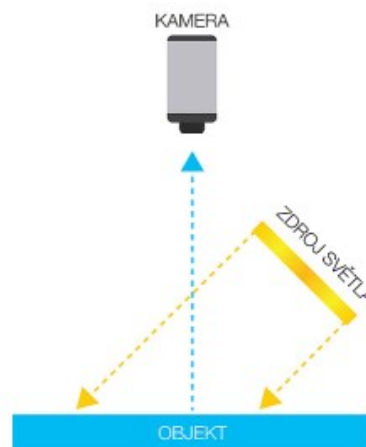


Obr. 5 Princíp úpravy svetla pomocou polarizačnej dosky [7]

1.2.2.3 Typy osvetľovačov

Plošné osvetľovače

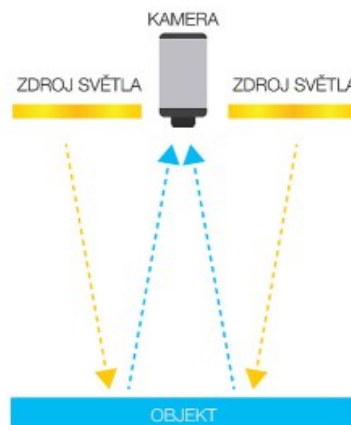
Jedná sa o najjednoduchší a najlacnejší spôsob osvetlenia scény. Používajú sa často ako zdroj intenzívneho smerového svetla. Osvetlenie je spojité, alebo impulzné. Ich intenzitu je možné nastavovať. [8] V prevedení s difúznou doskou sa používajú i ako backlight, ktoré sa používajú ako spodná iluminácia pre zvýraznenie tvarov.



Obr. 6 Príklad plošného osvetľovača [8]

Kruhové osvetľovače

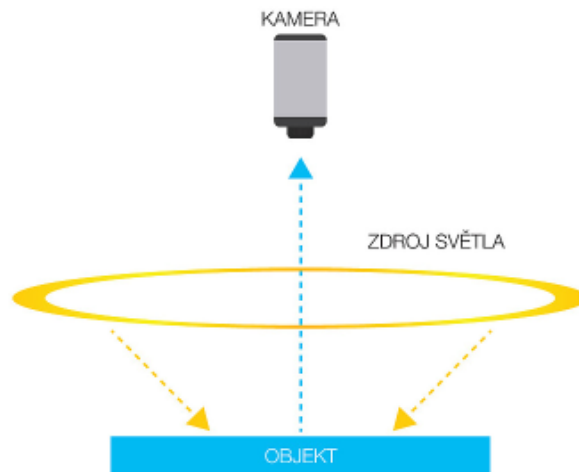
Kruhové osvetľovače slúžia pre priame nasvetlenie snímaného objektu v osi objektívu. Sú vhodným riešením pre nenáročné aplikácie. Uchytávajú sa tak, aby objektív snímacieho zariadenia bol uprostred osvetľovača. Osvetlenie môže byť spojité, alebo impulzné. Intenzitu osvetlenia je možné nastavovať. [9]



Obr. 7 Príklad kruhového osvetľovača [9]

Osvetľovače na vytvorenie tmavého poľa

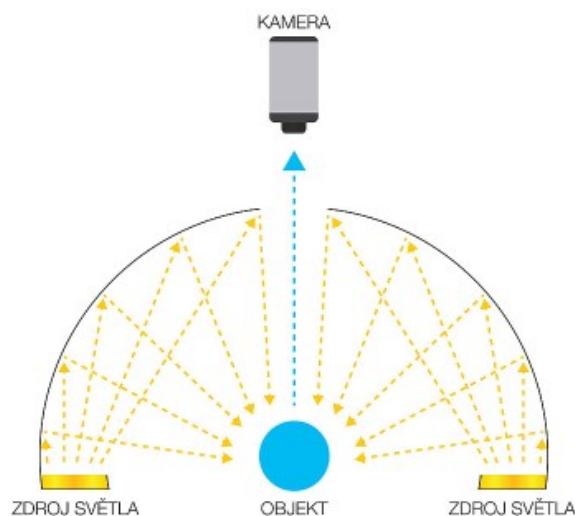
Pri osvetľovačoch na vytvorenie tmavého poľa smerujú odrazené lúče mimo zorné pole snímacieho zariadenia. Používajú sa na zvýraznenie napr. nápisov, kódov, značiek, alebo pre osvetlenie objektu zo všetkých strán. Zvyšujú kontrast tenkých objektov. Osvetlenie môže byť spojité, alebo impulzné. Intenzitu osvetlenia je možné regulovať. [10]



Obr. 8 Príklad osvetľovača na vytvorenie tmavého poľa [10]

Beztieňové osvetľovače

Pri beztieňových osvetľovačoch vzniká rozptýlené svetlo v kopuli. Objekt umiestnený do vnútra kupoly je nasvietený rozptýleným svetlom. Osvetlenie je zároveň bez tieňa. Osvetlenie je spojité, alebo impulzné. Intenzitu osvetlenia je možné regulovať. [11]

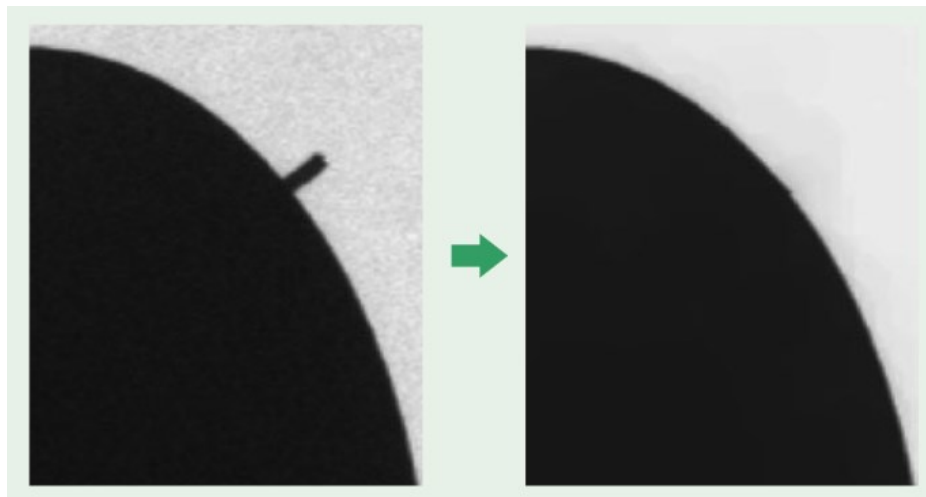


Obr. 9 Príklad beztieňového osvetľovača [11]

1.2.3 Predspracovanie obrazu (Image preprocessing)

Aby bola možná stabilná kontrola pomocou technológie spracovania obrazu, je nevyhnutné minimalizovať šum v snímaných obrazoch. Na toto slúžia filtre predspracovania, ktoré znižujú šum, ktorý sa nedá odstrániť iba zlepšením optických podmienok. [12]

Na vykonanie kontroly kvality alebo merania pomocou spracovania obrazu je nevyhnutné najprv získať snímky s dostatočnou kvalitou pre ich príslušné účely. Snímky jednoducho zachytené kamerou nie sú vždy vhodné pre tieto účely vzhľadom na typ svetelného zdroja, materiál obrobku alebo prostredie na snímanie obrazu, čo môže mať za následok nekonzistentnosť výsledkov kontroly. Pre odstránenie tohto problému sú snímky niekedy upravované pomocou obrazových filtrov v súlade so zamýšľaným použitím obrázkov. Tento proces spracovania sa nazýva predspracovanie obrazu. Predspracovanie obrazu môže zvýšiť kvalitu nasnímaných obrázkov, urobiť prvky potrebné pre aplikácie (tvary, farby atď.) ľahšie odlišiteľné alebo odstrániť nežiaduce komponenty (šum). Pri predspracovaní pomocou filtrov, sa používa softvér na spracovanie obrazu. Existuje mnoho rôznych typov filtrov a je dôležité pochopiť ich vlastnosti, aby bol zvolený optimálny filter pre príslušnú aplikáciu. [12]



Obr. 10 Príklad predspracovania obrazu – redukcia šumu pre jasnejší obraz [12]

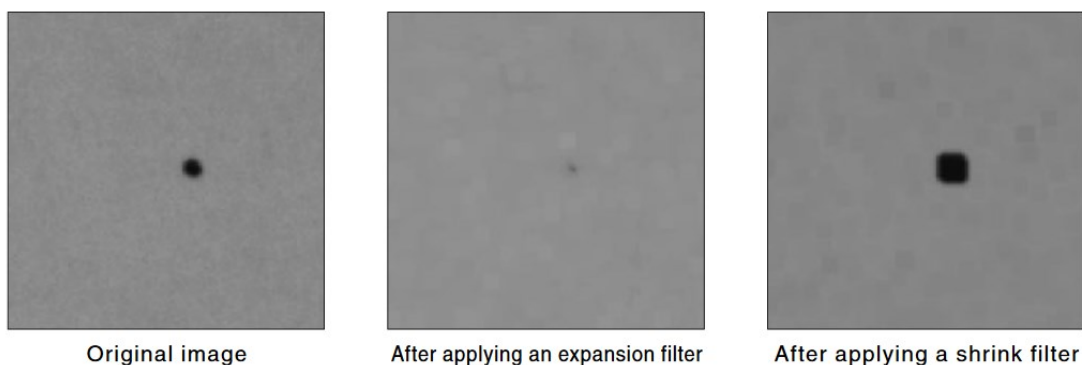
1.2.3.1 *Typicky používané filtre*

Expanzný filter

Tento filter eliminuje šumové zložky (nečistoty), ktoré sú nežiaduce pre spracovanie obrazu. Nahradí hodnotu pixlu stredového pixlu v oblasti 3×3 hodnotou najvyššej hodnoty medzi deviatimi pixel mi. Keď je expanzný filter aplikovaný na monochromatický obraz, bude všetkých deväť pixlov bielych, ak bude niektorý z pixlov obklopujúcich tento bod. stredný pixel v oblasti 3×3 je biely. [12]

Shrink filter

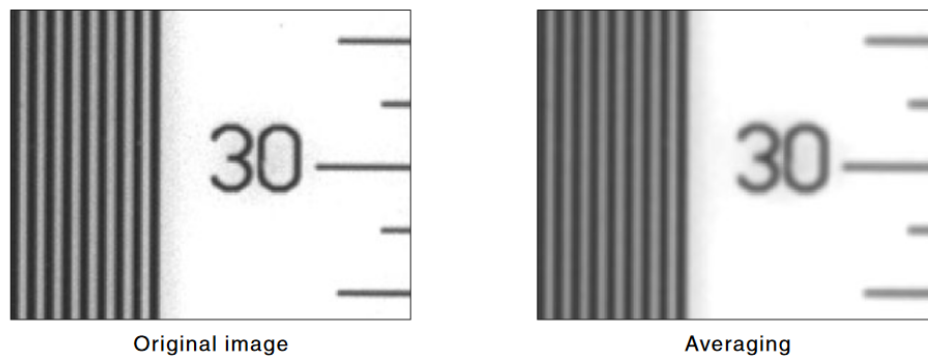
Shrink filter je tiež účinný na elimináciu šumových komponentov. Na rozdiel od expanzného filtra nahradí shrink filter hodnotu pixelu stredového pixlu v oblasti 3×3 hodnotou najnižšej hodnoty medzi deviatimi pixel mi. Keď sa shrink filter použije na monochromatický obraz, bude všetkých deväť pixlov čiernych, ak ktorýkoľvek z pixlov obklopujúcich stredový pixel v oblasti 3×3 je čierny. [12]



Obr. 11 Príklad predspracovania obrazu [12]

Averaging filter

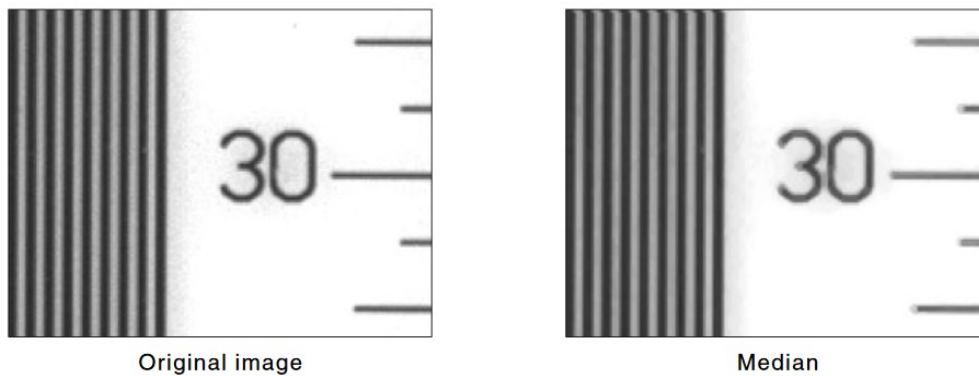
Filter zlepšuje kvalitu obrazu vyhladením (zmäkčením) tieňovania. Je to priemer hodnôt pixlov všetkých deviatich pixlov vrátane stredu v strede. Vplyv šumových komponentov je možné znížiť aj zmäkčením obrazu. Filter tiež pomáha merať polohy, ako je napríklad detekcia okrajov obrobkov alebo stabilné vyhľadávanie vzoru. Na zaistenie prirodzenejšieho vyhladenia je možné použiť weighted average filter. [12]



Obr. 12 Příklad Averaging filtra [12]

Median filter

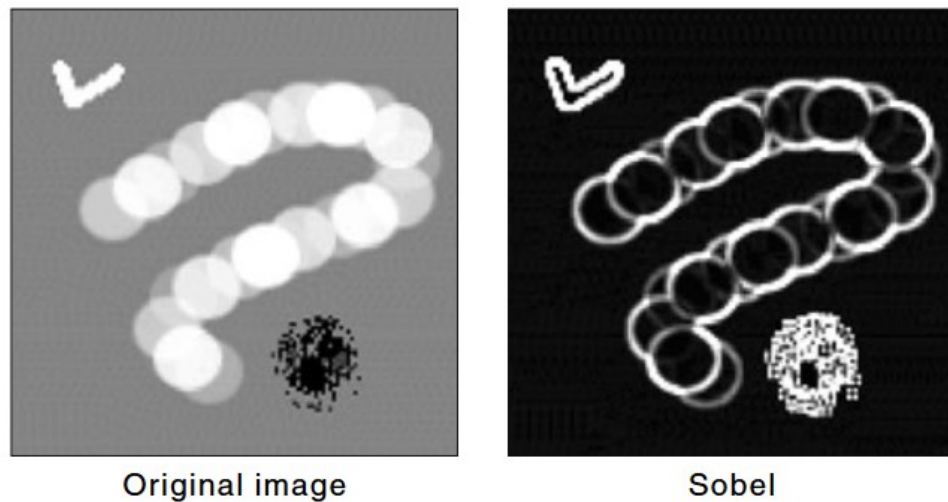
Filter triedi hodnoty pixlov o deviatich pixloch a potom priradí ich strednú hodnotu stredovému pixlu ako jeho hodnotu pixlov. Na rozdiel od averaging filtra môže znížiť šumové komponenty bez rozmazania obrazu. Filter je účinný najmä pri odstraňovaní šumu, ktorý je spôsobený pixelmi veľmi rozdielnej farby a intenzity od tých, ktoré sa nachádzajú v ich oblasti. [12]



Obr. 13 Příklad Median filtra [12]

Sobel filter

Je to typ filtra, ktorý je účinný pre extrakciu hrán. Zdôrazňuje hrany na záberoch s malým kontrastom. Okrem toho spracované obrázky vyzerajú prirodzenejšie. Okrem filtra Sobel sa na extrakciu hrán používa viac filtrov, vrátane filtrov Prewitt, Roberts a Laplacian. [12]

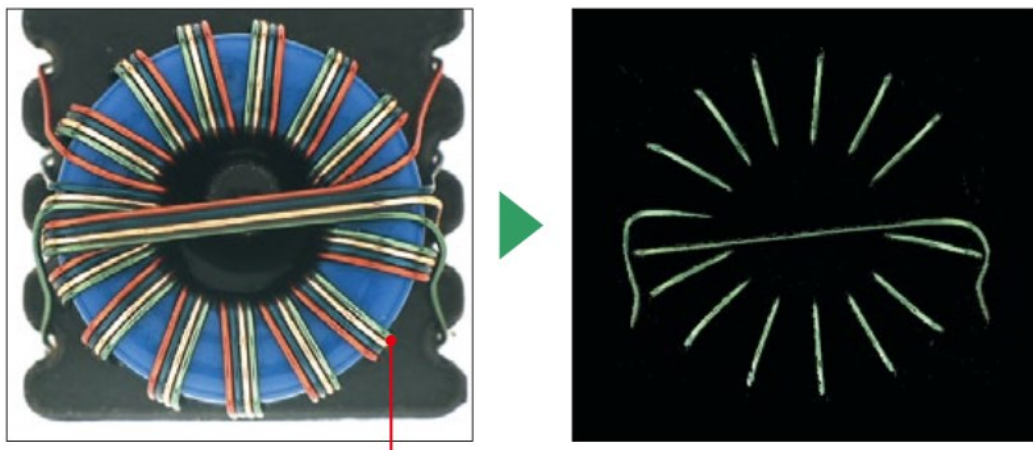


Obr. 14 Příklad Sobel filtra [12]

1.2.3.2 *Iné typy predspracovania obrazu*

Colour extraction

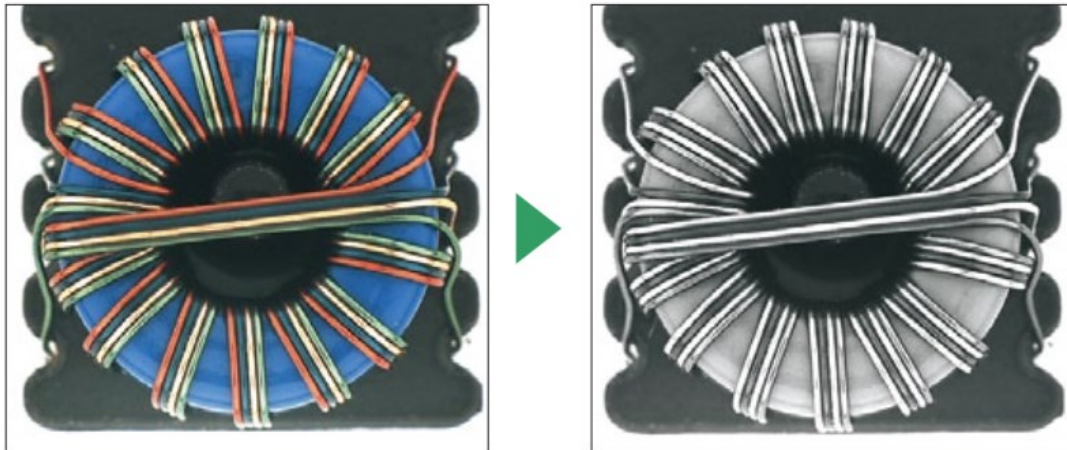
Je to spracovanie na extrahovanie špecifikovaných farebných prvkov zo zachyteného farebného obrazu. Farebné video signály sa konvertujú na digitálne údaje R (červená), G (zelená) a B (modrá). Extrakcia farieb sa vykonáva pomocou týchto údajov. Toto binárne spracovanie - premieňa každý pixel na extrahovaný pixel alebo neextrahovaný pixel. Z tohto dôvodu tento proces zaisťuje nielen stabilnú extrakciu aj pri tmavých farbách, ale tiež znižuje množstvo spracovávaných údajov o farebných informáciách, ktoré umožňujú následné spracovanie vysokorýchlostných dát. [12]



Obr. 15 Extrakcia elementov iba jednej farby [12]

Gray-scale processing

Spracovanie v stupňoch šedej sa používa na získanie informácií o odtieni pre Obr. nasnímaný kamerou. Toto spracovanie rozdeľuje gradáciu odtieňov pixelov na 8 bitov (= 256 úrovní) a využíva všetky tieto 256-úrovňové údaje. Toto spracovanie výrazne zvyšuje presnosť detekcie obrobkov. Je veľmi užitočné v aplikáciách, ako je napríklad detekcia obrobkov, ktoré sa ťažko detegujú monochromatickým binárnym spracovaním. [12]



Obr. 16 Príklad Gray-scale processing [12]

1.3 Riadiaci systém

Súčasnú smart priemyselnú kameru disponujú vstupno-výstupnými zariadeniami, ktoré umožňujú priamo z kamery ovládať výstupy, napr. osvetlenie a prijímať vstupy napr. externé trigrovanie. Pri zložitejších aplikáciách, pri ktorých je potrebné komplikovanejšie nastavovanie výstupných zariadení, prípadne priamy zápis výstupných dát z kamery do SQL databázy je vhodné použiť pre riadenie PLC.

