

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Návrh systému automatické optické
kontroly vrstevných rezistorů využívaných
v dopravních prostředcích a infrastruktuře**

Bakalářská práce

2024

Benjamín Linzmajer

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Benjamín Linzmajer**
Osobní číslo: **D21349**
Studijní program: **B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Elektrická trakce a elektromobilita**
Téma práce: **NÁVRH SYSTÉMU AUTOMATICKÉ OPTICKÉ KONTROLY VRSTVOVÝCH REZISTORŮ VYUŽÍVANÝCH V DOPRAVNÍCH PROSTŘEDCÍCH A INFRASTRUKTUŘE**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

Práce se bude zabývat návrhem systému pro automatickou optickou kontrolu vrstevných rezistorů, sloužící jako jedna z výstupních kontrol automatizované výrobní linky elektronických komponent využívaných v řídicích systémech dopravních prostředků a infrastruktury. Student se ve stati práce zaměří na vady součástek a metody, jak vady detekovat. Na základě požadavků výrobního závodu sestaví návrh kontrolní linky.

Úkoly řešené v rámci bakalářské práce:

- *Význam zavedení automatické optické inspekce pro zajištění požadavků automobilového průmyslu souvisejících se spolehlivostí dodávaných součástek*
- *Rešerše typů detekovatelných vad a testů, které se ve výrobě provádějí pro případ výstupních kontrol vrstevných rezistorů*
- *Popis zařízení, která se běžně ve výrobě pro kontrolu vad využívají*
- *Návrh vlastního řešení kontrolní linky vrstevných rezistorů na základě konkrétních požadavků výrobního závodu*
- *Analýza časové náročnosti kontroly*

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

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

Seznam doporučené literatury:

- MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce:

24. ledna 2024

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. května 2024

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Vítězslav Krčmář, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Návrh systému automatické optické kontroly vrstevných rezistorů využívaných v dopravních prostředcích a infrastruktuře jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13. 5. 2025

Benjamín Linzmajer v. r.

Poděkování

Při příležitosti uvedení této bakalářské práce bych rád poděkoval všem, kteří za mnou stáli při seznamování se s danou problematikou, při provádění testování a při sepisování tohoto dokumentu. Děkuji členům mé nejbližší rodiny za psychickou podporu, děkuji konzultantům firmy, pro kterou tato práce vznikla, za to, že mi neváhali věnovat čas i při svém už dost nabitém denním rozvrhu, a nakonec děkuji mému vedoucímu práce Ing. Ondřeji Sadílkovi, Ph.D. za velmi operativní, flexibilní a vstřícný přístup k mým možnostem a mému stylu práce.

Anotace

Tato práce se zaměřuje na návrh pracoviště automatické optické kontroly (AOI), a to pro konkrétní výrobek používaný v dopravních prostředcích a infrastruktuře. Práce vychází z principů FMEA, které také představuje, dále poskytuje přehled v současnosti používaných způsobů kontrol a systematizuje typové vady na zvoleném typu výrobku. V samotném závěru přináší na základě definovaných nároků na inspekční zařízení konkrétní návrh pracoviště AOI a zachycuje míru jeho dosavadní implementace.

klíčová slova

vrstvé rezistory, dopravní prostředky, FMEA, automatická optická kontrola, detekce vad, spolehlivost, keramika, vývody, zmetek, operátor

Title

Design of automatic optical inspection system of layer resistors used in vehicles and infrastructure

Abstract

The thesis focuses on the design of an Automatic Optical Inspection (AOI) workstation for the specific product used in transportation vehicles and infrastructure. The thesis is based on FMEA principles and also briefly introduces them, then provides an overview of the inspection methods currently in use and systematizes the type defects on the selected product type. Eventually, it presents a final design of an AOI workplace based on defined requirements for inspection equipment and captures the extent of its implementation up to date.

Keywords

layer resistors, transportation vehicles, FMEA, Automatic Optical Inspection, flaw detection, reliability, ceramics, outlets, reject, operator

Obsah

Seznam zkratk a pojmů.....	9
1 Úvod.....	10
2 Běžně používané způsoby detekce vad.....	11
2.1 Analýza vad a jejich dopadů (FMEA).....	11
2.1.1 Systém scoringu FMEA.....	11
2.1.2 Scoring pro spolehlivost detekce.....	11
2.2 Kontrola prováděná člověkem.....	14
2.3 Automatická optická kontrola (AOI).....	14
2.3.1 Přístupy systémů k vyhodnocování snímků.....	14
2.3.2 Přehled rozšířených firem nabízejících systémy automatické optické kontroly a příslušenství.....	15
3 Rešerše typů kontrolovaných vad.....	19
3.1 Požadavky na zařízení snímající výrobek a detekující vadu.....	19
3.1.1 Faktor osvětlení.....	19
3.1.2 Mechanická omezení.....	19
3.1.3 Ekonomický faktor.....	19
3.2 Vady tělíska.....	20
3.2.1 Neúplné lisování, lisování s prasklinami & cizí částičky ve výlisku.....	20
3.2.2 Lisovací hmota na keramice & znečištěná keramika.....	21
3.2.3 Prasklá nebo jinak mechanicky poškozená keramika.....	22
3.2.4 Posunutí keramiky.....	22
3.2.5 Vyštípnutá keramika.....	23
3.2.6 Přítomnost silikonové ochranné hmoty (RTV) na rozhraní tělíska a vývodů kusu.....	23
3.2.7 Otřepy lisování přesahující rozměr součástky po celém jejím obvodu.....	24
3.2.8 Otřep v montážním otvoru.....	24
3.3 Vady vývodů.....	25
3.3.1 Lisovací hmota & prosvítající měď v úrovni užité zóny vývodu.....	25
3.3.2 Otřepy po procesu jednotkového řezu.....	25
3.3.3 Zploštělé vývody.....	26
3.3.4 Deformované vývody.....	26
3.4 Kontrola potisku.....	27