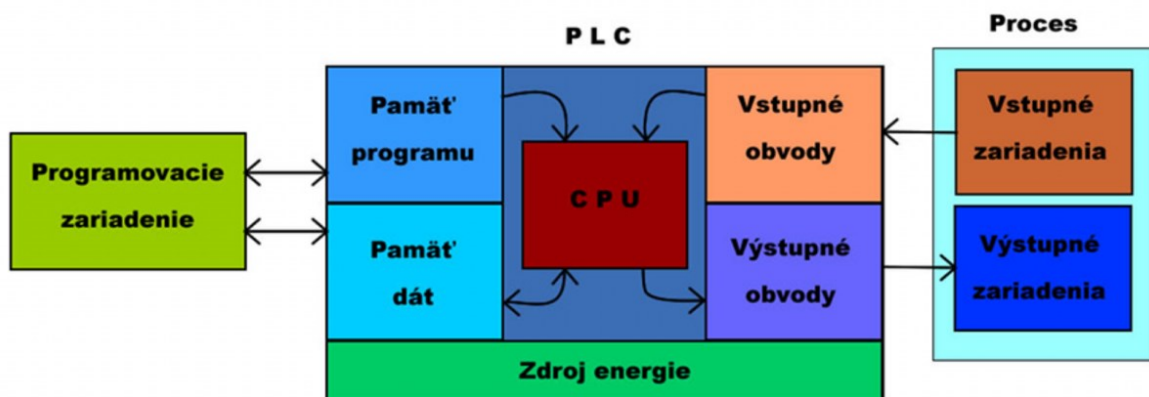
1.3.1.1 Čo je to PLC

Programovateľný logický automat – anglicky Programmable logic controller (PLC) je prístroj, ktorý slúži na riešenie komplexných úloh riadenia v automatizácii. Ide o užívateľsky programovateľný číslicový počítač, ktorý má oproti bežným počítačom niektoré špecifické vlastnosti, ktoré ho posúvajú do cieľovej oblasti jeho nasadenia. [13]

1.3.1.2 Architektúra PLC

Základom PLC je centrálna procesorová jednotka – CPU, v ktorej beží firmvér PLC a samotný užívateľský program. Firmvér – operačný systém PLC zabezpečuje fungovanie celého PLC, vykonávanie užívateľského programu, komunikáciu s jednotlivými modulmi a s prípadnými nadradenými systémami. Užívateľský program a údaje sú uložené v operačnej pamäti, často krát s možnosťou zálohovania buď s pomocou akumulátorovej batérie alebo s využitím pamäti typu Flash pre zálohovanie údajov i pri úplnom výpadku napájania. PLC by však nebolo PLC bez rozhrania pre prístup k údajom z „reálneho sveta“. Preto je možné k jednotke CPU prostredníctvom systémovej zbernice pripájať rôzne vstupno-výstupné moduly, ktoré umožnia zber informácií z riadeného systému a naopak realizáciu akčného zásahu. [13]

Súčasťou PLC môžu byť i rôzne komunikačné moduly, ktoré zabezpečia komunikáciu s inými systémami, hlavne so systémami pre vizualizáciu a ovládanie technologických procesov. Toto všetko samozrejme potrebuje i napájanie, preto býva v neposlednom rade súčasťou PLC i napájací zdroj. V prípade modulárnej konštrukcie sú jednotlivé moduly umiestnené v ráme PLC – racku, ktorý môže byť realizovaný buď proprietárnou formou, alebo napr. vo forme štandardnej DIN lišty, ktorá umožní jednoduché umiestnenie celého systému do rozvádzača. Samozrejme existujú i prevedenia do náročnejšieho prostredia s vyšším krytím. [13]



Obr. 17 bloková schéma vnútornej štruktúry PLC [13]

1.4 Vyhodnocovanie nasnímaného obrazu

Aby sme mohli hovoriť o automatickej optickej inšpekcii je potrebné správne nasnímaný obraz, po fáze predspracovania obrazu, vyhodnotiť. Väčšina dnešných kamerových systémov má k dispozícii grafické rozhranie pre nastavenie vyhodnocovacích parametrov. V tomto rozhraní je možné definovať priestor, v rámci ktorého sa vyhľadáva kontrolovaný objekt, definovať tvary, resp. farby, ktoré chceme vyhodnocovať a určiť limitné hodnoty pre vyhodnotenie.

V súčasnej dobe sú najčastejšie používané sekvenčné vyhodnocovacie algoritmy, ktoré v sekvencii vykonávajú vopred definované kroky na základe ktorých je daná kontrola vyhodnotená za vyhovujúcu, resp. nevyhovujúcu. Takýto štýl vyhodnotenia je relatívne rýchly, jednoduchý na nastavenie, ale potrebuje výrobky s vysokou mierou rovnakosti, tzn. kontrolované výrobky umiestnené v rovnakej pozícii, rovnako orientované, rovnako nasvietené...

Modernejšou vyhodnocovacou metódou je použitie neurónových sietí. Pri takomto štýle vyhodnocovania je použitá neurónová sieť naučená na rozpoznávanie požadovaného tvaru, farby, resp. iného vyhodnocovacieho kritéria. Neurónová sieť je naučená na základe množiny trénovacích výrobkov rozpoznávať vyhovujúce a nevyhovujúce výrobky. Táto metóda nie je silno závislá na rovnakosti nasnímania obrazu, resp. nevadia jej deviácie na kontrolovanom výrobku.

2 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU VIZUÁLNEJ KONTROLY

V tejto kapitole vykonám analýzu súčasného stavu vizuálnej kontroly výrobkov a pokúsim sa zistiť jej hlavné nedostatky. Ďalej zistím, aké najčastejšie chyby sa na výrobkoch objavujú a navrhnem automatický optický systém pre kontrolu výrobkov a detekciu chýb.

2.1 Výrobky priemyselného podniku

Priemyselný podnik sa zaoberá vývojom a výrobou výkonových polovodičových výrobkov. Priemyselný podnik vo svojej slovenskej dcérskej spoločnosti vyrobí ročne viac ako 9 000 000 ks výkonových výrobkov. Každý výrobok má z vonkajšej strany viditeľné tieto časti: základovú medenú dosku, plastové puzdro, medené poniklované prívody a upevňovacie matice, pomocné prívody, kontaktovacie pružinky a nerezové nity. Plastové puzdro obsahuje na svojej dlhšej strane laserové popisy s údajmi o výrobnéj dávke a samotnom výrobku. Každý z týchto dielov, či popisov môže byť počas procesu výroby, transportu a testovania výrobku poškodený a preto je potrebné tieto diely pred expedíciou k zákazníkovi opticky skontrolovať.



Obr. 18 Príklad výrobkov priemyselného podniku

2.1.1 Manuálna optická kontrola

Optická kontrola vyrobených výrobkov momentálne prebieha manuálne, to znamená, že výrobky, ktoré prešli celým výrobným procesom sú v plastových prepravných boxoch privezené na jedno miesto, kde sú pracovníkom na tento účel školeným, skontrolované a následne vložené vo obalu, v ktorom odchádzajú k zákazníkovi. Hlavnou nevýhodou tohto riešenia je ľudský faktor. Miera úspešnosti detekcie chyby na výrobku je závislá od človeka (jeho skúsenosti, momentálneho psychického i fyzického rozpoloženia atď.). Druhou veľkou nevýhodou toho spôsobu kontroly je nemožnosť detekcie chyby v laserovom popise. Laserový popis výrobku obsahuje o.i. schému zapojenia s veľmi malým popisom a DMx kód s informáciami o výrobnej dávke. Pracovník nie je schopný rozpoznať drobné chyby v schéme zapojenia, resp. nesprávny obsah DMx kódu. Ďalšou nevýhodou takejto kontroly je nadbytočná manipulácia s výrobkami. Posledným krokom výrobného procesu pred výstupnou optickou kontrolou je proces merania elektrických parametrov výrobkov, po tomto procese by bolo vhodné znížiť manipuláciu s výrobkami na čo najnižšiu možnú mieru. Preto by bolo vhodné implementovať automatickú optickú kontrolu priamo do spomínaného posledného meracieho kroku t.j. automatického meracieho zariadenia.

2.1.2 Chybovosť

Vyššie popísaný postup nie je 100% optická kontrola v pravom slova zmysle. Občas sa stane, že zákazník obdrží výrobok, ktorý nie je v súlade so špecifikáciou a výsledkom takéhoto výrobku je zákaznícka reklamácia. Väčšina príčin zákazníckych reklamácií je spôsobená počas výrobného procesu a k zákazníkovi sa takýto výrobok dostane pre zlyhanie výstupnej kontroly, teda ľudského faktoru. Preto sa rozhodol priemyselný podnik pre zavedenie tzv. Zero defect strategy, súčasťou ktorej sú automatické optické inšpekčné zariadenia na výstupnú kontrolu výrobkov pred ich zabalením a odoslaním k zákazníkovi. Pre iné rodiny výrobkov zaviedol priemyselný podnik automatické optické inšpekčné zariadenia už v minulosti a výsledkom bolo zníženie počtu zákazníckych reklamácií z dôvodu chyby spôsobenej človekom na nulu (Tab. 2). I vďaka tomuto faktoru sa rozhodlo o vývoji nového zariadenia, ktoré bude predmetom tejto diplomovej práce.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Reklamácie celkovo	26	20	6	3	5	5
Chyba človek/stroj	22	17	0	0	0	0
Logistická chyba	4	3	6	3	5	5

Tab. 2 Počet reklamácií

2.1.3 Portfólio výrobkov pre kontrolu

Portfólio výrobkov priemyselného podniku je veľmi široké a rozdelené podľa produktových rodín. V tomto konkrétnom prípade budeme vykonávať kontrolu produktov označených ako Produkt1, Produkt2 a Produkt3 (Obr. 19). Hlavným rozdielom medzi týmito rodinami výrobkov je farba plastového puzdra. Produkt1 a Produkt3 majú bielu farbu puzdra s čiernym laserovým popisom a Produkt2 má čiernu farbu puzdra s bielym laserovým popisom. Druhým veľkým rozdielom je použitie vkladných kontaktovacích pružín pri Produkt1 na rozdiel od pevne zalisovaných kontaktov v Produkt2 a Produkt3.



Obr. 19 Prehľad produktov na kontrolu, zľava Produkt1, Produkt2, Produkt3

2.2 Definícia kontrolných pohľadov

Pre kontrolu výrobkov budeme využívať 3 pohľady z 3 rôznych zdrojov obrazu a to pohľad z vrchu, pohľad z boku a pohľad zo spodku. Tieto pohľady nám zabezpečia viditeľnosť všetkých kontrolovaných častí výrobkov. Tento princíp bol dohodnutý na základe skúseností pracovníkov vykonávajúcich manuálnu optickú kontrolu a taktiež po dohovore s pracovníkmi z oddelenia reklamácií, ktorí spolupracovali na vytvorení zoznamu kontrolovaných častí výrobkov.

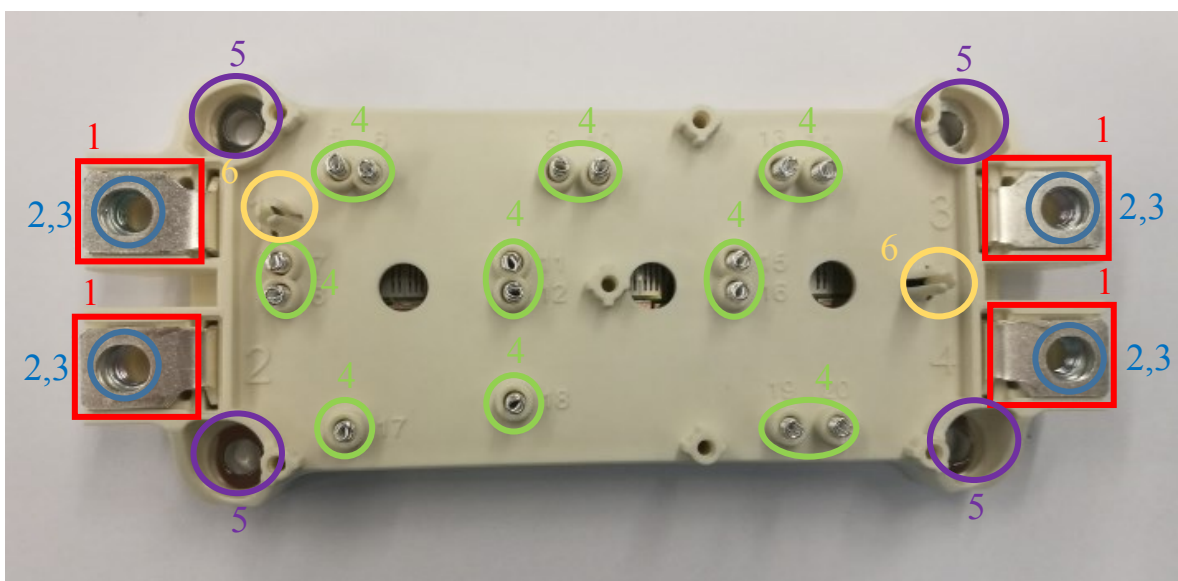
2.2.1 Produkt1

Charakteristika výrobku:

- Ploché puzdro (62 x 150 mm) z bieleho plastu
- Interné laserové označenie – čierne na bielom plaste
- Zákaznícke laserové označenie – „čierne“ na bielom plaste, na jednej z dlhších strán
- Ohýbané výkonové terminály
- Vkladané matice pod výkonovými terminálmi
- Pružinkové pomocné terminály
- Dištančné nity vlisované v puzdre

Požiadavky na kamerovú kontrolu z vrchu:

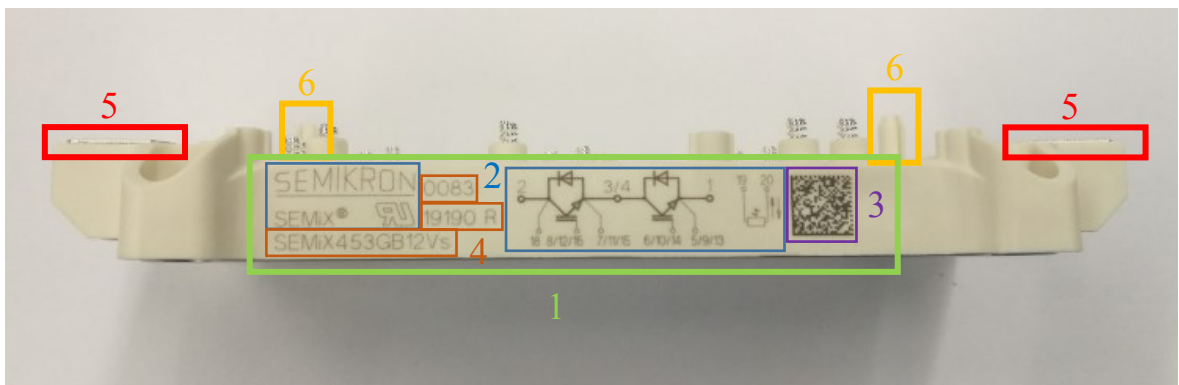
1. Odhaliť mechanické poškodenie na hlavných termináloch (vrypy, škrabance...).
2. Skontrolovať súosovosť otvorom hlavného terminálu a matice pod ním.
3. Skontrolovať prítomnosť a veľkosť matice pod hlavným terminálom.
4. Skontrolovať správnosť umiestnenia pružiniek vo výrobku, ich mechanické poškodenie a správnu orientáciu.
5. Skontrolovať prítomnosť nitov.
6. Skontrolovať prítomnosť a poškodenie plastového pinu



Obr. 20 Produkt1 kontrolované časti – pohľad z vrchu

Požiadavky na kamerovú kontrolu z boku:

1. Skontrolovať kvalitu laserového popisu.
2. Porovnať statické objekty popisu pomocou porovnania s predlohou.
3. Prečítať obsah DMx kódu.
4. Prečítať obsah textových popisov pomocou OCR.
5. Skontrolovať výšky terminálov.
6. Skontrolovať výšku plastových pinov.



Obr. 21 Produkt1 kontrolované časti – pohľad z boku

Požiadavky na kamerovú kontrolu zo spodku:

1. Odhaliť mechanické poškodenie základovej dosky.
2. Odhaliť nečistoty na základovej doske.



Obr. 22 Produkt1 kontrolované časti – pohľad zo spodku

2.2.2 Produkt2

Charakteristika výrobku:

- Ploché puzdro (62 x 150 mm) z čierneho plastu.
- Interné laserové označenie – čierne na čiernom plaste.
- Zákaznícke laserové označenie – biele na čiernej etike, na jednej z dlhších strán.
- Vlisované výkonové terminály.
- Matice vlisované pod výkonovými terminálmi.
- Pressfit pomocné terminály (piny).
- Dištančné nity vkladané a vlisované.
- Plastová krytka.

Požiadavky na kamerovú kontrolu z vrchu:

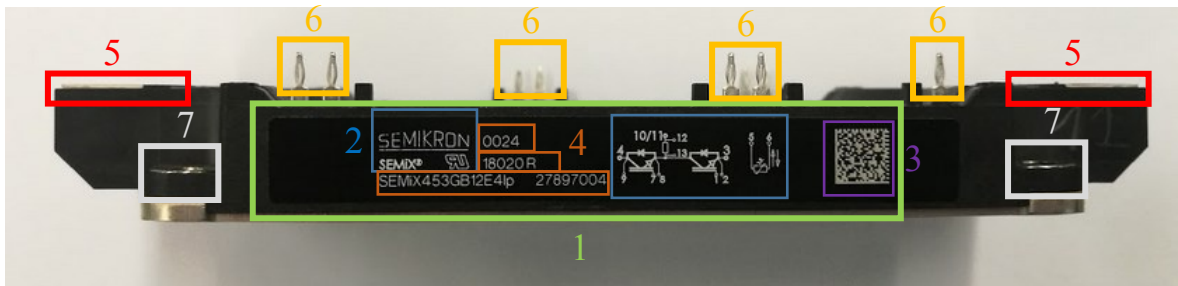
1. Odhaliť mechanické poškodenie na hlavných termináloch (vrypy, škrabance...).
2. Skontrolovať súosovosť otvorom hlavného terminálu a matice pod ním.
3. Skontrolovať prítomnosť a veľkosť matice pod hlavným terminálom.
4. Skontrolovať prítomnosť a tvar pressfit pinov.
5. Skontrolovať prítomnosť nitov.
6. Skontrolovať prítomnosť a poškodenie plastového pinu
7. Skontrolovať orientáciu vrchného krycieho dielu



Obr. 23 Produkt2 kontrolované časti – pohľad z vrchu

Požiadavky na kamerovú kontrolu z boku:

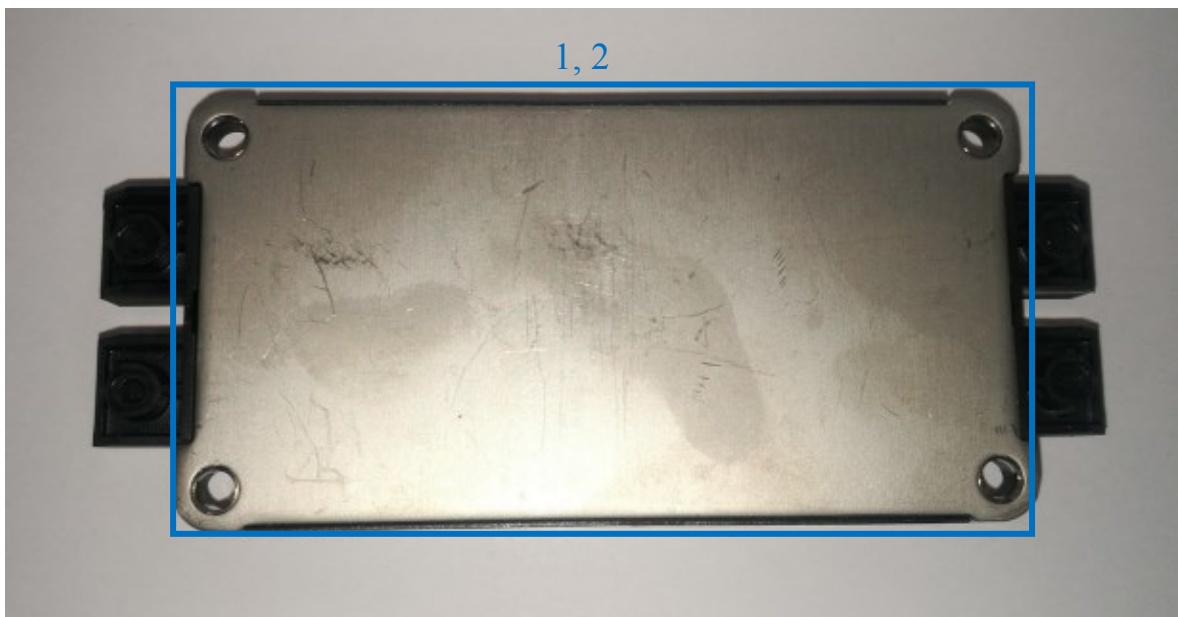
1. Skontrolovať kvalitu laserového popisu.
2. Porovnať statické objekty popisu pomocou porovnania s predlohou.
3. Prečítať obsah DMx kódu.
4. Prečítať obsah textových popisov pomocou OCR.
5. Skontrolovať výšky terminálov.
6. Skontrolovať tvar pressfit pinov.
7. Skontrolovať výšku nitov.



Obr. 24 Produkt2 kontrolované časti – pohľad z boku

Požiadavky na kamerovú kontrolu zo spodku:

1. Odhaliť mechanické poškodenie základovej dosky.
2. Odhaliť nečistoty na základovej doske.



Obr. 25 Produkt2 kontrolované časti – pohľad zo spodku

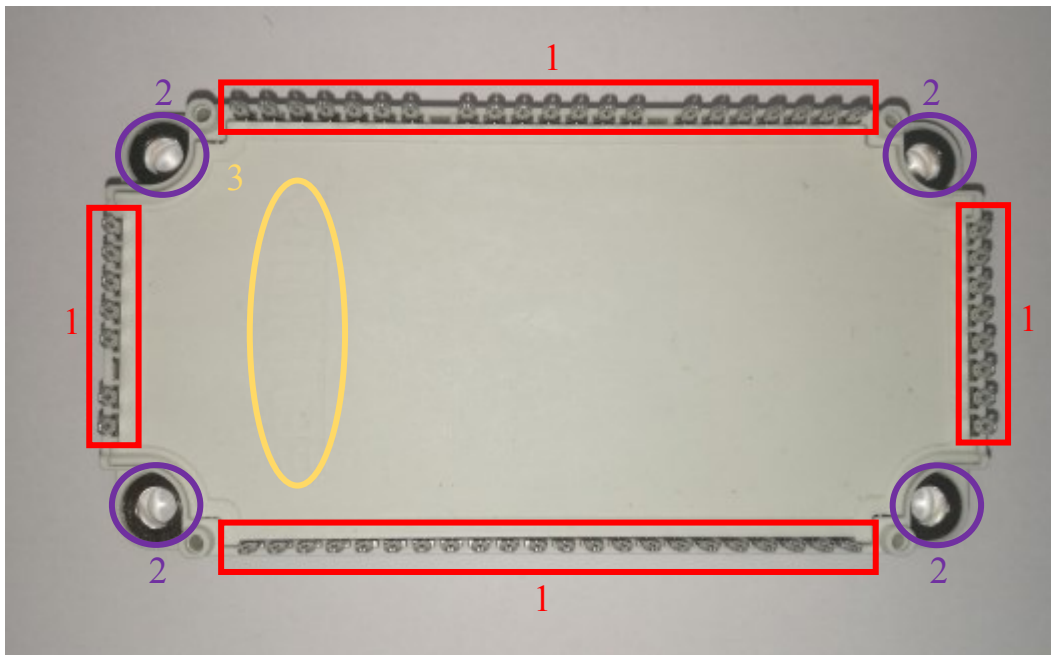
2.2.3 Produkt3

Charakteristika výrobku:

- Ploché puzdro (62 x 120 mm) z bieleho plastu.
- Interné laserové označenie – čierne na bielom plaste.
- Zákaznícke laserové označenie – čierne na bielom plaste, na jednej z dlhších strán.
- Pressfit výkonové terminály (piny).
- Pressfit pomocné terminály (piny).
- Piny v rôznych usporiadaniach na všetkých stranách pôdorysu puzdra
- Dištančné nity vkladané a vlisované.
- Plastová krytka.

Požiadavky na kamerovú kontrolu z vrchu:

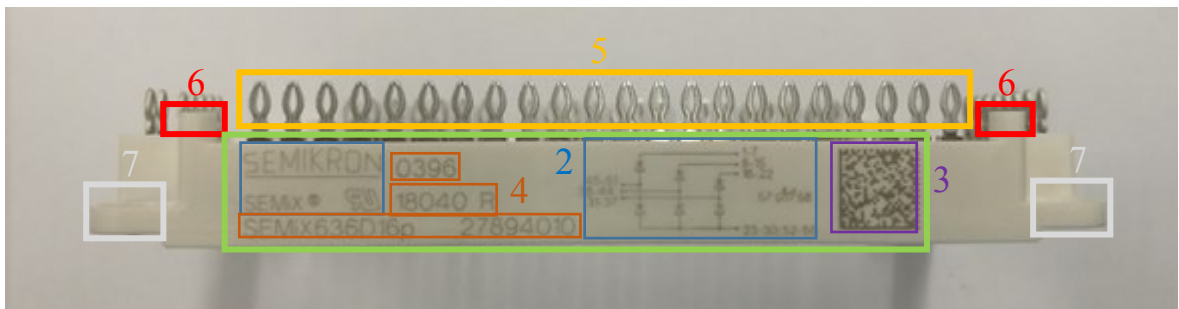
1. Skontrolovať prítomnosť, tvar a umiestnenie pressfit pinov.
2. Skontrolovať prítomnosť nitov.
3. Skontrolovať orientáciu vrchného krycieho dielu, na základe vylisovaného loga umiestneného asymetricky na krycom diele.



Obr. 26 Produkt3 kontrolované časti – pohľad z vrchu

Požiadavky na kamerovú kontrolu z boku:

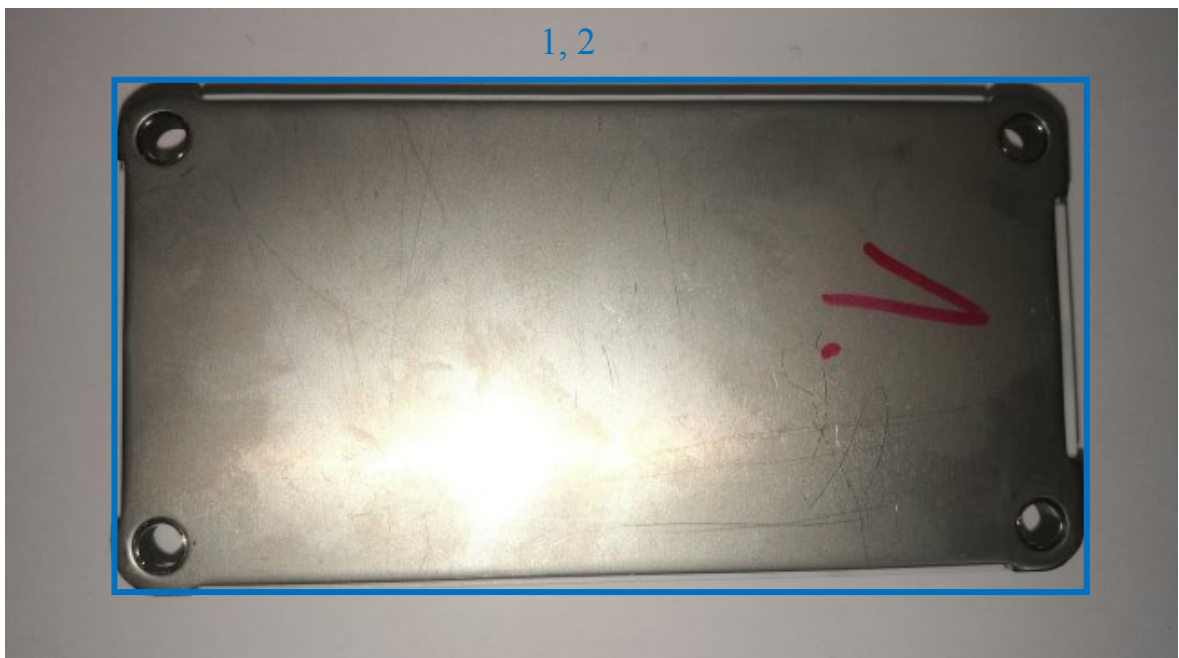
1. Skontrolovať kvalitu laserového popisu.
2. Porovnať statické objekty popisu pomocou porovnania s predlohou.
3. Prečítať obsah DMx kódu.
4. Prečítať obsah textových popisov pomocou OCR.
5. Skontrolovať výšky terminálov.
6. Skontrolovať výšku plastových pinov.
7. Skontrolovať výšku nitov.



Obr. 27 Produkt3 kontrolované časti – pohľad z boku

Požiadavky na kamerovú kontrolu zo spodku:

1. Odhaliť mechanické poškodenie základovej dosky.
2. Odhaliť nečistoty na základovej doske



Obr. 28 Produkt3 kontrolované časti – pohľad zo spodku

2.3 Vplyv na kvalitu

Jedným z cieľom tejto diplomovej práce je navrhnúť zariadenie tak, aby bola zabezpečená úplná spätná sledovateľnosť kontrolovaného výrobku. To znamená, že kontrolné zariadenie musí vedieť identifikovať kontrolovaný výrobok na základe jeho identifikačného čísla obsiahnutého v DMx kóde, ktorý je vylaserovaný v rámci popisu na jednej z dlhších strán kontrolovaného výrobku a toto číslo v kombinácii s číslom výrobnéj dávky použiť ako jednoznačný identifikátor vo svojej databáze údajov o danom kontrolovanom výrobku. Ku každému kontrolovanému výrobku musia byť uložené medzivýsledky a výsledky všetkých kontrol. Ďalej musí zariadenie ukladať snímky z jednotlivých kontrol, aby v prípade neskoršej reklamácie bolo možné zistiť, v akom stave bol výrobok pred odoslaním zákazníkovi.

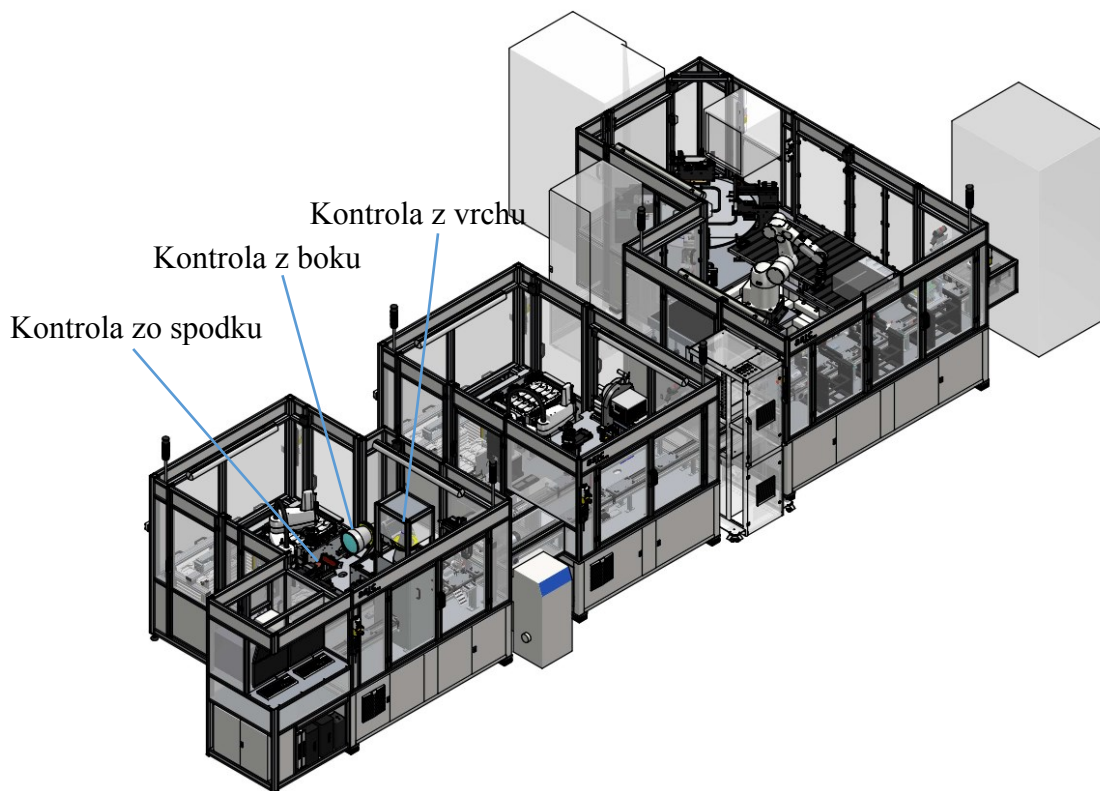
Automatizácia procesu vizuálnej kontroly výrobkov znižuje priemyselnému podniku náklady na kvalitu. Taktiež sa pomocou zavádzania moderných kontrolných metód znižuje početnosť zákazníckych reklamácií.

Toto všetko má pozitívny vplyv na výslednú kvalitu daného výrobku, a samozrejme i na dobré meno priemyselného podniku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH TECHNICKÉHO RIEŠENIA AUTOMATICKEJ OPTICKEJ KONTROLY

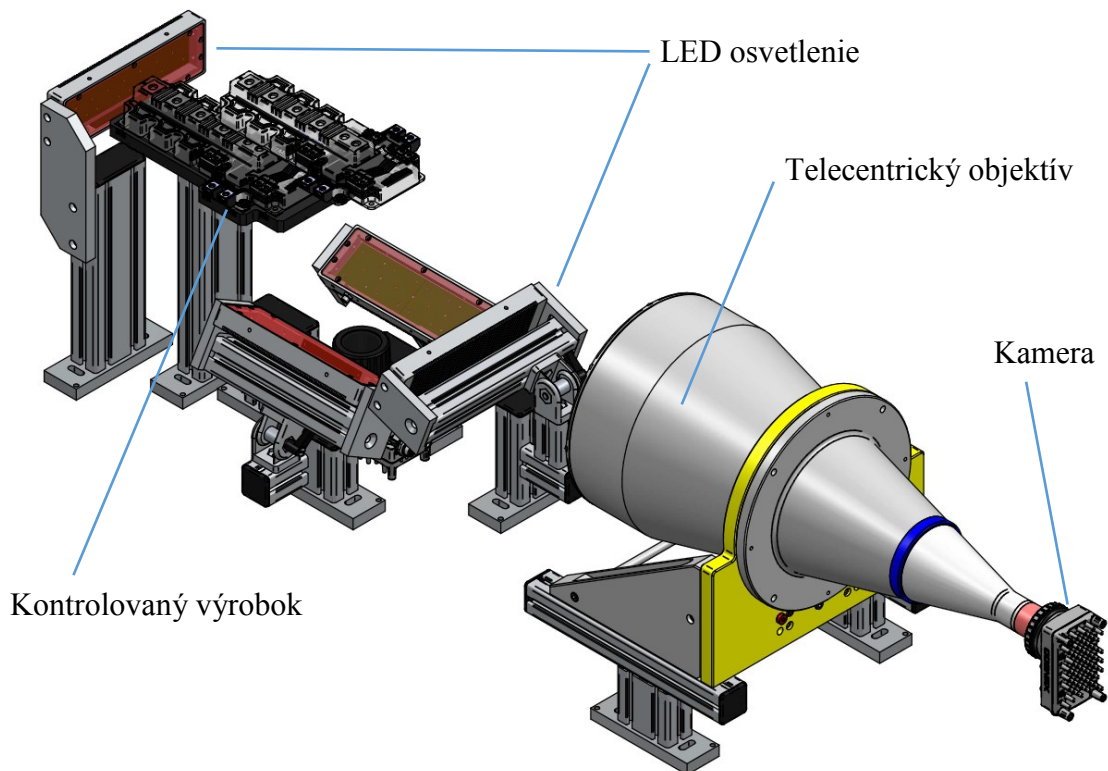
Zariadenie na optickú kontrolu vlastností výrobkov má byť implementované v zariadení na kontrolu elektrických parametrov výrobkov tzv. meracie zariadenie (Obr. 29 návrh Meracie zariadenie). Meracie zariadenie zmeria v jednotlivých meracích staniách elektrické parametre výrobkov a pokiaľ budú všetky vyhodnotené ako správne, bude výrobok označený laserovým popisom a následne zabalený do balenia pre zákazníka. Pred samotným zabalením má byť výrobok opticky skontrolovaný podľa vopred definovaných požiadaviek. Meracie zariadenie bude dodané externou firmou a pre riadenie zariadenia bude použité PLC SIEMENS.



Obr. 29 návrh Meracie zariadenie

Systém pre optickú kontrolu výrobkov

Systém optickej kontroly bude vytvorený ako tri samostatné stanice, osadené kamerami Cognex s telecentrickými objektívmi a špeciálnym LED osvetlením (Obr. 30). Všetky tri stanice budú ovládané jediným PLC. Dodávateľom tohto zariadenia bude externá firma, pre riadenie zariadenia bude použité PLC B&R.