4	Návrh vlastního řešení pracovišť AOI na kontrolní lince vrstvových rezistorů na základě konkrétních požadavků výrobního závodu	28
4.1	Požadavky výrobního závodu zadavatele a cíle návrhu	28
4.2	Návrh výběr kamer, objektivů a počtu jednotek zpracujících obraz	28
4.2.1	Popis režimů snímání kamery CA-H500.....	30
4.3	Návrh rozdělení kontroly vad do jednotlivých pracovišť a jejich popis.....	31
4.3.1	Backside	32
4.3.2	Frontside.....	34
4.3.3	Sides.....	34
4.3.4	OCR.....	36
4.3.5	Návrh počtu jednotek zpracujících obraz	38
4.3.6	Souhrn rozvržení jednotek, kamer, objektivů a světel na pracovištích.....	39
4.4	Fáze stavby kontrolní linky a její implementace do výroby	40
5	Časová analýza	41
6	Závěr.....	44
	Bibliografie.....	45

Seznam zkratk a pojmů

AOI	Automatic optic inspection – automatická optická inspekce
OCR	Optical Character Recognition – optické rozpoznávání znaků
RPN	Risk Priority Number – číslo priority rizika
RTV	silikonová ochranná vrstva
zmetek	vadný výrobek

1 Úvod

Jakýkoli produkt nelze vyrobit a uvést na trh, bez patřičných testů a zkoušek. Každý výrobek má své konkrétní parametry, které je třeba testovat jak z funkčního, tak bezpečnostního hlediska. Toto samozřejmě platí i pro elektrotechnický průmysl a výrobu, zaměřující se na produkty využívané v dopravních prostředcích a infrastruktuře. Mezi tyto produkty patří jak jednotlivé diskrétní součástky, integrované obvody, ale i kompletní elektronické sestavy. Cílem práce je analýza optické kontroly vrstvových rezistorů určených pro dopravní aplikace včetně návrhu modernizovaného pracoviště.

Problematika optického kontrolování vrstvových rezistorů je v dnešní době aktuálním tématem ve firmách zabývajících se jejich výrobou. S vývojem nového odvětví automobilového průmyslu (elektromobily) roste jak poptávka po elektrických komponentech do elektrických obvodů těchto vozidel, tak nároky na jejich spolehlivost. Aby výrobní závody vyrábějící tyto komponenty byly schopny pokrýt všechny zakázky svých zákazníků včetně zajištění požadované spolehlivosti, jsou nuceny zvýšit kapacitu výroby a zároveň zajistit zlepšení kontrolních mechanismů. Mají v podstatě dvě možnosti. První možností je zvětšení objemu výroby najmutím více zaměstnanců a postavením nové výrobní haly. Druhá možnost je optimalizace procesu produkce výrobku. Jednou částí procesu produkce výrobku je jeho vzhledová kontrola. V této práci se tedy budu zabývat právě vzhledovou kontrolou a porovnáním stávající metody optické kontroly výrobků s metodou automatické optické kontroly, významem zavedení této metody a návrhem pracovišť AOI na automatické kontrolní lince.

2 Běžně používané způsoby detekce vad

2.1 Analýza vad a jejich dopadů (FMEA)

Failure mode and Effect Analysis, analýza vad a jejich dopadů, je mezinárodně uznávaná analýza ke kontrolování výrobního procesu, odhalování možných vad a jejich následků. Dnes je FMEA běžně zahrnována do zákaznických požadavků na výrobek zvláště v automobilovém průmyslu, ale také v dalších odvětvích průmyslu. (2) (3)

2.1.1 Systém scoringu FMEA

Cílem každého výrobce je optimalizovat výrobní proces a jeho kontrolu tak, aby výrobek dosáhl co nejnižšího bodového hodnocení (RPN) při scoringu podle systému FMEA. Každá operace výrobního procesu může způsobit různé vady výrobku a každá vada je zvláště hodnocena, je jí přiřazeno skóre. Čím nižší hodnocení vady, tím roste garance výrobce, že dodaný kus zákazníkovi nebude touto vadou trpět. Jestliže je RPN pro vadu v rozsahu 0–100, nemusí se upravovat výrobní proces. Jestliže je RPN větší než 100, je potřeba optimalizovat výrobní nebo kontrolní procesy tak, aby se snížilo.