Obr. 30 návrh Stanica optickej kontroly – kontrola z boku

Cieľom tejto diplomovej práce je navrhnuť, zrealizovať a implementovať systém optickej kontroly výrobkov v spolupráci s externou dodávateľskou firmou a samostatne navrhnuť a zrealizovať softvér pre komunikáciu s nadradeným systémom, komunikáciu s PLC riadením meracieho zariadenia, komunikáciu s PLC riadením kamerových staníc, vyhodnocovacie algoritmy a štruktúru databázy pre ukladanie dát o jednotlivých meraniach a k tomuto riešeniu prislúchajúce hardvérové riešenie vo forme počítačov, sieťových prvkov a ich vzájomných prepojení.

Pre vývoj softvéru som zvolil programovací jazyk C# a programovacie prostredie Visual Studio 2012. Za systém riadenia bázy dát som vybral MS SQL Server 2014.

3.1 Návrh HW riešenia

3.1.1 Počítačový HW

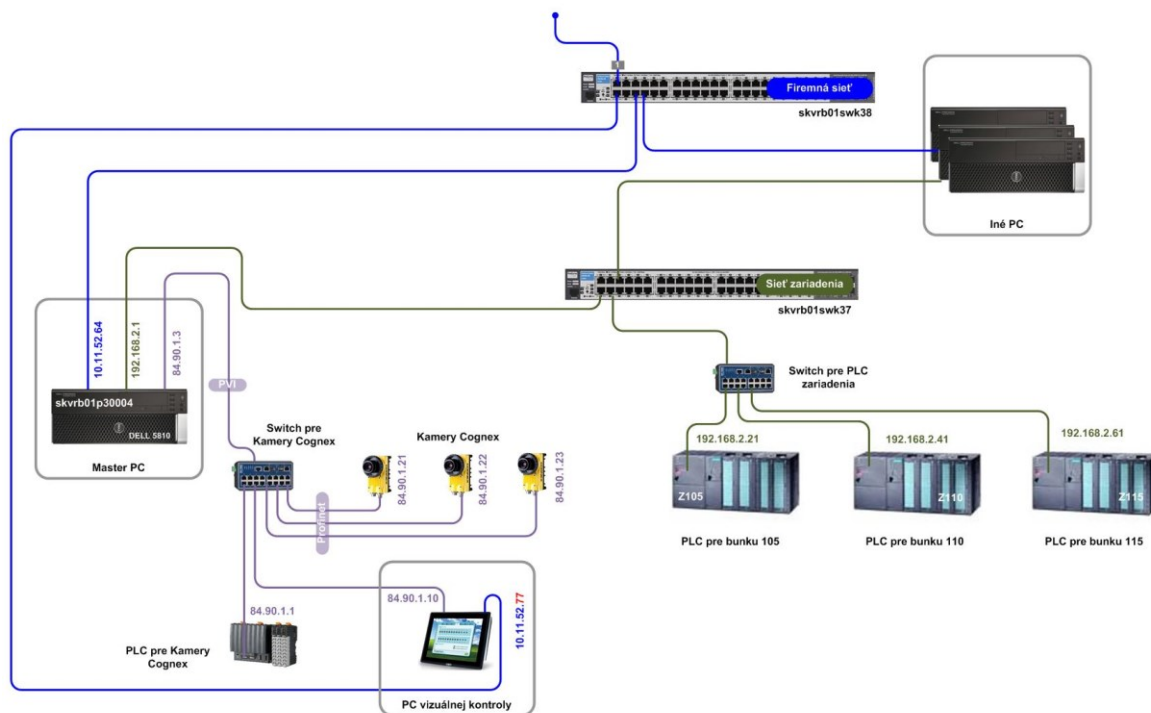
Všetok mnou vyvíjaný SW bude bežať v hlavnom počítači, ktorý budeme nazývať Master PC. Okrem Master PC, bude zariadenie používať i iné počítače, ktoré budú ukladať dielčie dáta o meraných výrobkoch, tieto ale nebudem ďalej popisovať (Obr. 31). Pre požiadavku na stabilitu a výkon som zvolil zariadenia DELL Precision Tower 5810 v štandardnej konfigurácii a prídavnými sieťovými kartami. Všetky počítače budú spolu prepojené v rámci siete, ktorú budeme nazývať „firemná sieť“ (Obr. 31– modré prepojenia). Pre prepojenie všetkých počítačov vo firemnej sieti bude použitý 24 portový konfigurovateľný switch Aruba 2530-24G a pre pridelenie IP adres bude použitý DHCP protokol.

Počítač pre potreby vizuálnej kontroly navrhujem použiť all-in-one IPC riešenie od firmy Elvac IEC Integra PRO s 24“ dotykovým displejom pre zobrazovanie vizualizácie prebiehajúcich kontrol a pevným diskom s kapacitou 2 TB pre ukladanie výsledkov kontrol z kamerových systémov vo forme bitmapových obrázkov.

3.1.2 Riadiaci HW

Pre riadenie zariadenia budú použité PLC riadenia SIEMENS S7300, ktoré budú navzájom i s Master PC prepojené pomocou tzv. „siete zariadenia“ (Obr. 31– zelené prepojenia). Pre vzájomné spojenie bude použitý 24 portový konfigurovateľný switch Aruba 2530-24G a pre IP adresy budú pridelené manuálne v rozsahu 192.168.1.1 až 192.168.1.100.

Komponenty vizuálnej kontroly budú riadené pomocou PLC B&R a prepojenie jednotlivých komponentov bude realizované v rámci separátnej siete (Obr. 31 – fialové prepojenia). Pre prepojenie bude použitý 8 portový konfigurovateľný switch Aruba 2530 8 a IP adresy budú nastavené manuálne v rozsahu 84.90.1.1 až 84.90.1.30.



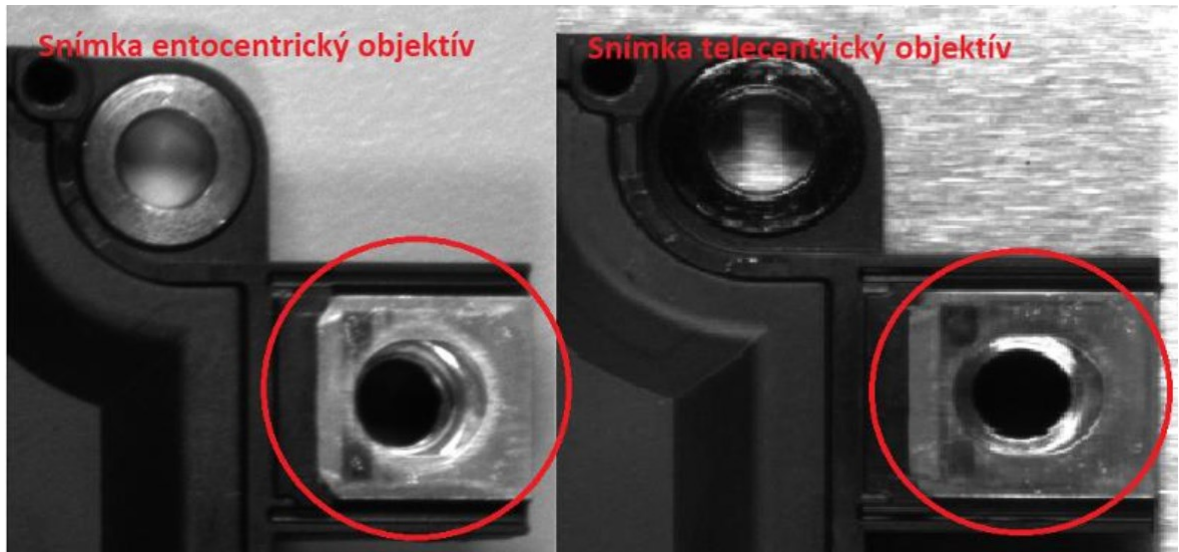
Obr. 31 Prepojenie jednotlivých HW prvkov

3.1.3 HW pre snímání obrazu

Po konzultácii s dodávateľom prvkov vizuálnej kontroly sme rozhodli o použití nasledujúcich komponentov.

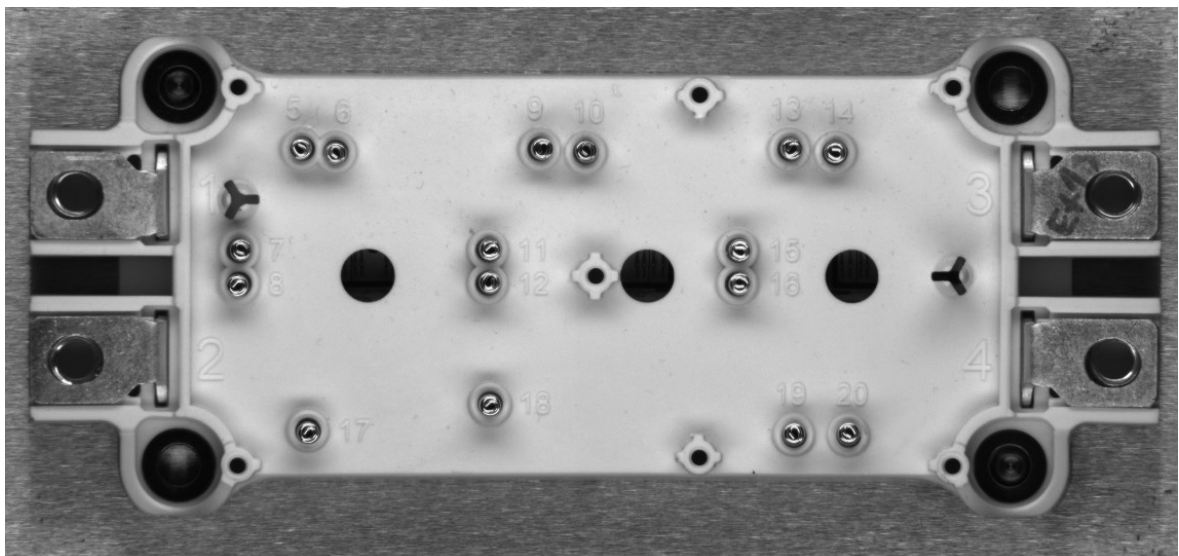
Stanica pre snímání z vrchu

Pre snímání obrazu v stanici pre snímání obrazu z vrchu navrhujem, na základe testov vykonaných na vzorkách reálnych výrobkov, použiť monochromatickú kameru Cognex IS5705, ktorá je vhodná najmä pre svoju rýchlosť snímkovania. Pre potrebu čo najmenšieho skreslenia snímáneho obrazu navrhujem použiť telecentrický objektív od firmy Opto-Engineering TC23172, ktorý disponuje zorným poľom 166,5 mm x 139,3 mm pri pracovnej vzdialenosti 526,9 mm a skreslenie obrazu je menej ako 0,04%.



Obr. 32 Porovnanie snímok entocentrický vs. telecentrický objektiv

Pre nasvetlenie kontrolovaného výrobku navrhujem použiť 2 ks LED svetlá od firmy MTS s plochou 250 mm x 72 mm bielej farby, ktoré by mali dostatočne a čo najhomogénnejšie osvetliť celú plochu kontrolovaného výrobku. Kontrolovaný výrobok by mali osvetľovať z vrchu pod uhlom s osou kamery asi 20°.



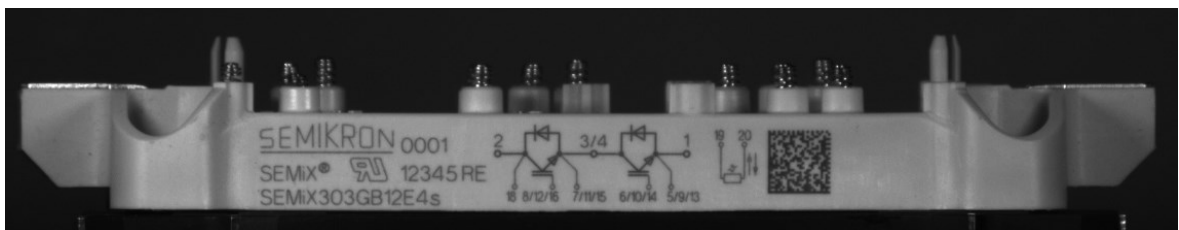
Obr. 33 Test Produkt1 pomocou navrhovaného HW



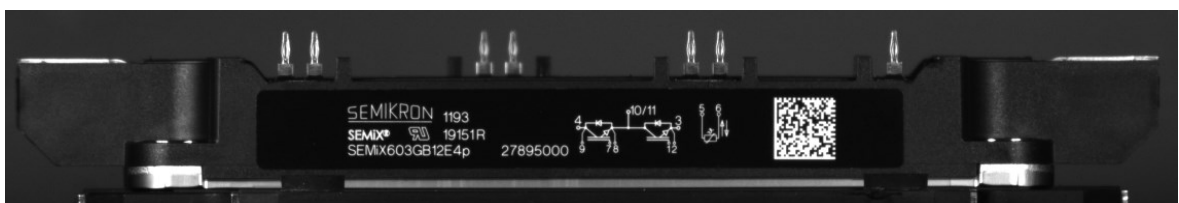
Obr. 34 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW

Stanica pre snímanie z boku

Pre snímanie obrazu z boku navrhujem taktiež použiť monochromatickú kameru Cognex IS5705 v kombinácii s telecentrickým objektívom Opto-Engineering TC23172 ako pri kontrole z vrchu. V tejto stanici bude kontrola prebiehať v 2 krokoch, pri ktorých sa vytvoria 2 snímky, každý s iným typom osvetlenia. Pre kontrolu laserového popisu navrhujem na základe vykonaných testov použiť 2 ks LED svetlá od firmy MTS s rozmermi 100 mm x 20 mm bielej farby, ktoré budú kontrolovaný výrobok osvetľovať z prednej strany pod uhlom s osou kamery asi 40°.



Obr. 35 Test nasnímania Produkt1 pomocou navrhovaného HW

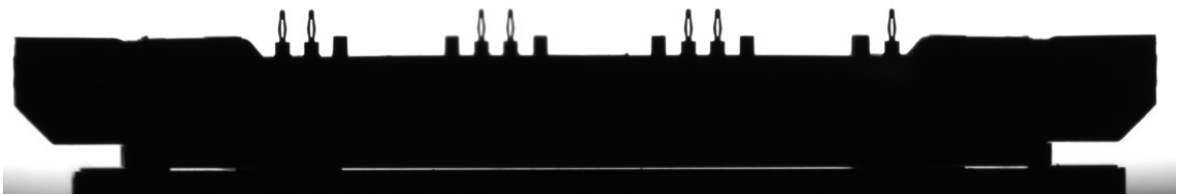


Obr. 36 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW

Pre kontrolu fyzických parametrov výrobkov je potrebné vykreslenie obrysu výrobku za použitia protisvetla. Pre tento účel navrhujem použiť LED protisvetlo od firmy MTS s plochou 250 mm x 72 mm bielej farby, ktoré bude umiestnené za kontrolovaným výrobkom v osi s kontrolovaným výrobkom.



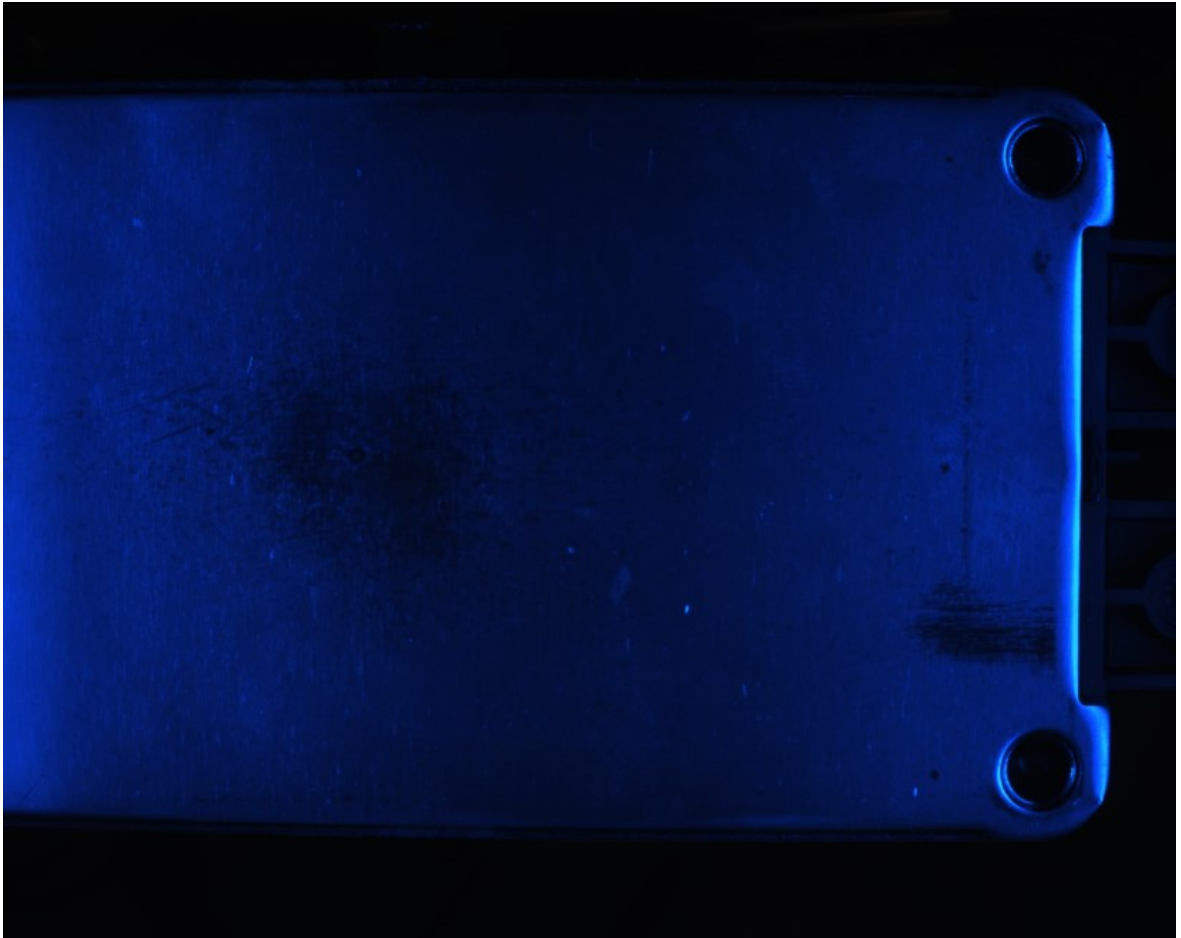
Obr. 37 Test nasnímania Produkt1 pomocou navrhovaného HW



Obr. 38 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW

Stanica pre snímanie zo spodku

Pre snímanie obrazu zo spodku bude použitá farebná kamera IS5705C, kvôli nutnosti vyhľadávania poškodení a znečistení na medenej základovej doske. Objektív bude použitý klasický C-mount objektív Fujinion s pevným ohniskovým číslom v rozmedzí 9-16 mm podľa umiestnenia. Pre vhodné osvetlenie kontrolovaného výrobku budú použité 4 ks LED svetiel MTS LL-85B120 vyžarujúce modré svetlo, ktoré budú rozmiestnené po obode kontrolovaného výrobku a budú zvierat' navzájom uhol 90°.



Obr. 39 Test nasnímania kontrolovaného výrobku pomocou navrhovaného HW




3.2 Návrh SW riešenia

Štandardným softvérom pre riadenie, komunikáciu, zber a vyhodnocovanie dát strojov a zariadení v priemyselnom podniku je MasterFramework.