RPN vady se skládá ze součiny tří jednotlivých bodových ohodnocení (1 až 10). Ohodnocení závažnosti vady, ohodnocení rizika výskytu vady a ohodnocení potenciálu detekce (spolehlivost, že prováděná kontrola výrobku odhalí danou vadu). Skóre vady 1 tedy garantuje jistotu, že tato vada u výrobku nebude. Skóre vady 1000 naopak říká, že se tato vada na výrobku skoro jistě vyskytne a ani ji nebude možné odhalit.

2.1.2 Scoring pro spolehlivost detekce

Následující tabulka rozděluje různé způsoby kontrol do jednotlivých úrovní podle jejich možností odhalit vadu a přiřazuje jim patřičné bodové ohodnocení (sloupeček označený D) pro scoring.

FMEA přiřazuje automatizovaným metodám odhalování vad vysokou spolehlivost a bodové hodnocení 2, 3 nebo 4 podle toho, zdali se vada odhaluje před spuštěním výroby, přímo po provedení výrobního procesu a případné zabránění postupu vadného kusu k další výrobní operaci nebo pokud se vada detekuje v krocích následujících po výrobním procesu.

Tab. 1: Tabulka C2.4 – FMEA-P (D) (4)

Potenciál detekce (D) pro validaci návrhu procesu				
Opatření k odhalení se hodnotí s ohledem zralost metod a možnosti odhalování.				Prázdné, pro vyplnění uživatelem
D	Schopnost odhalit	Zralost metody odhalování	Možnost odhalování	Příklady specifické pro organizaci, nebo skupinu produktů
10	Velmi nízká	metoda zkoušení nebo kontroly není stanovena, nebo není známá	vadu není možno odhalit	
9		není pravděpodobné, že metoda kontroly, nebo zkoušení vadu odhalí	vadu lze odhalit náhodnými, nebo občasnými kontrolami s malou pravděpodobností	
8	Nízká	metoda zkoušení nebo kontroly nebyla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má malou, nebo žádnou zkušenost s metodou, výsledky R&R systém měření, jsou mezní na srovnatelných procesech nebo v dané aplikaci atd.)	kontrola člověkem (vzhledová, hmatová, sluchová), nebo užití ručního měření (atributivních, nebo spojitých veličin), která by měla odhalit vadu, nebo příčinu	
7		metoda zkoušení nebo kontroly byla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má zkušenost s metodou, výsledky R&R jsou u srovnatelných procesů nebo v tomto konkrétním případě použití přijatelné atd.)	odhalování pomocí technického zařízení (poloautomatická kontrola s potvrzením světelnou, nebo zvukovou signalizací atd.), nebo použití kontrolních zařízení jako např. souřadnicové měřicí zařízení, která by měla odhalit vadu, nebo příčinu vady	
6	Střední	metoda zkoušení nebo kontroly byla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má zkušenost s metodou, výsledky R&R jsou u srovnatelných procesů nebo v tomto konkrétním případě použití přijatelné atd.)	kontrola člověkem (vzhledová, hmatová, sluchová), nebo užití ručního měření (atributivních, nebo spojitých veličin), která odhalí vadu, nebo příčinu vady (včetně ověřování vzorků produktu)	
5		metoda zkoušení nebo kontroly byla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má zkušenost s metodou, výsledky R&R jsou u srovnatelných procesů nebo v tomto konkrétním případě použití přijatelné atd.)	odhalování pomocí technického zařízení (automatická kontrola s potvrzením světelnou, nebo zvukovou signalizací atd.) nebo použití kontrolních zařízení jako např. souřadnicové měřicí zařízení, která by měla odhalit vadu, nebo příčinu vady (včetně ověřování vzorků produktu)	

Potenciál detekce (D) pro validaci návrhu procesu				
Opatření k odhalení se hodnotí s ohledem zralost metod a možnosti odhalování.				Prázdné, pro vyplnění uživatelem
D	Schopnost odhalit	Zralost metody odhalování	Možnost odhalování	Příklady specifické pro organizaci, nebo skupinu produktů
4	Vysoká	systém se ukázal jako efektivní a spolehlivý (např. výrobní místo má zkušenost s metodou na identických procesech nebo v dané aplikaci), výsledky R&R systému měření jsou akceptovatelné atd.)	Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí vadu v následných krocích zpracování produktu, nebo identifikuje produkt jako neshodný, produkt postupuje procesem do místa vyřazení zamítnutých dílů, neshodný produkt bude kontrolován robustním systémem, který zabrání úniku vadných dílů z výroby.	
3			Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí vadu v pracovní stanici , zabrání dalšímu zpracování, nebo identifikuje produkt jako neshodný, produkt postupuje procesem do místa vyřazení zamítnutých dílů, neshodný produkt bude kontrolován robustním systémem, který zabrání úniku vadných dílů z výroby.	
2		metoda odhalování se ukázala jako efektivní a spolehlivý (např. výrobní místo má zkušenost s metodou, ověřování systému odolnosti proti chybám (error-proofing) atd.	Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí příčinu vady a zabrání vzniku vady (neshodný díl) před spuštěním výroby.	
1	Velmi vysoká	Díl s vadou se nedá fyzicky vyrobit, návrh produktu, nebo procesu, nebo metody odhalování prokázaly, že odhalí vadu, nebo příčinu prakticky vždy .		

Z tabulky a výše uvedeného je zřejmé, že převod optické kontroly výrobku z operátora na AOI výrazně zvyšuje potenciál detekce vady (rapidní snížení celkového skóre vady), tedy můžeme tvrdit, že zavedení AOI má výrazný vliv na spolehlivost výrobku.

Průzkum ve výrobním provozu, kde optickou kontrolu provádějí lidé, také ukázal na riziko, které do procesu vnáší lidský faktor. Tím je např. nedodržení předepsané doby délky kontroly operátorem. Zkrácení doby přibližně na polovinu (5 sekund/kus) znemožní řádné provedení kontroly. I tak kontrola jednoho kusu trvá operátorovi déle, než za kterou ho zkontroluje automatická kontrolní linka uvažovaná dále v této práci. Ta pracuje s délkou cyklu 4 sekundy/kus, přičemž nevynechá žádnou z požadovaných kontrol a všechny provede řádně.

2.2 Kontrola prováděná člověkem

Spolehlivost takto prováděné kontroly závisí na mnoha faktorech. Z toho důvodu je velmi proměnlivá, nestabilní. I v případě, že bude mít operátor ideální podmínky pro vykonávání kontroly (dostatečné osvětlení, ergonomické pracoviště, příjemnou teplotu, čerstvý vzduch), závisí detekce vad na dalších faktorech. Těmito faktory mohou být délka pracovní doby, četnost a délka přestávek, pozornost operátora, jednotvárnost pracovního úkonu, únava operátora (např. brzy po ránu nebo po obědě) a jeho poctivost a motivace k práci. Proto výsledná schopnost odhalit vadu prováděná člověkem podle FMEA dosahuje pouze úrovně 'Nízká' s bodovým ohodnocením 8.

Toto hodnocení by zlepšila dvojitá kontrola každého výrobku, tedy po první kontrole by byla provedena stejná kontrola ještě jednou jiným operátorem. Pro tento režim kontrolování samozřejmě platí všechny výše zmíněné faktory, nicméně ještě se přidává faktor lidské ješitnosti. Pro některé lidi je ponížující, aby jimi zkontrolované výrobky kontroloval ještě někdo další. Lidé také běžně nechtějí vykonávat zbytečnou práci, a proto provádění stejného úkonu, který už předtím vykonal někdo jiný, také může zhoršovat vztah k práci operátora. Pro zaměstnavatele tento způsob navíc znamená dvojnásobné výdaje na detekci vady. Když tedy zvážíme tyto faktory, dostane se bodové ohodnocení odhadem na 6 (FMEA neudávají převod bodového ohodnocení při dvojitě kontrole, toto je odhad vycházející z pozorování z provozu) při dvojnásobných výdajích a nutností potýkat se s nespokojeností operátorů. (1)

2.3 Automatická optická kontrola (AOI)

2.3.1 Přístupy systémů k vyhodnocování snímků

Automatická optická kontrola používá algoritmů nastavených tak, aby vyhodnotily snímek sejmutý kamerou a rozhodli, zda je kus na snímku v pořádku, nebo jestli se jedná o zmetek. Používají se systémy dvou základních typů. Kamery s umělou inteligencí (včetně deep learning) a deterministický systém.

Kamery s automatickou inteligencí mají schopnost učit se. Kameře se předkládají kusy, které jsou v pořádku, ona je snímá a systém se je učí zapamatovat. Během provozu systém porovnává snímky z kamery se snímky, které se naučil detekovat jako správné a na základě podobnosti snímků rozhoduje, zda je kus na snímku zmetkem či ne. Deep learning přidává ještě učení na základě dosud provedených rozhodnutí.

Nevýhodou tohoto systému je, že obsluha nemůže systému sdělit, že se na snímku nachází zmetek. Systém se rozhoduje autonomně, mnohdy na základě faktorů obsluze neznámých. Nastavování kontroly není zcela jednoznačné. Proto se kamery s umělou inteligencí nehodí pro aplikace s jemnou hranicí mezi dobrým kusem a zmetkem.

Kamery s deterministickým systémem vyhodnocují snímky na základě pravidel definovaných pomocí nástrojů nastavených na referenčním obrázku. Nástroje se dají nastavit velmi přesně, nicméně vyladění jejich parametrů pro správnou funkci systému je časově velmi náročné.

Jakákoliv změna prostředí, ve kterém se nachází pracoviště nebo manipulace s kamerou může způsobit, že nastavené parametry nástrojů již nezajistí správné vyhodnocování snímků a je třeba je znovu vyladit. Na detekci každé vady jsou samostatné nástroje.