MasterFramework má modulárnu štruktúru. Obsahuje aplikácie tzv. ProcessControl-y pre každú stanicu, ktorá je spustená a vykonáva nejaké činnosti a to nezávisle od ostatných aplikácií. Hlavnou aplikáciou riešenia bude ProcessControl.JobManager, ktorý obsahuje GUI pre operátora. Pomocou tohto GUI bude operátor zadávať informácie o výrobnej dávke a bude môcť pomocou neho sledovať priebeh aktuálneho stavu pre danú výrobnú dávku. Každé kontrolné alebo meracie zariadenie bude mať svoj vlastný stanicový ProcessControl, pričom každý ProcessControl bude ovládať vždy iba jedno zariadenie.

3.2.1 ProcessControl.Vision

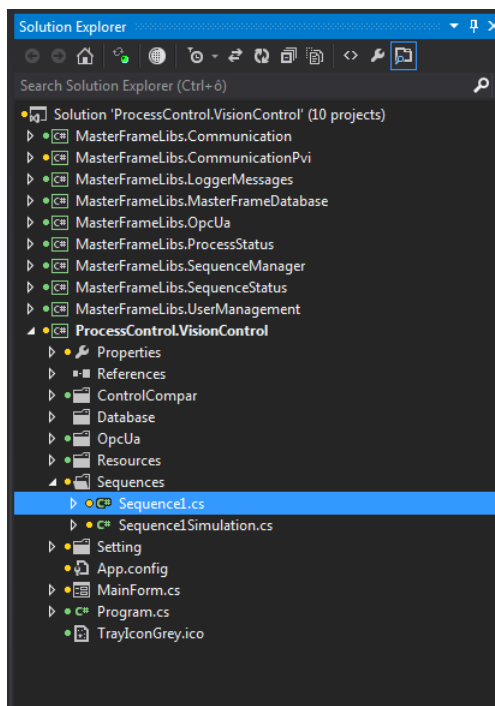
Každá stanica vizuálnej kontroly bude riadená pomocou jedného ProcessControl.Vision, v nasledujúcich bodoch navrhнем štruktúru tohto programu.

Ico	Názov PC	Číslo	Názov stanice	Popis
	VisionControl	160	Vision_PinMutter	Kontrola výrobku z hora
	VisionControl	190	Vision_Grundplatte	Kontrola výrobku zo spodku
	VisionControl	200	Vision_Beschriftung	Kontrola výrobku z boku

Tab. 3 Zoznam aplikácií ProcessControl.Vision

3.2.1.1 Štruktúra programu

ProcessControl.Vision bude navrhnutý ako Windows Form aplikácia v prostredí Visual Studio 2012. Celé riešenie bude založené na platforme .NET Framework 4.5, pričom do budúcnosti sa uvažuje o prechode na vyššiu verziu tejto platformy. ProcessControl.Vision bude využívať sadu knižníc, ktoré budú zdieľané so všetkými ostatnými ProcessControlmi pre dané zariadenie. Tieto knižnice budú komunikovať so zariadením pomocou TCP protokolu.



Obr. 40 Solution tree

3.2.1.2 *Externé knižnice*

V projekte ProcessControl.Vision budem používať funkcie nasledovných knižníc, ktoré sú zdieľané i pre ostatné ProcessControl projekty v rámci zariadenia.

MasterFrameLibs.Communication

Popis: knižnica funkcií pre komunikáciu pomocou TCP protokolu.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.CommunicationPVI

Popis: knižnica funkcií pre komunikáciu s PLC riadením od firmy B&R pomocou PVI rozhrania.

Autor: Tomáš Michálek.

MasterFrameLibs.LoggerMessages

Popis: Knižnica funkcií pre zápis správ do log súborov.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.MasterFrameDatabase

Popis: knižnica funkcií pre komunikáciu s MS SQL databázou.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.OpcUA

Popis: Knižnica funkcií pre komunikáciu s PLC riadením od firmy Siemens pomocou OPC UA.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.ProcessStatus

Popis: knižnica funkcií pre sledovanie stavu procesu.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.SequenceManager

Popis: knižnica funkcií pre riadenie sekvenčného spracovania procesu.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.SequenceStatus

Popis: knižnica funkcií pre sledovanie stavu sekvencie.

Autor: externý programátor.

MasterFrameLibs.UserManagement

Popis: knižnica funkcií pre riadenie užívateľských kont.

Autor: externý programátor.

3.2.1.3 Nastavenia

Pre zjednodušenie vývoja a údržby aplikácie budú všetky aplikácie ProcessControl.Vision obsahovo úplne zhodné, identifikácia a nastavenia jednotlivých aplikácií bude na základe externého nastavovacieho XML súboru Settings.xml. Popis premenných nastavovaných v tomto súbore je uvedený v tabuľke (Tab. 4).

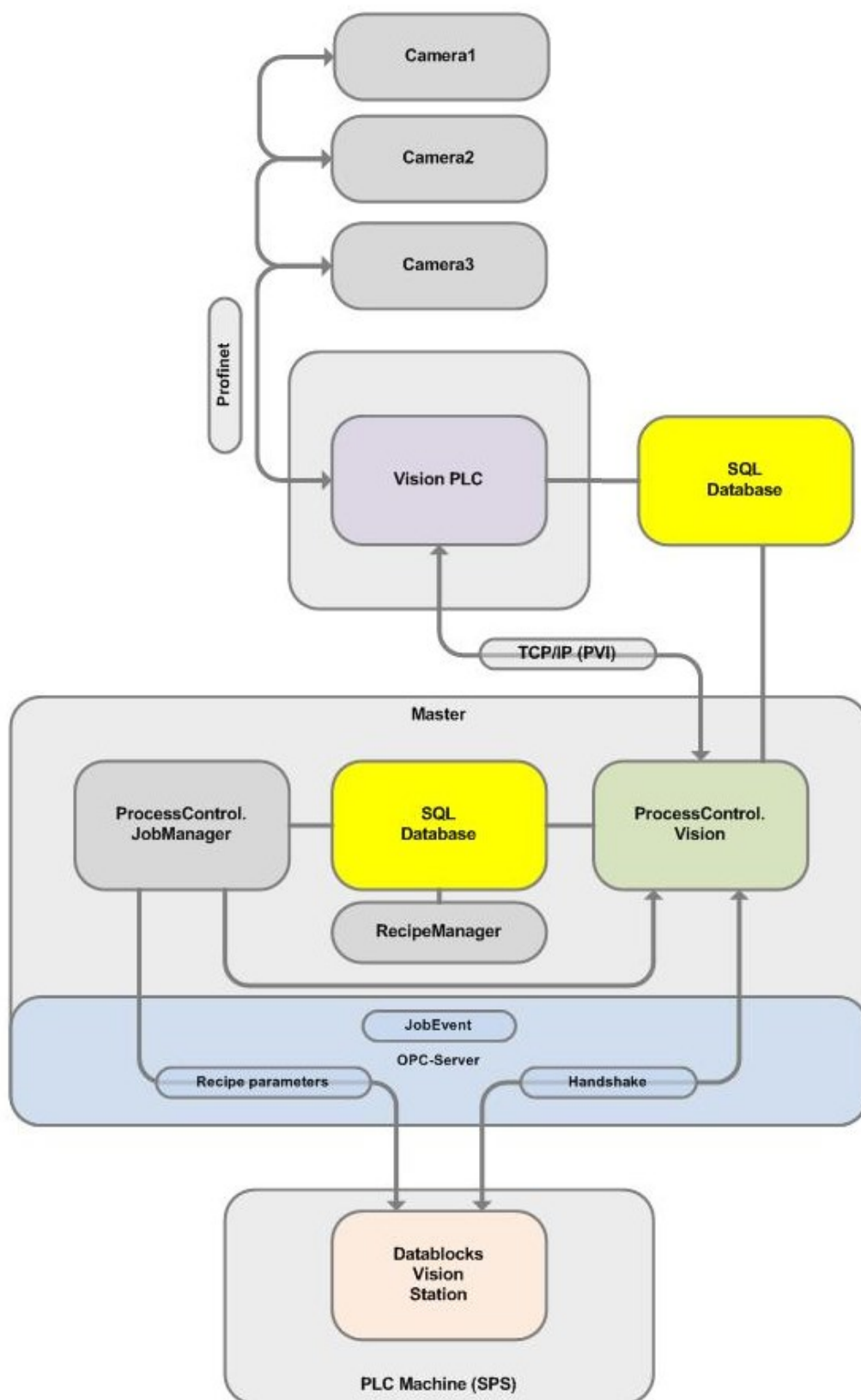
Názov premennej	Typ premennej	Popis premennej
OpcItemsFileName	string	Názov súboru so zoznamom OPC premenných
StationName	string	Názov stanice ktorú aplikácia riadi
StationNr	integer	Číslo stanice ktorú aplikácia riadi
DatabaseConnectionString	string	Pripájací reťazec k Master MS SQL databáze
ScrapCode	string	Kód pre označenie nepodarkov vyhodnotených touto stanicou
VisionIpAddress	string	IP adresa PLC riadenia vizuálnej kontroly
VisionIpPort	string	Číslo portu pre komunikáciu s PLC riadením vizuálnej kontroly
VisionControlDatabaseConnectionString	string	Pripájací reťazec k Vision MS SQL databáze

VisionPathJobs	string	Adresa pre ukladanie súborov s výsledkami danej kontroly
Simulation	boolean	Aktivácia/deaktivácia módu aplikácie, kedy neprebieha vyhodnocovanie výsledkov kontroly. Iba pre testovanie
SimulationTime	integer	Hodnota času v sekundách. V simulačnom móde po definovanom čase vracia aplikácia riadeniu výsledok.

Tab. 4 Popis premenných v súbore Settings.xml

3.2.1.4 *Komunikačné rozhrania*

Základným komunikačným rozhraním bude OPC Server (Siemens OPC-UA / NET V8.2). Server bude použitý pre komunikáciu medzi PLC zariadenia a jednotlivými stanicovými ProcessControl-mi a takisto pre komunikáciu medzi hlavným ProcessControl-om – ProcessControl.JobManager a jednotlivými stanicovými ProcessControl-mi . ProcessControl bude pripojený k OPC serveru ako OPC klient, OPC server bude preposielať komunikáciu zodpovedajúcemu PLC zariadenia. Druhým hlavným komponentom pre všetky ProcessControl-y bude SQL databázový server. Databáza bude ukladať hodnoty parametrov receptov a výsledkové dáta. PLC riadenie vizuálnej kontroly bude pristupovať k separátnemu MS SQL serveru, do ktorého bude ukladať všetky dáta z kontrol. AplikáciaProcessControl.Vision bude po vyhodnotení jednotlivých kontrol ukladať všeobecný výsledok kontroly do spoločnej MS SQL databázy. Špeciálnym rozhraním stanicového ProcessControl-u pre vizuálnu kontrolu bude PVI komunikačné rozhranie pre komunikáciu s PLC riadením vizuálnej kontroly. Pri tomto rozhraní bude pri každom spustení aplikácie inicializovaný softvérový prostredník (PVI Manager), ktorý dokáže sprístupniť premenné obsiahnuté v programe PLC riadenia vizuálnej kontroly, ktoré sú označené ako zdieľané, pre čítanie a zápis z externej aplikácie (Obr. 41).



Obr. 41 Schéma komunikačného prepojenia

3.2.1.5 *Sekvenčný beh programu*

Aplikácia ProcessControl.Vision bude bežať sekvenčne, pričom hlavná sekvencia bude obsahovať jednotlivé body kontroly výroby. Výhodou tohto riešenia, je možnosť resetovania sekvencie v prípade prerušenia komunikácie, alebo iného problému, pre ktorý by mohla byť komunikácia s PLC riadením stroja prerušená. Po opätovnom nadviazaní komunikácie sa sekvencia začne vykonávať od začiatku a výmena dát s PLC riadením stroja bude úspešne obnovená. Táto koncepcia je výhodnejšia oproti riešeniam, kde aplikácia vykonáva svoju činnosť na základe zmeny určitej udalosti, alebo premennej v riadiacom PLC, kde je nutné v niektorých prípadoch pri výpadku spojenia úplné znovunastavenie oboch aplikácií, čo má za následok prerušenie vykonávania úkonov nad výrobnou dávkou a zvyšuje čas taktu zariadenia a znižuje jeho technickú dostupnosť.

Hlavná sekvencia sa bude skladať z krokov popísaných nižšie, pričom každý krok bude mať návratovú hodnotu buď to skok na ďalší krok, reset kroku, alebo skok na chybový krok.

Hlavná sekvencia sa bude skladať z nasledujúcich krokov:

3. StepInit – inicializačný krok sekvencie, vykoná zobrazenie vlastností nastavení
4. StepResetValues – krok pre nastavenie všetkých OPC premenných do ich predvolených hodnôt
5. StepWaitForJobEvent – v tomto kroku bude sekvencia čakať na signál o začatí výrobnej dávky, ak žiadna výrobná dávka nie je aktívna, od ProcessControl.JobManager, ktorý má na starosť správu výrobných dávok.
6. StepVisionConnected – krok pre nadviazanie komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly pomocou TCP. V tomto prípade je ProcessControl.Vision TCP client.
7. StepGetActiveJob – krok pre kontrolu v údajov v tabuľke nastavení v SQL databáze, či má byť výrobná dávka spracovávaná v tejto stanici.
8. StepGetConfiguration – krok pre načítanie konfiguračných údajov pre výrobnú dávku z SQL databázy.
9. StepAcknowledgeJobEvent – krok pre potvrdenie signálu Set_JobEvent z ProcessControl.JobManager.
10. StepReleaseProcess – krok pre nastavenie uvoľnovacieho signálu pre PLC riadenie stroja. Stroj môže po tomto nastavení vykonať kroky kontroly pre túto stanicu.

11. StepAcknowledgeItemNo – krok v rámci komunikácie s PLC riadením stroja, ProcessControl.Vision potvrdí číslo kontrolovaného výrobku, ktoré prijal od PLC riadenia stroja a čaká na signál Set_Ready od PLC riadenia stroja, aby mohol začať vykonávať kontrolu kontrolovaného výrobku.
12. StepCreateItemCycle – krok pre vytvorenie cyklu kontrolovaného výrobku v SQL databáze (kontrolovaný výrobok môže byť kontrolovaný viacnásobne, vo viacerých cykloch).
13. StepSetActive – krok v rámci komunikácie s PLC riadením stroja, ProcessControl.Vision hlási, že proces kontroly kontrolovaného výrobku je aktívny.
14. StepVisionLoadJob – krok v rámci komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly, nastavenie názvu výrobnéj dávky.
15. StepVisionLoadRecipe – krok v rámci komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly, nastavenie názvu receptu pre aktuálnu kontrolu.
16. StepVisionLoadItemNo – krok v rámci komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly, nastavenie čísla (identifikátora) kontrolovaného výrobku.
17. StepVisionLoadItemCycle – krok v rámci komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly, nastavenie čísla cyklu kontrolovaného výrobku.
18. StepVisionStart – krok v rámci komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly, štart procesu kontroly a čakanie na výsledky.
19. StepWriteResultToDatabase – krok pre zápis konečného výsledku kontroly kontrolovaného výrobku do MS SQL databázy.
20. StepSetResult – krok v rámci komunikácie s PLC riadením stroja, nastavenie konečného výsledku kontroly kontrolovaného výrobku.
21. StepSetDone – krok v rámci komunikácie s PLC riadením stroja, nastavenie signálu proces kontroly je ukončený.
22. StepProcessFinished – krok v rámci komunikácie s PLC riadením stroja, čakanie na potvrdenie predchádzajúceho kroku od PLC riadenia stroja
23. StepAcknowledgeReset – krok pre vykonanie resetu sekvencie na základe požiadavky od PLC riadenia stroja, alebo užívateľa.
24. StepError – krok pre chybové prípady, alebo prípad uplynutia času watchdog time-ra.

3.2.1.6 *Priebeh signálov počas kontroly výrobku s PLC riadením zariadenia*

1. Po vstupe výrobku do stanice zapíše PLC aktuálnu hodnotu do premenných ‚Set.ItemNo‘ a ‚Set_CarrierId‘. Premenná ‚Set_ImagePosition‘ je používaná pri viac-krokových kamerových kontrolách, PLC v tomto prípade zapíše do tejto premennej hodnotu aktuálneho kroku kontroly.
2. Aplikácia ProcessControl.Vision zrkadlovo zapíše obsah premenných do príslušných Ack premenných.
3. Pokiaľ Set a Ack premenné obsahujú rovnaké hodnoty, nastaví PLC signál ‚Set_Ready‘ na True.
4. Aplikácia ProcessControl.Vision zrkadlovo zapíše hodnotu premennej ‚Set_Ready‘ do príslušnej Ack premennej.
5. Aplikácia ProcessControl.Vision nastaví hodnotu premennej ‚Set_Active‘ na True a začne priebeh kontroly, priebeh komunikácie s PLC riadením vizuálnej kontroly je popísaný v nasledujúcom odstavci. Premenná má hodnotu True, pokiaľ je priebeh kontroly aktívny.
6. PLC odzrkadlí hodnotu premennej ‚Set_Active‘ do príslušnej Ack premennej.
7. Po skončení priebehu kontroly zapíše aplikácia ProcessControl.Vision hodnotu výsledku kontroly do premennej ‚Set_Result‘.
8. PLC odzrkadlí hodnotu premennej ‚Set_Result‘ do príslušnej Ack premennej.
9. Ak je hodnota premenných ‚Set_Result‘ a ‚Ack_Result‘ zhodná, nastaví aplikácia ProcessControl.Vision signál ‚Set_Done‘ na True
10. PLC odzrkadlí hodnotu premennej ‚Set_Done‘ do premennej ‚Ack_Done‘. Pritom nastaví PLC spolu so signálom ‚Set_Done‘ = True signál ‚Set_Ready‘ späť na False.
11. Po nastavení premenných ‚Ack_Done‘ = True a ‚Set_Ready‘ = False od PLC, nastaví aplikácia ProcessControl.Vision premennú ‚Set_Done‘ späť na False.

Set_ItemNo		1	1	1	1														
Ack_ItemNo			2	2	2	2													
Set_CarrierId		1	1	1	1														
Ack_CarrierId			2	2	2	2													
Set_ImagePosition		1	1	1	1														
Ack_ImagePosition			2	2	2	2													
Set_Ready				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10				
Ack_Ready					4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
Set_Active						5	5	5	5	5	5	5	5	5					
Ack_Active							6	6	6	6	6	6	6	6	6				
Set_Result												7	7	7					
Ack_Result													8	8	8				
Set_Done														9	9	9	11	11	
Ack_Done															10	10	10		

Obr. 42 Priebeh signálov medzi aplikáciou a PLC riadením zariadenia

3.2.1.7 Priebeh signálov počas kontroly výrobku s PLC riadením vizuálnej kontroly

1. Aplikácia ProcessControl.Vision zapíše hodnoty do premenných PVISet_JobName, PVISet_RecipeName, PVISet_ItemNo a PVISet_ItemCycle.
2. PLC zrkadlovo zapíše obsah premenných do príslušných Ack premenných.
3. Aplikácia ProcessControl.Vision nastaví hodnotu premennej PVISet_Ready na True.
4. PLC odzrkadlí hodnotu premennej PVISet_Ready do príslušnej Ack premennej, následne započne priebeh kontroly výrobku pomocou vizuálnych prvkov, obe tieto premenné majú hodnotu True až pokiaľ nie je priebeh kontroly ukončený.
5. PLC po ukončení kontroly a zapísaní výsledkov kamerových kontrol do MS SQL databázy výrobku nastaví premennú PVISet_Done na hodnotu True.
6. Aplikácia ProcessControl.Vision odzrkadlí hodnotu PVISet_Done do PVIack_Done. PLC zmení hodnotu premennej PVISet_Ready na False.