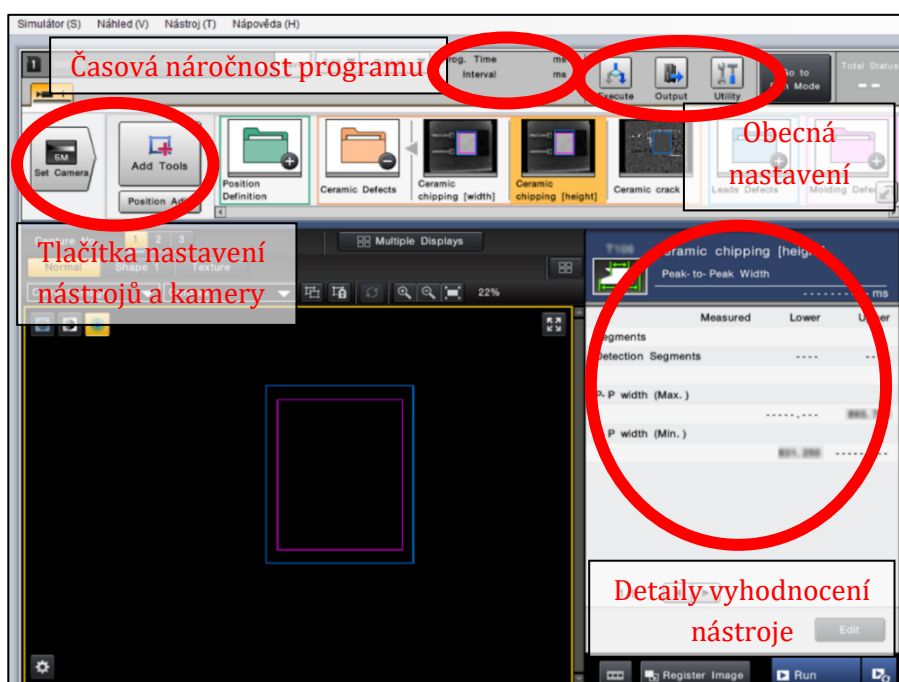
Výše zmíněnými změnami prostředí může být např. změna materiálu, na kterém se kus při snímkování nachází. Každý materiál má své vlastnosti, které v tomto případě nelze zanedbat. Jsou jimi hrubost povrchu, barva povrchu nebo matnost povrchu. Tyto vlastnosti ovlivňují odraz světla, čímž mění světelné podmínky při snímkování. Při návrhu nástrojů je tedy třeba dbát na charakter nástroje a podle toho navrhnout pracoviště (určit materiál, barvu jeho nátěru, případně zohlednit potřebu zakrytování pracoviště).

2.3.2 Přehled rozšířených firem nabízejících systémy automatické optické kontroly a příslušenství

Mezi aktuálně nejdominantnější firmy na trhu nabízející systémy AOI a jeho příslušenství jsou firmy Keyence a Cognex. Následuje krátké představení uživatelského rozhraní jejich softwarů. Obě firmy se vydaly rozdílnými cestami, každá má svou vlastní filozofii struktury softwaru.

Keyence

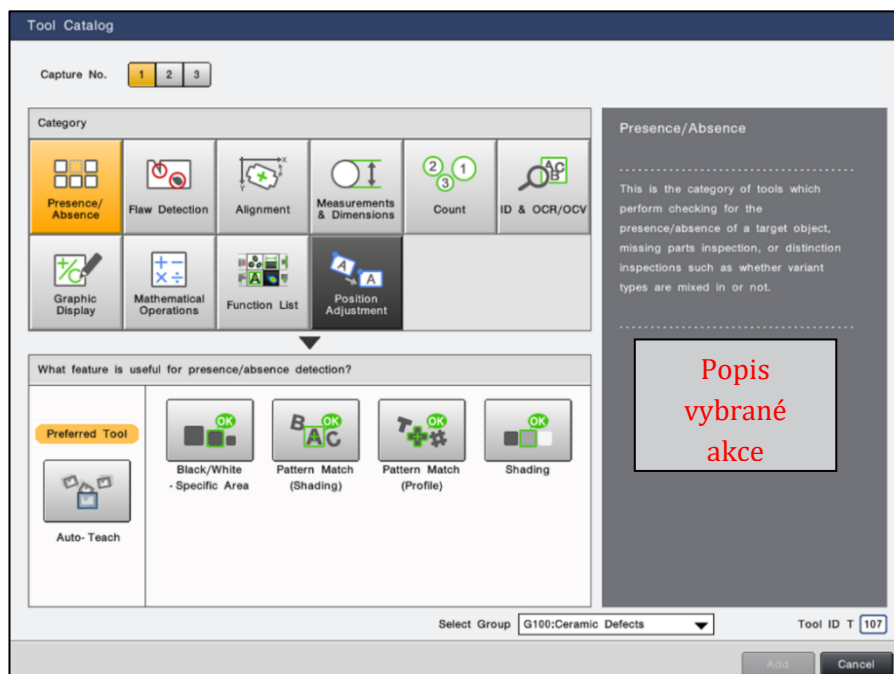
Po otevření softwaru se zobrazí obrazovka programu rozdělená do dvou částí, horní a dolní. Horní část obsahuje tlačítka pro obecné nastavení programu, tvorbu nástrojů a jejich provázání, tlačítko pro nastavení kamery, seznam již vytvořených nástrojů a časový údaj o délce vykonávání nastaveného programu (součet časové náročnosti jednotlivých nástrojů programu). Kliknutím na tlačítko se uživatel dostane do další úrovně možností tlačítka, která se otevře v novém okně. Zde má uživatel přehledný seznam dalších akcí, které může provádět. Veškeré možnosti v tomto okně jsou stručně popsány. Ve spodní části obrazovky je zobrazen snímek, detaily vyhodnocení