PVISet_RecipeName		1	1	1	1														
PVIack_RecipeName			2	2	2	2													
PVISet_ItemNo		1	1	1	1														
PVIack_ItemNo			2	2	2	2													
PVISet_ItemCycle		1	1	1	1														
PVIack_ItemCycle			2	2	2	2													
PVISet_JobName		1	1	1	1														
PVIack_JobName			2	2	2	2													
PVISet_Ready				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6					
PVIack_Ready					4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
PVISet_Done													5	5	5				
PVIack_Done														6	6	6			

Obr. 43 Priebeh signálov medzi aplikáciou a PLC riadením vizuálnej kontroly

3.2.1.8 Databáza

ProcessControl.Vision bude pracovať s 2 databázami. Prvá je zdieľaná s PLC riadením vizuálnej kontroly, a druhá bude spoločná pre všetky ProcessControl-y a dáta z nej budú zdieľané pre PLC riadenie stroja.

Databáza vizuálnej kontroly

Databáza vizuálnej kontroly bude obsahovať pre každú stanicu jednu tabuľku s receptami a jednu tabuľku s výsledkami kontrol, tzn. spolu 6 tabuliek.

Tab. s receptami pre každú stanicu bude riadkovo orientovaná, bude obsahovať stĺpec s názvom receptu, ktorý bude zhodný s typom výrobnjej dávky. Stĺpec s názvom kamerového programu. Stĺpec s číslom revízie daného receptu. Stĺpec s príznakom platnosti daného receptu. A stĺpce s binárnou hodnotou pre každú jednu možnú kontrolu v rámci danej stanice. V prípade kontroly s binárnym výsledkom bude názov stĺpca začínať slovom „Check“ napr.: CheckHeightMainTerminal1, v prípade kontroly, ktorej návratová hodnota je textový reťazec bude názov stĺpca začínať slovom „Read“, napr.: ReadDMx. V prípade kontrol s binárnym výsledkom bude hodnota uložená v danom stĺpci znamenať očakávaný výsledok, pri kontrolách s výsledkom vo forme textového reťazca bude binárna hodnota uložená v danom stĺpci určovať, či daná kontrola má, alebo nemá byť vykonaná.

Tab. s výsledkami pre každú stanicu bude riadkovo orientovaná, bude obsahovať stĺpce s údajmi o výrobnjej dávke a kontrolovanom výrobku, stĺpec s názvom receptu, stĺpce typu string, do ktorých bude PLC riadenie vizuálnej kontroly ukladať výsledky kontrol, ktorých návratová hodnota je textový reťazec a stĺpce typu bool pre výsledky kontrol s binárnou návratovou hodnotou.

Výsledky kontrol bude do tabuliek zapisovať PLC riadenie vizuálnej kontroly, ProcessControl.Vision bude s týmito dátami ďalej pracovať a nakoniec zapíše do tabuľky celkový výsledok kontroly a prípadne poznámku. Celá štruktúra výsledkových tabuliek je navrhnutá s ohľadom na možnosti prístupu k databáze zo strany PLC riadenia vizuálnej kontroly, ktoré je žiaľ veľmi komplikované a časovo náročné a zápis dát do viacerých tabuliek by bol príliš dlhý a zvyšoval by takt stroja na hodnotu vyššiu, ako je povolená.

Databáza stroja

Databáza stroja bude uchovávať všeobecné informácie o výrobnéj dávke a kontrolovanom výrobku a základné nastavenia jednotlivých staníc (aktívna, počet krokov kontroly...). Do tejto databázy bude ProcessControl.Vision ukladať po skončení vyhodnotenia celkový výsledok kontroly pre každú stanicu.

3.2.1.9 *Kontroly vykonávané ProcessControl.Vision*

PLC riadenie vizuálnej kontroly po skončení kontrolných krokov v jednotlivých staniaciach zapíše výsledky vykonaných testov do príslušných výsledkových tabuliek v MS SQL databáze. Následne budú jednotlivé ProcessControl.Vision vykonávať nasledovné kontroly:

Kontrola z hora

Pri kontrole z hora porovná ProcessControl.Vision hodnoty výsledkov kontrol vo výsledkovej tabuľke s hodnotami (očakávanými výsledkami) platnými pre daný kontrolovaný výrobok uloženými v receptovej tabuľke, pokiaľ sa všetky zhodujú je daný kontrolovaný výrobok označený ako správny a uvoľnený pre ďalšie spracovanie.

Kontrola z boku

Pri kontrole z boku porovná ProcessControl.Vision hodnoty výsledkov kontrol vo výsledkovej tabuľke s hodnotami (očakávanými výsledkami) platnými pre daný kontrolovaný výrobok uloženými v receptovej tabuľke. Ďalej ProcessControl.Vision porovná obsah textových reťazcov získaných pomocou metódy OCR s údajmi platnými pre danú výrobnú dávku. V prípade textového reťazca s poradovým číslom výrobku skontroluje i unikátnosť tohto čísla. Textový reťazec získaný pomocou čítania DMx kódu je pre potreby porovnania rozdelený na dielčie časti a následne porovnaný s údajmi platnými pre danú výrobnú dávku. Pokiaľ sú výsledky všetkých porovnaní správne, je i daný kontrolovaný výrobok označený ako správny a uvoľnený pre ďalšie spracovanie.

Kontrola zo spodku

Pri kontrole zo spodku porovná ProcessControl.Vision hodnoty výsledkov kontrol vo výsledkovej tabuľke s hodnotami (očakávanými výsledkami) platnými pre daný kontrolovaný výrobok uloženými v receptovej tabuľke, pokiaľ sa všetky zhodujú je daný kontrolovaný výrobok označený ako správny a uvoľnený pre ďalšie spracovanie.

3.2.1.10 *Logovanie programu*

Pre potreby zaznamenávania údajov o prebiehajúcom procese pre ich neskoršiu analýzu bude vytvárať ProcessControl.Vision logovacie súbory. Logovacie súbory budú vytvárané na pevnom disku Master PC, budú mať štruktúru textového súboru, ktorý bude obsahovať riadky so záznamami. Každý riadok bude obsahovať dátum a čas, typ, krok a práve jeden popis ukladanej udalosti.

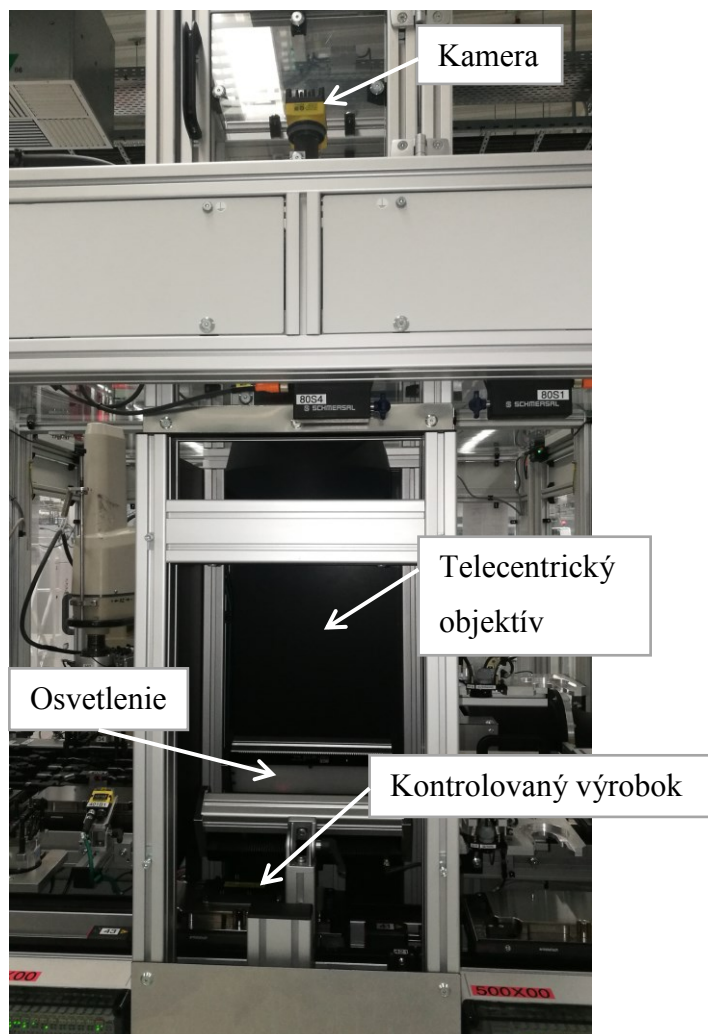
Typ udalosti bude môcť nadobúdať hodnoty INFO, WARN a ERROR. Krok bude označovať číselne i textovo krok, v rámci sekvencie, v ktorom k udalosti došlo. Popis bude obsahovať čo najpodrobnejší popis udalosti a v prípade potreby bude obsahovať i číslo kontrolovaného výrobku a číslo výrobnéj dávky, ku ktorej daný výrobok patrí.

4 SKUTOČNÉ RIEŠENIE

Na základe vyššie popísanej špecifikácie systému bol externou firmou skonštruovaný systém pre vizuálnu kontrolu s použitím priemyselných kamier Cognex a špeciálneho LED osvetlenia, ktorý bol implementovaný do meracieho zariadenia. Mnou bol vytvorený SW ProcessControl.Vision pre každú kamerovú stanicu.

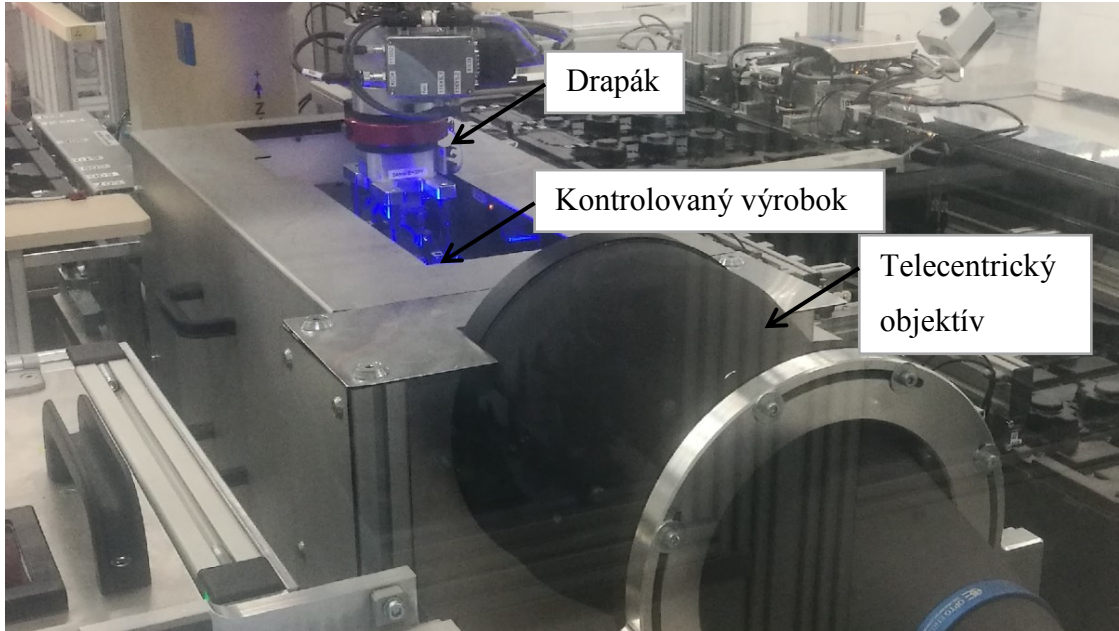
4.1 HW komponenty kamerovej kontroly

Tri navrhované stanice vizuálnej kontroly sú reprezentované 3 kamerami s objektívmi ako bolo navrhnuté v predchádzajúcej kapitole tejto diplomovej práce. Kamery sú umiestnené v dvoch komorách. Prvá komora obsahuje jednu kameru s objektívom a osvetlením pre snímanie obrazu zhora, pričom kontrolovaný výrobok je uložený na nosiči a počas snímania je nosič zastavený v presnej pozícii pod kamerou (Obr. 44).



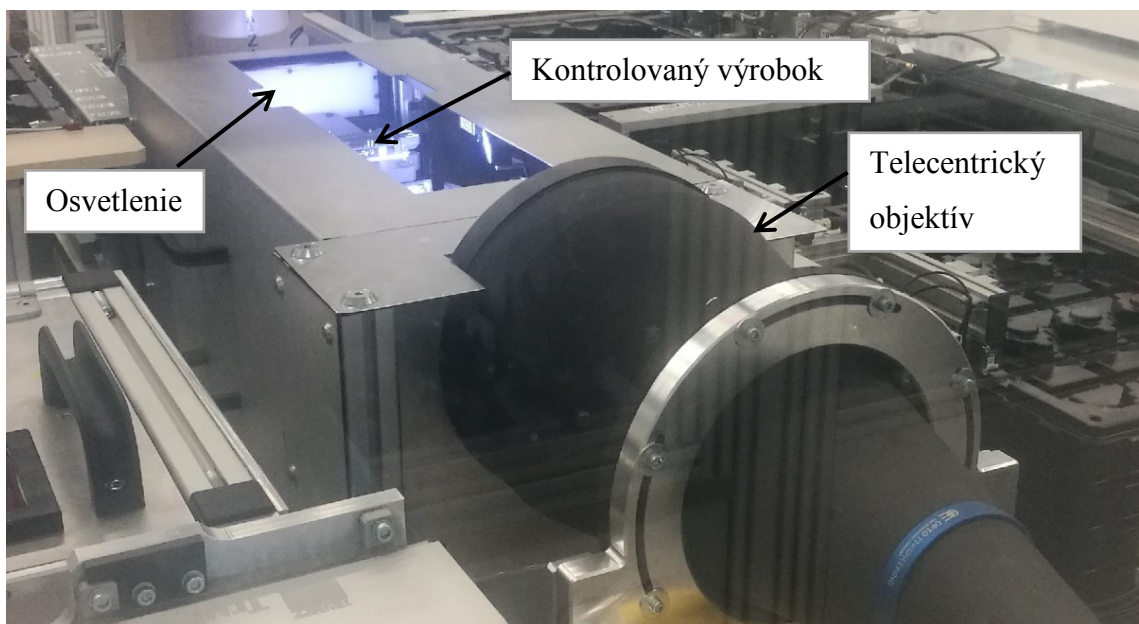
Obr. 44 Prvá komora – situácia: výrobok kontrolovaný z vrchu

Druhá, väčšia komora obsahuje kamery dve. Jednu pre snímánie z boku a druhú pre snímánie zo spodku. Pri snímáaní zo spodku je kontrolovaný výrobok nesený v drapáku robota, ktorý zastavuje s výrobkom v požadovaných pozíciách nad kamerou (Obr. 45).



Obr. 45 Druhá komora – situácia: výrobok kontrolovaný zo spodku

Následne je výrobok robotom odložený na kontrolný stolík, kde kontrolovaný výrobok zosnímaný z boku v dvoch krokoch. V prvom kroku je použité predné osvetlenie, aby boli čitateľné popisy na prednej strane kontrolovaného výrobku. V druhom kroku je použité protisvetlo pre vykreslenie obrysu kontrolovaného výrobku (Obr. 46).

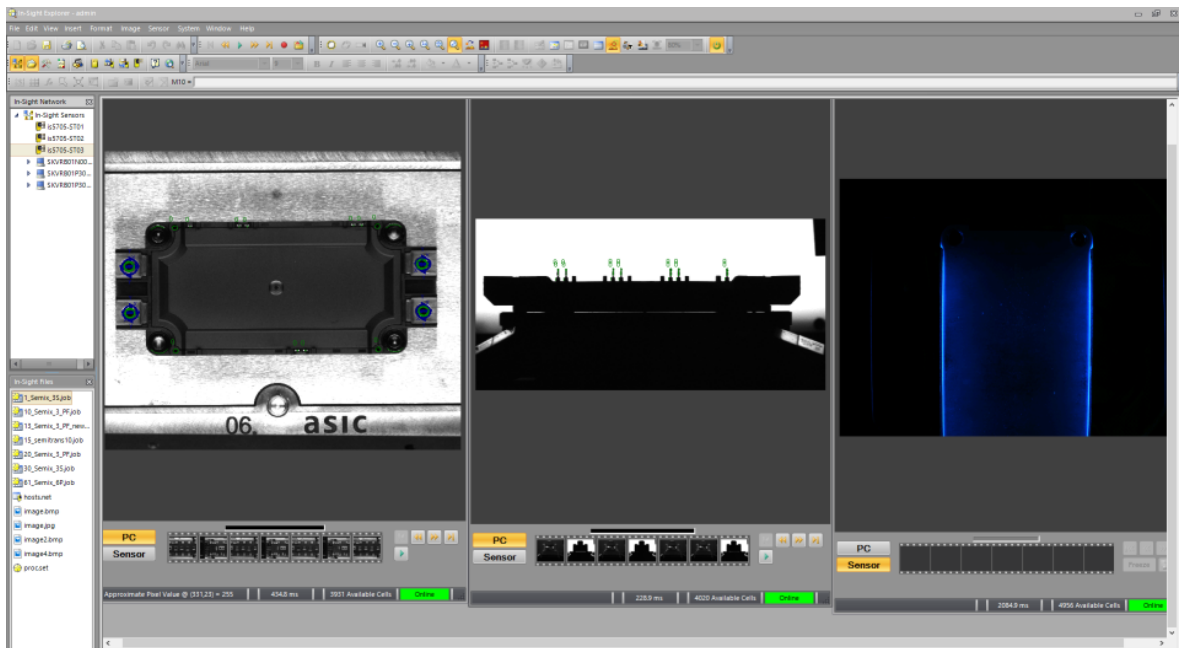


Obr. 46 Druhá komora – situácia: výrobok kontrolovaný z boku

4.2 Programovanie a vizualizácia kamerových kontrol

Dodávateľ kamerového systému vytvoril na základe mojich požiadaviek vizualizáciu, ktorá slúži na sledovanie stavu jednotlivých kontrol v reálnom čase. Vizualizácia je vytvorená v programe InSight Explorer, ktorý sa používa i pre vytváranie kamerových programov. Pre zobrazenie vizualizácie je použitý spreadsheet náhľad, ktorý umožňuje okrem zobrazovania výsledkov jednotlivých kontrol i vytváranie užívateľských prvkov ako napr. textové polia, alebo tlačidlá, ktoré môžu byť použité pre nastavovanie parametrov kamerových programov bez nutnosti vstupu do programovacieho prostredia kamerového systému (Obr. 47).

Počas fázy vývoja aplikácie ProcessControl.Vision bola veľmi často využívaná pre ladenie aplikácie a vyhľadávanie chýb v kontrolnom procese .



Obr. 47 Vizualizácia kamerových kontrol

Program InSight Explorer bol dodávateľom kamerového systému použitý i pre vytvorenie kontrolných programov na základe požiadaviek na kontrolu výrobkov popísaných v kapitole 2 tejto práce. Výsledky kontrolných programov budú pomocou PLC riadenia vizuálnej kontroly zapisované do MS SQL databázy a ďalej spracovávané aplikáciou, ktorú pre potreby kompletného vyhodnotenia kontrolovaného výrobku vytvorím.

4.3 ProcessControl.Vision

Aplikáciu ProcessControl.Vision som vytvoril ako aplikáciu typu Windows Form Application. Aplikácia je určená pre spracovanie údajov, ktoré uloží do MS SQL databázy PLC riadenie vizuálnej kontroly a následné celkové vyhodnotenie kontrolovaného výrobku. Aplikácia obsahuje nástrojovú lištu a formuláre, ktoré slúžia na zobrazovanie informácií o aktuálnej výrobnej dávke, kontrolovanom výrobku, stave procesu a stav premenných pre komunikáciu s PLC riadeniami (Obr. 48). V prípade použitia bez prihlásenia užívateľa sú všetky tieto informácie prístupné iba na čítanie, pre vyšší prístup je nutné prihlásenie pomocou tlačidla User Login.

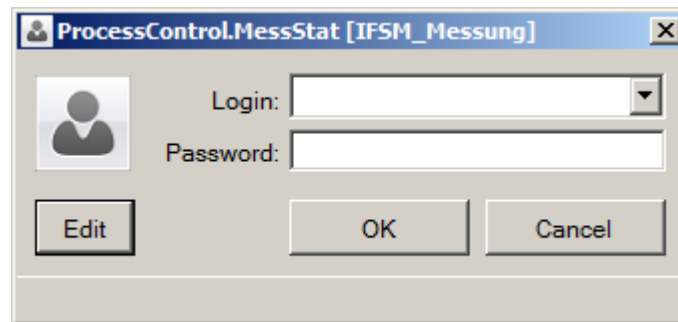
The screenshot displays the 'ProcessControl.VisionControl [Vision_Grundplatte]' interface. It features several panels:

- Process Data:** A table with columns 'Name' and 'Value'. It lists parameters such as JobNo (GR-2903-0554_1), ArticleNo (22400002-GS_SEM453GB12E4p), RecipeName (22400002 [V10]), Passed counter (19 of 22), Failed counter (3 of 22), ItemNo, ItemResult, TraceCode, CarrierId, CycleIndex / OrderIndex, and Cycle Time.
- Sequence Status:** Shows the current step and transition logic, such as 'S08: StepAcknowledgeItemNo: Handshake with PLC: Ack_ItemNo = Set_ItemNo / Ack_Ready = false / Set_Active = false / Set_Done = false / Set_Result = 0'.
- Logger Messages:** A log table with columns: Order, TimeStamp, Level, LoggerName, and RenderedMessage. It contains informational messages about station configuration and recipe selection.
- OPC Process Image:** A table showing real-time data from the PLC. It includes columns for Index, Name, Value, New Value, Unit, Description, Type, Quality, Timestamp, IsGood, IsWrite, IsCallBack, Address, and RefreshRate. The table lists various status variables like Set_Active, Set_Release, Ask_Release, Set_Active, Ask_Active, Set_Done, Ask_Done, Set_Fixed, Ask_Fixed, Set_Ready, and Ask_Ready.

Obr. 48 Uživatelské rozhranie

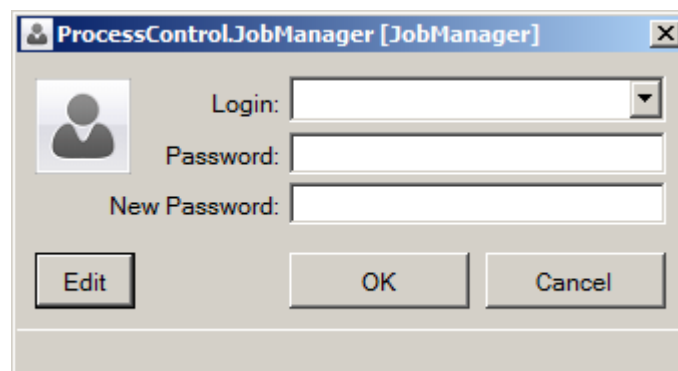
4.3.1 User Login

Po kliknutí na tlačidlo User Login v nástrojovej lište sa otvorí dialógové okno (Obr. 49), do ktorého môže byť vložené užívateľské meno a príslušné heslo. Pokiaľ je vložené správne užívateľské meno a heslo, všetky ostatné tlačidlá aplikácie sa stanú aktívne a je možné ich používať na základe pridelených užívateľských práv.



Obr. 49 User Login okno

Po kliknutí na tlačidlo Edit môže byť heslo aktuálne prihláseného užívateľa zmenené (Obr. 50). Aktuálne heslo musí byť vložené do poľa Password, nové heslo musí byť vložené do poľa New Password.



Obr. 50 Okno pre zmenu hesla

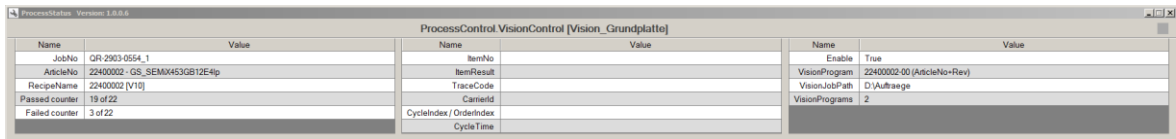
4.3.2 Resize

Po kliknutí na tlačidlo Resize v pravom hornom rohu sú všetky zobrazované okná zmenené na ich defaultnú veľkosť a pozíciu.

4.3.3 Process Status

Okno Process Status zobrazuje informácie o aktuálnej výrobnéj dávke, výrobku a konfigurácii. V ľavej tabuľke sú zobrazené informácie a aktuálnej výrobnéj dávke v zariadení. Konkrétne: číslo výrobnéj dávky, označenie výrobnéj dávky, názov nastavovacieho receptu a počty vyhovujúcich a nevyhovujúcich výrobkov pre danú stanicu. Prostredná tabuľka zobrazuje informácie o aktuálne procesovanom výrobku. A to: číslo výrobku, výsledok kontroly výrobku, trace kód, označenie nosiča, označenie indexu kontroly a čas doby spracovania. Pravá tabuľka zobrazuje informácie o aktuálne konfigurácii platnej pre danú kontrolnú stanicu.

Štvorec v pravej hornej časti okna zobrazuje výsledok kontroly aktuálne testovaného výrobku. Šedá farba znamená výrobok, ktorý zatiaľ nemá žiadny výsledok, zelená farba znamená výrobok s výsledkom kontroly OK a červená farba znamená výrobok s výsledkom kontroly NOK (Obr. 51).

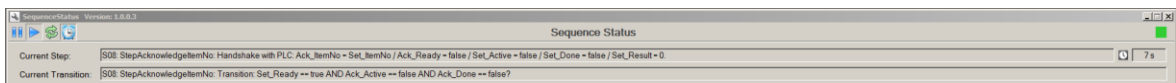


Name	Value	Name	Value	Name	Value
JobNo	QR 2903 0554_1	ItemNo		Enable	True
ArticleNo	22400002 - GS_SEM4H3GB12E4p	ItemResult		VisionProgram	22400002-00 (ArticleNo+Rev)
RecipeName	22400002 [V10]	TraceCode		VisionJobPath	D:\Autraege
Passed counter	19 of 22	Carriend		VisionPrograms	2
Failed counter	3 of 22	CycleIndex / OrderIndex			
		Cycle Time			

Obr. 51 okno Process Status

4.3.4 Sequence Status

Okno Sequence Status zobrazuje aktuálny stav hlavnej sekvencie. Sekvencia pozostáva z počtu krokov, ktoré sú vykonávané sekvenčne (Obr. 52).



Current Step:	Current Transition:
S00: StepAcknowledgementNo: Handshake with PLC: Ack_ItemNo = Set_ItemNo / Ack_Ready = false / Set_Active = false / Set_Done = false / Set_Result = 0	S00: StepAcknowledgementNo: Transition: Set_Ready == true AND Ack_Active == false AND Ack_Done == false?

Obr. 52 okno Sequence Status





Pole Current Step zobrazuje popis akcií, ktoré sú v aktuálnom kroku vykonávané.

Pole Current Transition zobrazuje popis podmienky pre skok k nasledujúcemu kroku.

Za poľom Current Step je zobrazený čas trvania aktuálneho kroku.

Štvorec v pravej hornej časti okna zobrazuje stav sekvencie nasledovne: ak je štvorec zelený sekvencia beží, ak je štvorec červený, sekvencia je v chybovom stave a bude po 10 sekundách automaticky reštartovaná a ak je štvorec žltej farby, tak je sekvencia pozastavená.

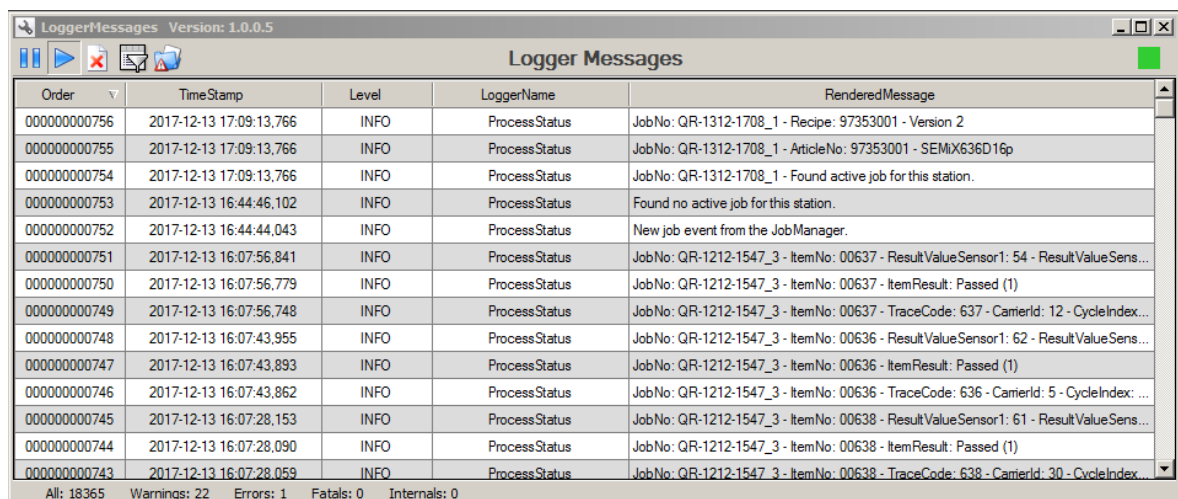
Pre použitie tlačidiel, ktoré sú v okne obsiahnuté je nutné prihlásenie užívateľa. Tieto tlačidlá môžu byť použité iba pre servis a testovaciu prevádzku. Popis funkcií tlačidiel je obsiahnutý v tabuľke (Tab. 5).

Ikona	Popis
	Zastavenie sekvencie. Žiadne akcie nie sú viac vykonávané.
	Pokračovanie sekvencie po to, ako bola zastavená.
	Reštartovanie sekvencie a vynútenie skoku späť na prvý krok sekvencie.
	Aktivovanie/deaktivovanie watchdog timeru. Pokiaľ je aktivované, watchdog timer je použitý pre určité kroky na kontrolu maximálnej doby trvania kroku. Pokiaľ je maximálna doba trvania kroku presiahnutá, je vytvorená varovná hláška. V niektorých prípadoch je sekvencia v takomto prípade reštartovaná. Pokiaľ je ikona zobrazená ako stlačená, watchdog timer je aktívny, toto je defaultná voľba.

Tab. 5 Popis funkcií v okne Sequence Status

4.3.5 Logger Messages

Okno Logger Messages zobrazuje správy z vybraných zdrojov. Oznámenia, varovania, chyby a výnimky zo všetkých zvolených zdrojov sú zobrazované a taktiež ukladané do logovacieho súboru (Obr. 53).










The screenshot shows the 'Logger Messages' application window with the following data:

Order	Time Stamp	Level	LoggerName	RenderedMessage
00000000756	2017-12-13 17:09:13,766	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1312-1708_1 - Recipe: 97353001 - Version 2
00000000755	2017-12-13 17:09:13,766	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1312-1708_1 - ArticleNo: 97353001 - SEMIX636D16p
00000000754	2017-12-13 17:09:13,766	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1312-1708_1 - Found active job for this station.
00000000753	2017-12-13 16:44:46,102	INFO	ProcessStatus	Found no active job for this station.
00000000752	2017-12-13 16:44:44,043	INFO	ProcessStatus	New job event from the JobManager.
00000000751	2017-12-13 16:07:56,841	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00637 - ResultValueSensor1: 54 - ResultValueSens...
00000000750	2017-12-13 16:07:56,779	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00637 - ItemResult: Passed (1)
00000000749	2017-12-13 16:07:56,748	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00637 - TraceCode: 637 - CarrierId: 12 - CycleIndex: ...
00000000748	2017-12-13 16:07:43,955	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00636 - ResultValueSensor1: 62 - ResultValueSens...
00000000747	2017-12-13 16:07:43,893	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00636 - ItemResult: Passed (1)
00000000746	2017-12-13 16:07:43,862	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00636 - TraceCode: 636 - CarrierId: 5 - CycleIndex: ...
00000000745	2017-12-13 16:07:28,153	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00638 - ResultValueSensor1: 61 - ResultValueSens...
00000000744	2017-12-13 16:07:28,090	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00638 - ItemResult: Passed (1)
00000000743	2017-12-13 16:07:28,059	INFO	ProcessStatus	JobNo: QR-1212-1547_3 - ItemNo: 00638 - TraceCode: 638 - CarrierId: 30 - CycleIndex: ...

Summary statistics at the bottom: All: 18365 Warnings: 22 Errors: 1 FataIs: 0 Internals: 0

Obr. 53 okno Logger Messages

Maximálny počet správ je 1000, pokiaľ je toto číslo prekročené, najstaršie správy budú vymazané. Popis funkcií tlačidiel v nástrojovej lište je uvedený v tabuľke (Tab. 6).

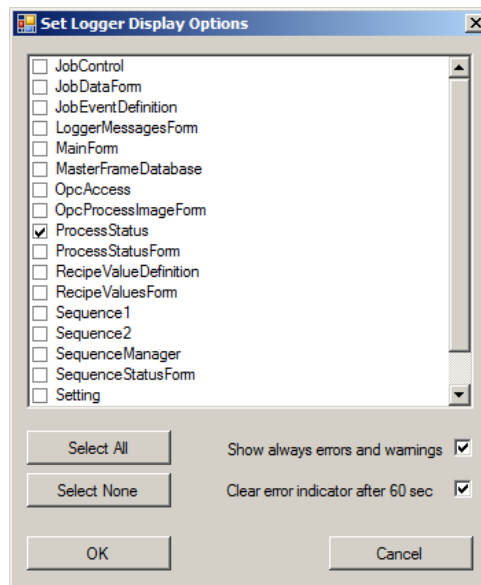
Ikona	Popis
	Pozastavenie záznamu správ. Všetky novo prichádzajúce správy budú odmietnuté. Pokiaľ je symbol zobrazený ako stlačený, žiadne záznamy nebudú zaznamenávané.
	Spustenie záznamu správ (default). Varovania, chyby, výnimky a správy zo všetkých zvolených zdrojov budú zobrazované
	Otvorenie priečinkov s logovacími súbormi.
	Vymazanie všetkých zobrazených správ
	Tento symbol je zobrazený iba vtedy, ak bola zaznamenaný varovný záznam. Tento indikátor bude automaticky vymazaný po 60 sekundách, alebo po kliknutí na toto tlačidlo.
	Tento symbol je zobrazený iba vtedy, ak bola zaznamenaný chybový záznam. Tento indikátor bude automaticky vymazaný po 60 sekundách, alebo po kliknutí na toto tlačidlo.
	Zobrazenie nastavovacieho okna pre výber zdrojov pre záznamy.

Tab. 6 Popis funkcií tlačidiel v okne Logger Messages

Nastavovacie okno pre výber zdrojov pre záznamy

V tomto okne môžu byť zvolené zdroje, pre ktoré budú v Logger Messages zobrazované záznamy (Obr. 54). Každý z nich je v podstate jednou triedou v zdrojovom kóde. Záznam ProcessStatus je defaultne zvolený. Záznamy Sequence a SequenceManager je vhodné použiť pre monitorovanie vykonávaných krokov a ich trvanie. Pokiaľ je zvolená možnosť Show always errors and warnings, všetky varovania, chyby, správy a výnimky sú zobrazované nezávisle od toho, ktoré zdroje sú zvolené. Pokiaľ je zvolená voľba Clear error indi-

cator after 60 sec., tak indikátor chyby bude po jednej minúte automaticky zmazaný. Tieto nastavenia nebudú uložené, po reštarte sa nastavia ich štandardné hodnoty.



Obr. 54 Nastavovacie okno




4.3.6 OPC Process Image

Toto okno zobrazuje všetky premenné, ktoré sa používajú na komunikáciu s PLC riadením stroja (Obr. 55). Služi najmä na testovacie a servisné účely. V prípade potreby je možné pre hociktorú premennú nastaviť novú hodnotu pomocou stĺpca New value.

Index	Name	Value	New Value	Unit	Description	Type	Quality	Timestamp	Read	Write	Alarm	Address	Index
165	IFSM_Messung_Ack_ProcessFailedItems	False				Bool	G...	13.12.2017 16...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
166	IFSM_Messung_Set_EnableCylinder1	True				Bool	G...	01.01.0001 00...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
167	IFSM_Messung_Ack_EnableCylinder1	True				Bool	G...	13.12.2017 16...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
168	IFSM_Messung_Set_EnableCylinder2	False	True			Bool	G...	01.01.0001 00...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
169	IFSM_Messung_Ack_EnableCylinder2	False				Bool	G...	13.12.2017 15...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
170	IFSM_Messung_Set_AdapterType					St...	G...	01.01.0001 00...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
171	IFSM_Messung_Ack_AdapterType					St...	G...	13.12.2017 15...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
172	IFSM_Messung_Set_AdapterTypeDescription					St...	G...	01.01.0001 00...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
173	IFSM_Messung_Ack_AdapterTypeDescription					St...	G...	13.12.2017 15...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
174	IFSM_Messung_Set_FailedItemsInARow	3				Int...	G...	01.01.0001 00...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
175	IFSM_Messung_Ack_FailedItemsInARow	3				Int...	G...	13.12.2017 15...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...
176	IFSM_Messung_Set_FailedItemsMax	10				Int...	G...	01.01.0001 00...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPC.SimaticNET.S7...	5...

Obr. 55 okno OPC Process Image

Význam tlačidiel na nástrojovej lište je popísaný v Tab. 7 Popis funkcií tlačidiel v okne OPC Process Image

Ikona	Popis
	Pozastavenie zobrazovania reálnych hodnôt OPC premenných (default).
	Spustenie zobrazovania reálnych hodnôt OPC premenných, táto funkcia by mala byť aktívna iba po nevyhnutne dlhú dobu pre zvýšenú komunikačnú prevádzku.
	Zápis jednej, alebo viacero OPC premenných do PLC riadenia stroja, pokiaľ boli vložené do poľa New value.

Tab. 7 Popis funkcií tlačidiel v okne OPC Process Image

4.4 Zobrazovanie výsledkov kontrol

Výsledky jednotlivých kontrol sú v reálnom čase zobrazované v aplikácii ProcessControl.Vision v okne Process Status. Detailné výsledky jednotlivých kontrol sú uložené vo výsledkových tabuľkách databázy pre vizuálnu kontrolu. Každý záznam obsahuje i cestu k uloženému obrázkovému súboru. Tento súbor môže byť použitý pre detailnú analýzu kontrolovaného výrobku. Pokiaľ je obrázok otvorený v programe InSight Explorer, je možné na ňom vykonať kroky kamerovej kontroly a zistiť ich výsledky. Prístup k detailným výsledkom z výsledkových tabuliek nezabezpečuje aplikácia ProcessControl.Vision, ale externá aplikácia, ktorú nebudem v tejto práci ďalej popisovať.