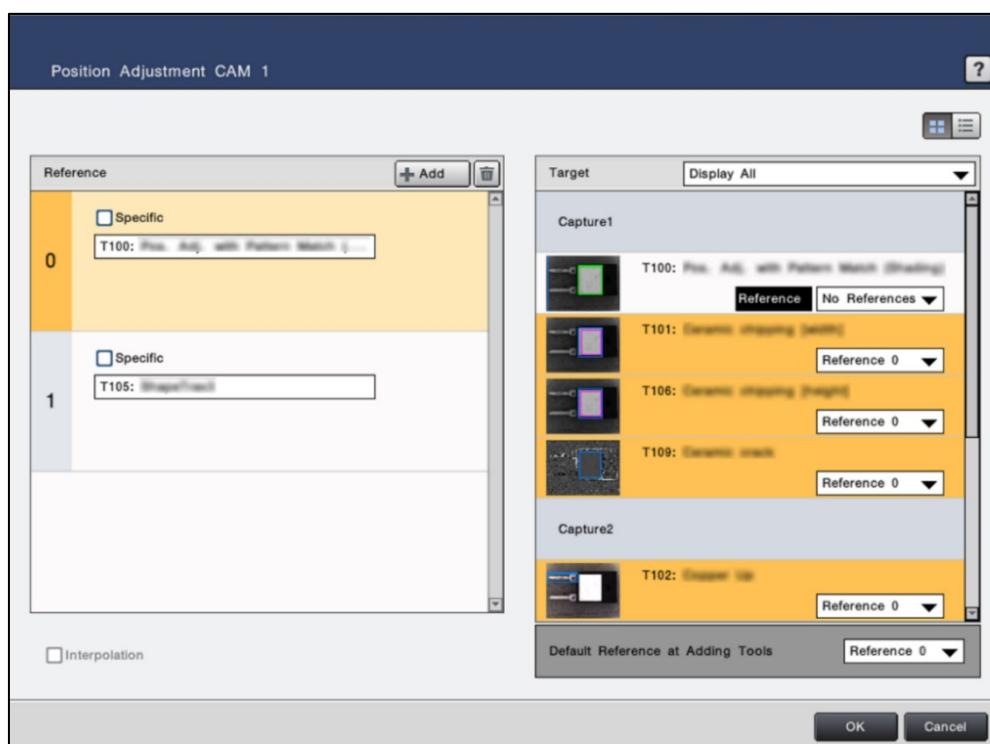
Obr. 1: Základní obrazovka programu

Návrh systému automatické optické linky vrstvových rezistorů používaných v dopravních prostředcích a infrastruktuře

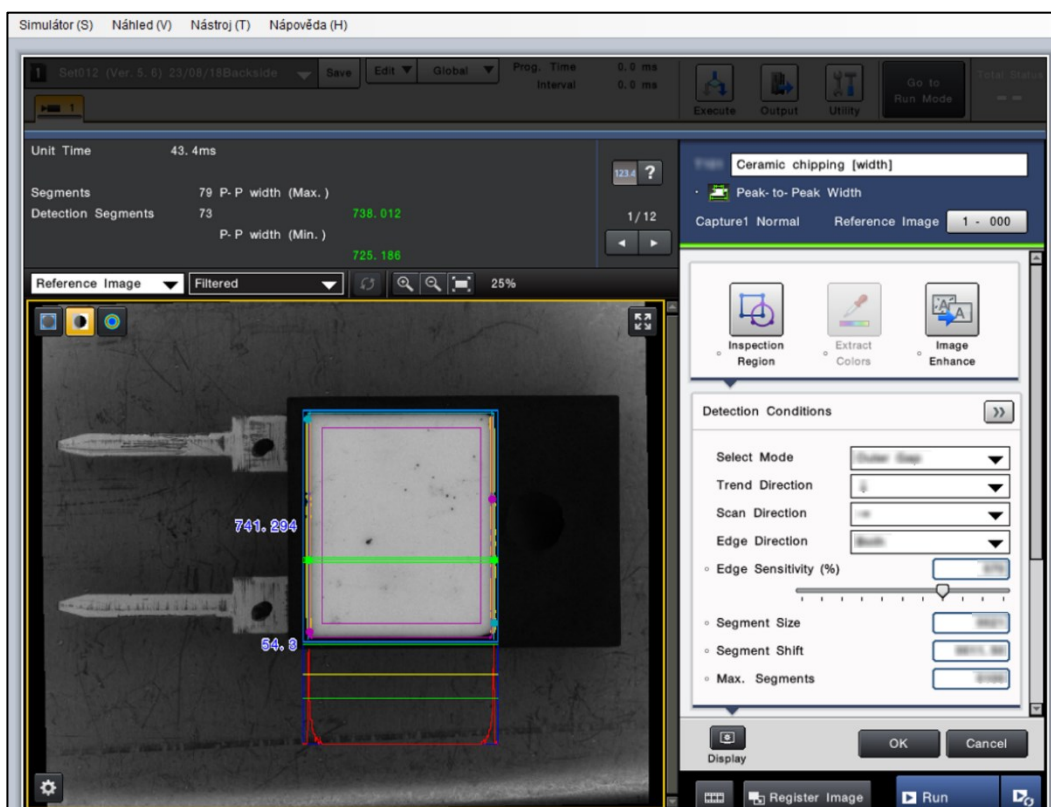
snímku vybraným nástrojem a tlačítko pro přístup k editování tohoto nástroje (kliknutím na tlačítko je vyvolána stejná akce jako při kliknutí na tlačítka v horní části obrazovky). Při práci uživatel přechází z této obrazovky do podoken podrobnějšího nastavení jednotlivých částí programu a následně se vrací, aby mohl pokračovat v činnosti a nastavovat další části.



Obr. 2: Podokno tvorby nástrojů



Obr. 3: Podokno provázání nástrojů



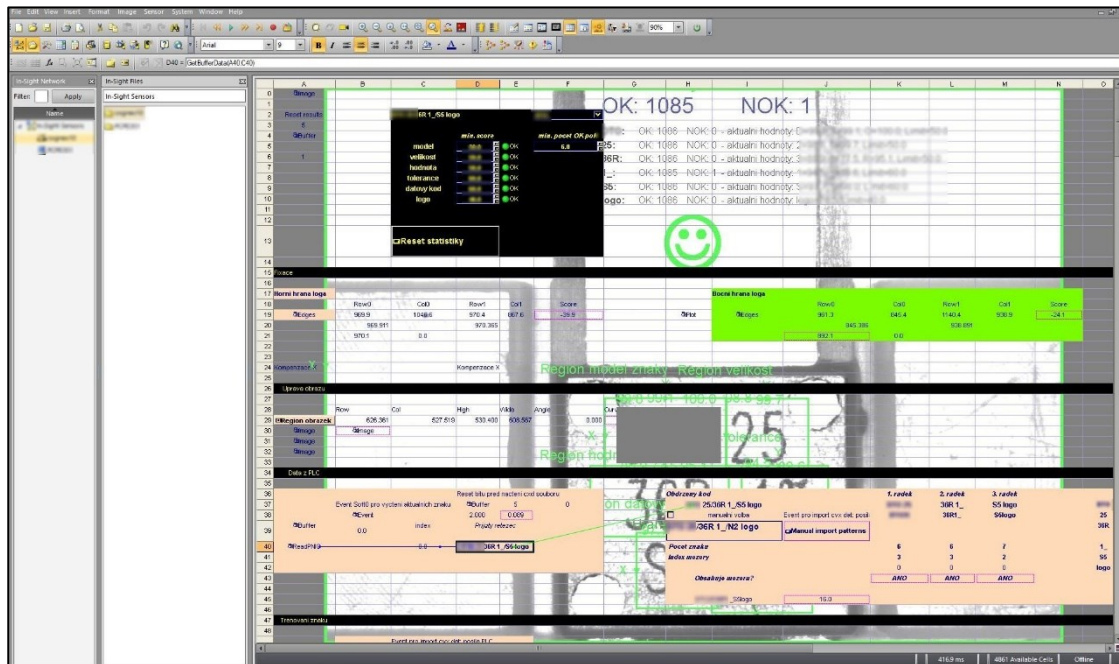
Obr. 4: Podokno editace nástroje

Cognex

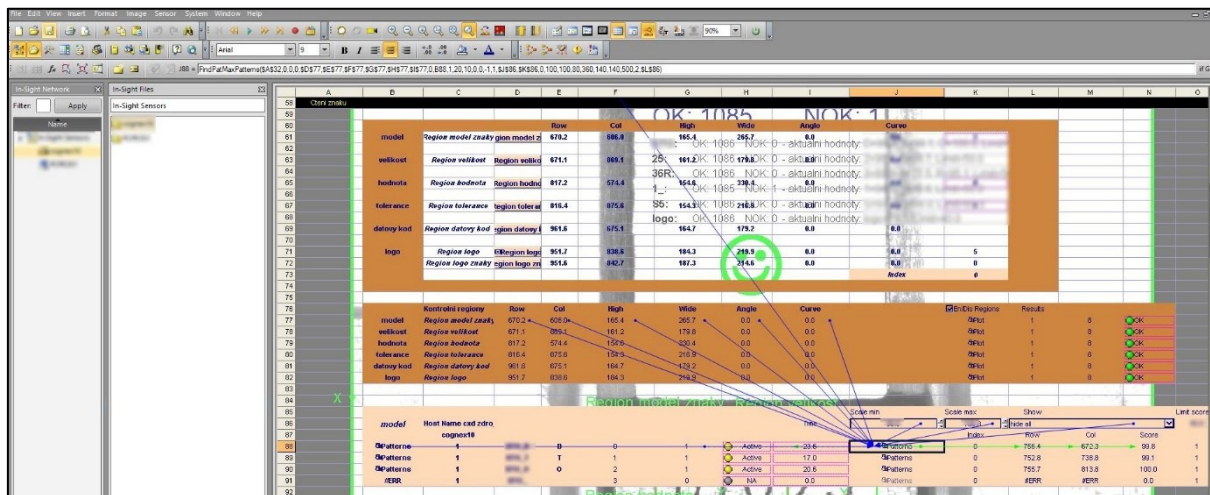
Po otevření softwaru se zobrazí obrazovka programu rozdělená do dvou částí, pracovní plocha programu a lišta nástrojů. Pracovní plocha je tvořena buňkami, do kterých se zapisují příkazy nebo hodnoty, které dohromady vytvářejí výsledný program. Veškeré informace, které uživatele zajímají, si může zobrazit v pracovní ploše podle toho, jak si je nastaví (např. navázání na sebe jednotlivých buněk nebo parametry jednotlivých nástrojů).