4.5 Archivácia dát

Keďže výsledkové databázy sú uložené na lokálnom disku PC, musia byť všetky výsledkové dáta archivované. Pre archiváciu výsledkových dát sa vytvára záznam na úrovni výrobnjej dávky v centrálnom úložisku dát o meraných obežníkoch, kde je archivovaný po dobu 30 rokov. Tento systém nie je súčasťou tejto diplomovej práce a preto ho ďalej nebudem popisovať.

Keďže tento server je umiestnený mimo priestor priemyselného podniku, sú dáta doň prenášané pomocou siete internet. Vzhľadom na túto skutočnosť nie je možné prenášať do tohto systému veľké objemy dát, akými sú sady obrázkov vo formáte bmp a rozlíšení 5

MPx, čítajúce viac ako 4000 ks na výrobnú dávku. Z tohto dôvodu sú obrázky archivované na serveri umiestnenom v priestoroch priemyselného podniku. Obrázky sú pre potrebu archivácie komprimované do formátu jpg o veľkosti $\frac{1}{4}$ pôvodného rozlíšenia. Prenos dát je vykonávaný dávkovo po uplynutí stanovenej doby a po skopírovaní sú tieto dáta z lokálneho disku počítača vymazané. Prístup k týmto obrázkom je pomocou externej aplikácie pre zobrazovanie výsledkov popísanej v kapitole 4.4 tejto práce.

4.6 Test funkčnosti výslednej realizácie

Testovanie funkčnosti systému automatickej vizuálnej kontroly výrobkov prebiehalo vo fáze uvoľňovania zariadenia do prevádzky v priemyselnom podniku. Testy prebiehali na vzorových výrobkoch, ktoré boli zámerne poškodené. Systém automatickej vizuálnej kontroly výrobkov musel opakovane vyhodnotiť všetky výrobky podľa definovanej chyby. Na základe úspešnosti týchto testov bolo zariadenie uvoľnené pre sériovú výrobu v priemyselnom podniku. Výsledok testov je možné vidieť v Prílohe IV.

ZÁVĚR

Cieľom tejto diplomovej práce bol návrh a realizácia automatickej optickej kontroly výrobkov.

V teoretickej časti som popísal teoretické východiská optickej kontroly výrobkov, ich vzájomné porovnanie a popis jednotlivých prostriedkov a metód.

V praktickej časti som popísal vlastnosti výrobkov, ktoré majú byť automatickým optickým inšpekčným systémom kontrolované. Navrhol som, na základe testov v spolupráci s firmou MTS, ktorá bola i dodávateľom optického systému pre samotnú realizáciu, komponenty pre budúcu realizáciu projektu. Taktiež som navrhol aplikáciu pre riadenie a zber dát vykonávanej kontroly, ktorá bude obsahovať i komunikačné rozhrania s PLC riadením stroja v ktorom bude automatický optický inšpekčný systém integrovaný a PLC riadením samotného optického systému. Aplikácia má názov ProcessControl.Vision.

Aplikácia ProcessControl.Vision je Windows Form aplikácia napísaná v jazyku C#, má sekvenčnú štruktúru, používa externé knižnice a pre ukladanie dát používa MS SQL databázu.

Výsledkom tejto práce je plne funkčný automatický optický inšpekčný systém, ktorý dokáže odhaliť definované vady na kontrolovaných výrobkoch. Automatický optický systém je integrovaný v stroji (väčšom celku), jeho výstupom sú výsledky jednotlivých kontrol uložené v MS SQL databáze a sumárny výsledok jednotlivých kontrol odosielaný riadiciemu PLC stroja, ktorý na základe týchto výsledkov určuje ďalšie spracovanie kontrolovaných výrobkov.

Pre budúci rozvoj tejto aplikácie by som odporúčal použiť modernejšiu vyhodnocovaciu metódu pre kamerový systém na základe použitia neurónových sietí. Táto je na rozdiel od použitej sekvenčnej metódy oveľa presnejšia a je schopná sa prispôbovať drobným vizuálnym odchýlkam na kontrolovaných častiach výrobkov, ktoré občas vznikajú a sú zapríčinené buď v nepresných výrobných postupoch pri výrobe výrobkov u subdodávateľov, alebo príčinou starnutia materiálov pri dlhšom skladovaní.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] „Strojové vidění,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/strojove-videni/>. [Cit. 24 02 2019].
- [2] „Explain the process of image acquisition,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://legendtechz.blogspot.sk/2013/03/5-explain-process-of-image-acquisition.html>. [Cit. 26 02 2019].
- [3] Keyence, „Lenses #1,“ 2010. [Online]. Dostupné na internete: https://www.keyence.eu/mykeyence/downloadFromDLList?downloadAssetId=AS_43234&downloadZipFlag=0. [Cit. 15 03 2019].
- [4] „Telecentric lenses tutorial,“ [Online]. Dostupné na internete: <https://www.optoe.com/resources/telecentric-lenses-tutorial>. [Cit. 26 2 2019].
- [5] Keyence, „Lenses #2,“ 2010. [Online]. Dostupné na internete: https://www.keyence.eu/mykeyence/downloadFromDLList?downloadAssetId=AS_43237&downloadZipFlag=0. [Cit. 15 03 2019].
- [6] ABBAS, „Osvětlovače pro strojové vidění,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/>. [Cit. 26 2 2019].
- [7] Keyence, „Lighting,“ 2011. [Online]. Dostupné na internete: https://www.keyence.eu/mykeyence/downloadFromDLList?downloadAssetId=AS_63635&downloadZipFlag=0. [Cit. 15 03 2019].
- [8] ABBAS, „Plošné osvětlovače,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/plosne/>. [Cit. 26 02 2019].
- [9] ABBAS, „Kruhové osvětlovače,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/kruhove/>. [Cit. 26 02 2019].
- [10] ABBAS, „Osvětlovače temného pole,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/temneho-pole/>. [Cit. 26 02 2019].
- [11] ABBAS, „Osvětlovače bezestínové,“ [Online]. Dostupné na internete: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/bezestinove-dome/>. [Cit. 26 02 2019].

- [12] Keyence, „Preprocessing,“ 2011. [Online]. Dostupné na internete: https://www.keyence.eu/mykeyence/downloadFromDLList?downloadAssetId=AS_43237&downloadZipFlag=0. [Cit. 15 03 2019].
- [13] Posterus.sk, „PLC a ich programovanie,“ 21 04 2010. [Online]. Dostupné na internete: <http://www.posterus.sk/?p=6903>. [Cit. 23 03 2019].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Resp.	Restektíve.
PLC	Programmable Logic Controller.
SW	Software.
Atdʹ.	A tak dʹalej.
o.i.	Okrem iného.
DMx	Data Matrix Code.
t.j.	To je.
tzv.	Tak zvanej
TCP/IP	Transfer Control Protocol/ Internet Protocol
PVI	PLC Variable Interface
OPC	Open Platform Communications
Tzv.	Tak zvaný
LED	Light Emited Diode
MS	Microsoft
IP	Internet Protocol
DHCP	Dynamic Host Control Protocol
IPC	Industrial PC
TB	TeraByte
GUI	Graphic User Intergace
SQL	Structured Query Language
OCR	Optical Character Recognition
MPx	MegaPixel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Princíp snímania obrazu [2].....	14
Obr. 2 Porovnanie snímania objektov normálnym a telecentrickým obejktívom [3].....	15
Obr. 3 Grafické znázornenie charakteristík objektívu [3]	15
Obr. 4 Typy skreslenia [5]	16
Obr. 5 Princíp úpravy svetla pomocou polarizačnej dosky [7].....	18
Obr. 6 Príklad plošného osvetľovača [8]	19
Obr. 7 Príklad kruhového osvetľovača [9]	19
Obr. 8 Príklad osvetľovača na vytvorenie tmavého poľa [10].....	20
Obr. 9 Príklad beztieňového osvetľovača [11]	20
Obr. 10 Príklad predspracovania obrazu – redukcia šumu pre jasnejší	21
Obr. 11 Príklad predspracovania obrazu [12].....	22
Obr. 12 Príklad Averaging filtra [12]	23
Obr. 13 Príklad Median filtra [12]	23
Obr. 14 Príklad Sobel filtra [12]	24
Obr. 15 Extrakcia elementov iba jednej farby [12]	24
Obr. 16 Príklad Gray-scale processing [12].....	25
Obr. 17 bloková schéma vnútornej štruktúry PLC [13].....	26
Obr. 18 Príklad výrobkov priemyselného podniku.....	28
Obr. 19 Prehľad produktov na kontrolu, zľava Produkt1, Produkt2, Produkt3	30
Obr. 20 Produkt1 kontrolované časti – pohľad z vrchu	31
Obr. 21 Produkt1 kontrolované časti – pohľad z boku	32
Obr. 22 Produkt1 kontrolované časti – pohľad zo spodku	32
Obr. 23 Produkt2 kontrolované časti – pohľad z vrchu.....	33
Obr. 24 Produkt2 kontrolované časti – pohľad z boku	34
Obr. 25 Produkt2 kontrolované časti – pohľad zo spodku	34
Obr. 26 Produkt3 kontrolované časti – pohľad z vrchu	35
Obr. 27 Produkt3 kontrolované časti – pohľad z boku	36
Obr. 28 Produkt3 kontrolované časti – pohľad zo spodku	36
Obr. 29 návrh Meracie zariadenie.....	39
Obr. 30 návrh Stanica optickej kontroly – kontrola z boku.....	40
Obr. 31 Prepojenie jednotlivých HW prvkov	42
Obr. 32 Porovnanie snímok entocentrický vs. telecentrický objektív	43

Obr. 33 Test Produkt1 pomocou navrhovaného HW	43
Obr. 34 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW	44
Obr. 35 Test nasnímania Produkt1 pomocou navrhovaného HW	44
Obr. 36 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW	44
Obr. 37 Test nasnímania Produkt1 pomocou navrhovaného HW	45
Obr. 38 Test nasnímania Produkt2 pomocou navrhovaného HW	45
Obr. 39 Test nasnímania kontrolovaného výrobku pomocou navrhovaného HW	46
Obr. 40 Solution tree.....	47
Obr. 41 Schéma komunikačného prepojenia	51
Obr. 42 Priebeh signálov medzi aplikáciou a PLC riadením zariadenia	55
Obr. 43 Priebeh signálov medzi aplikáciou a PLC riadením vizuálnej kontroly	55
Obr. 44 Prvá komora – situácia: výrobok kontrolovaný z vrchu.....	59
Obr. 45 Druhá komora – situácia: výrobok kontrolovaný zo spodku.....	60
Obr. 46 Druhá komora – situácia: výrobok kontrolovaný z boku	60
Obr. 47 Vizualizácia kamerových kontrol	61
Obr. 48 Užívateľské rozhranie.....	62
Obr. 49 User Login okno	63
Obr. 50 Okno pre zmenu hesla	63
Obr. 51 okno Process Status	64
Obr. 52 okno Sequence Status	64
Obr. 53 okno Logger Messages	65
Obr. 54 Nastavovacie okno.....	67
Obr. 55 okno OPC Process Image	67

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Relatívne porovnanie parametrov svetelných zdrojov [7].....	18
Tab. 2 Počet reklamácií	29
Tab. 3 Zoznam aplikácií ProcessControl.Vision	47
Tab. 4 Popis premenných v súbore Settings.xml.....	50
Tab. 5 Popis funkcií v okne Sequence Status	65
Tab. 6 Popis funkcií tlačidiel v okne Logger Messages	66
Tab. 7 Popis funkcií tlačidiel v okne OPC Process Image	68

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NASTAVOVACÍ XML SÚBOR

PŘÍLOHA P II: NASTAVOVACÍ XML SÚBOR PRE OPC KOMUNIKÁCIU

PŘÍLOHA P III: LOG SÚBOR

PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDOK TESTU FUNKČNOSTI RIEŠENIA

PŘÍLOHA P I: NASTAVOVACÍ XML SÚBOR

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <Setting xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
3 xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
4   <OpcItemsFileName>OpcItems.xml</OpcItemsFileName>
5   <StationName>Vision_Beschriftung</StationName>
6   <StationNr>1</StationNr>
7   <DatabaseConnectionString>Data Source=Master\SQLEXPRESS;Initial
8   Catalog=MFDatabase;Integrated Security=True</DatabaseConnectionString>
9   <ScrapCode>Vision_PinMutter</ScrapCode>
10  <VisionIpAddress>84.90.1.1</VisionIpAddress>
11  <VisionIpPort>2220</VisionIpPort>
12  <VisionDatabaseConnectionString>Data Source=84.90.1.10,1433\SQLEXPRESS;
13  Initial Catalog=Se; User id=user; Password=pass;
14  MultipleActiveResultSets=true</VisionDatabaseConnectionString>
15  <VisionPathJobs>D:\Auftraege</VisionPathJobs>
16  <Simulation>false</Simulation>
17  <SimulationTime>1</SimulationTime>
18 </Setting>
19
20
```

PŘÍLOHA P II: NASTAVOVACÍ XML SÚBOR PRE OPC KOMUNIKÁCIU

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <ItemDefinition xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
3   <Discovery>
4     <!--The Siemens OpC UA server-->
5     <DiscoveryUrl>opc.tcp://192.168.2.1:55101</DiscoveryUrl>
6   </Discovery>
7   <!-- Servers -->
8   <Servers>
9     <Server>
10      <Name>OPC.SimaticNET.S7</Name>
11      <Protocol>opc.tcp</Protocol>
12      <Host>MasterPC</Host>
13      <Port>55101</Port>
14      <Namespace>S7:</Namespace>
15      <Security>[Basic128, Rsa15]</Security>
16      <SecurityUrl>http://opcfoundation.org/UA/SecurityPolicy#Basic128Rsa15</SecurityUrl>
17      <SubscriptionName>MonitoredItemsSubscription</SubscriptionName>
18      <PublishingInterval>50</PublishingInterval>
19      <HardcodedIP>192.168.2.1</HardcodedIP>
20    </Server>
21  </Servers>
22  <!-- Items -->
23  <Items>
24    <!-- Set_Alive -->
25    <Item>
26      <Name>Set_Alive</Name>
27      <ServerName>OPC.SimaticNET.S7</ServerName>
28      <Connection>Z105</Connection>
29      <Address>db423.0,x0</Address>
30      <Type>Bool</Type>
31      <Unit></Unit>
32      <Description>PC -> PLC</Description>
33      <IsRead>false</IsRead>
34      <IsWrite>true</IsWrite>
35      <IsMonitored>false</IsMonitored>
36      <SamplingInterval>50</SamplingInterval>
37      <ServerHandle />
38    </Item>
39    <!-- Ack_Alive -->
40    <Item>
41      <Name>Ack_Alive</Name>
42      <ServerName>OPC.SimaticNET.S7</ServerName>
43      <Connection>Z105</Connection>
44      <Address>db423.0,x1</Address>
45      <Type>Bool</Type>
46      <Unit></Unit>
47      <Description>PLC -> PC</Description>
48      <IsRead>false</IsRead>
49      <IsWrite>false</IsWrite>
50      <IsMonitored>true</IsMonitored>
51      <SamplingInterval>50</SamplingInterval>
52      <ServerHandle />
53    </Item>
54  </Items>
55 </ItemDefinition>
```


PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDOK TESTU FUNKČNOSTI RIEŠENIA

Visual inspection evaluation of MZ23, Produkt2		
Dept./Cost./Prod: SPS	Op.Name: Tomáš Michálek	Date: 30.11.2018

Number of Runs / Lots: 5
Article no.: 16786993, family Produkt2
Article description: Produkt2
No. of Runs / Lots: QR-1511-0733, QR-1511-0758, QR-1511-0834, QR-1511-0859, QR-1511-0923
Quantity of samples in one Run / Lot: 36
Description of samples: Samples were prepared by QMDL. Targeted mechanically damaged, deliberately misrepresented data in the laser description or damaged description. There were also undamaged modules inserted between them. A description of the specific damage is given in the evaluation table.
Tests description: Visual Inspection Station No.1 from above: Check for the presence of rivets, nuts, bends in auxiliary terminals. Visual Inspection Station No.2 from the side: check the lasering quality and information on label of the laser description, the height of the rivets, the height of the main inlets, the height and the bend of the auxiliary terminals. Visual Inspection Station No.3 from below: Checking the base plate for damage. The evaluation demonstrates the success of the correct evaluation in all runs for a particular damage for each sample.

Evaluation table:

Sample ID	Simulated damage	Description	Percentage of correct evaluation
25	DMX 26, RE	Inspection from side for DMX and R content	100%
26	Date Code	Inspection from side for Date Code content	100%
27	DMX 54	Inspection from side for DMX content	100%
28	Auxiliary Terminal 7, 6, 2, 1	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 7, 6, 2, 1.	100%
29	Auxiliary Terminal 8, 9	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 8, 9.	100%
30	Auxiliary Terminal 7	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 7.	100%
31	Auxiliary Terminal 6	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 6.	100%
32	Auxiliary Terminal 5	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 5.	100%

Sample ID	Simulated damage	Description	Percentage of correct evaluation
33	Auxiliary Terminal 4	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 4.	100%
34	Auxiliary Terminal 3	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 3.	100%
35	Auxiliary Terminal 2	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 2.	100%
36	Auxiliary Terminal 1	Inspection from side for height and bents of the auxiliary Terminal 1.	100%
37	Nut Main Terminal 4	Inspection from above of presence of Main Terminal 4 nut.	100%
38	Nut Main Terminal 3	Inspection from above of presence of Main Terminal 3 nut.	100%
39	Nut Main Terminal 2	Inspection from above of presence of Main Terminal 2 nut.	100%
40	Nut Main Terminal 1	Inspection from above of presence of Main Terminal 1 nut.	100%
41	Rivet 4, Logo Semix	Inspection from side for presence of the Rivet 4 a SK Logo.	100%
42	Rivet 3, Height Main terminal 1, 3	Inspection from side for presence of the Rivet 3 and height of the Main terminals 1, 3.	100%
43	Rivet 2, Height Main Terminal 2, 4	Inspection from side for presence of the Rivet 2 and height of the Main terminals 2, 4.	100%
44	Rivet 1	Inspection from above for presence of the Rivet No.1.	100%
45	Wiring Diagram. R Text	Inspection from side of the circuit diagram and R content.	100%
46	Wiring Diagram, UL Logo	Inspection from side of the circuit diagram and UL Logo.	100%
47	SK Logo	Inspection from side of the SK logo.	100%
48	Module Description	Inspection from side of the module description.	100%
49	Rivet Height 1, 2, (3.4)	Inspection from side is possible only for rivets 1 and 2. Rivets 3 and 4 are out of inspection. In case of incorrect riveting, all rivets on both sides are incorrectly assembled.	100%
50	Baseplate	Inspection from below of the baseplate damage	100%
51	Baseplate	Inspection from below of the baseplate damage	100%
52	mechanically OK	Mechanically correct samples at all visual inspection stations.	100%
53	mechanically OK		100%
54	mechanically OK		100%
55	mechanically OK		100%
56	mechanically OK		100%

57	mechanically OK		100%
58	mechanically OK		100%
59	mechanically OK		100%
60	mechanically OK		100%