Návrh systému automatické optické linky vrstevných rezistorů používaných v dopravních prostředcích a infrastruktuře

Rozhraní je podobné programu Microsoft Excel, jednotlivé buňky lze upravovat stejným způsobem přes lištu nástrojů.



Obr. 5: Rozvržení základní obrazovky



Obr. 6: Zobrazení provázání konkrétního nástroje na s jinými nástroji

3 Rešerše typů kontrolovaných vad

3.1 Požadavky na zařízení snímající výrobek a detekující vadu

Aby mohla být spolehlivě opticky detekována vada, je třeba zvolit vhodnou kameru a objektiv. Vada musí zabírat minimálně 3 pixely na sejmutém snímku, neboť kdybychom detekovali i body velké pouze 1 nebo 2 pixely, pravděpodobně by nešlo o vadu, nýbrž jen o vadu na snímku nebo o šum. Při výběru vhodného objektivu je tedy třeba brát zřetel na velikost detekované vady a na mechanická omezení daná prostorovým rozložením pracoviště a potřebnou polohou a velikostí osvětlení.

3.1.1 Faktor osvětlení

Osvětlení hraje při AOI zásadní roli. Změna barevného spektra světla, tvar, jeho zdroje (např. kruhové nebo bodové) nebo jen drobná změna vzdálenosti osvětlení od výrobku nebo úhel, pod kterým je výrobek osvětlen, může vyústit ve znemožnění detekce určité vady. Z toho je jasné, že nelze detekovat veškeré vady pouze na jednom pracovišti, jednou kamerou, ale je třeba uváženě rozvrhnout detekci vad do několika pracovišť na automatické kontrolní lince. Společně tato pracoviště zajistí kontrolu všech požadovaných vad.

3.1.2 Mechanická omezení

Pro výběr kamery a objektivu je třeba vědět, kolik místa na pracovišti bude. Každý objektiv má své zorné pole. Pokud je kamera od kontrolovaného výrobku v určité vzdálenosti a požadovaná část výrobku se do zorného pole nevejde, je nutné kameru od výrobku více vzdálit. Tím ovšem klesá rozlišení. Pokud nastane situace příliš nízkého rozlišení pro danou vadu, vzniká riziko projití zmetku do distribuce. V takovéto situaci je třeba zvolit jinou kameru nebo objektiv. Pokud bude stále přijatelné rozlišení, je možné použít zvolenou kameru s objektivem, ale je třeba zkontrolovat, že je pro posun kamery na pracovišti místo a je možnost jejího uchycení.

3.1.3 Ekonomický faktor

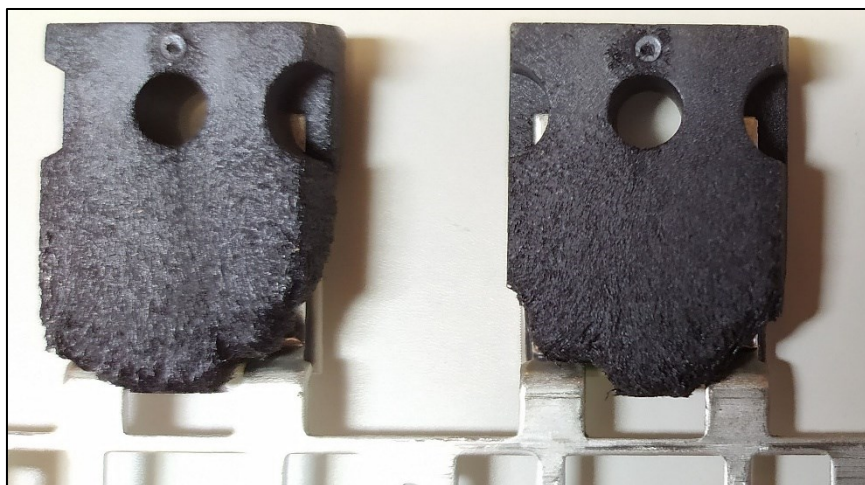
Při navrhování pracovišť je návrhář linky limitován i ekonomicky, neboť kamery a jednotky zpracující snímky nejsou spotřebním zbožím a jejich pořizovací cena není nízká (průměrná pořizovací cena na kameru od firmy Keyence ke konci roku 2023 se pohybovala kolem 10 000 €. Tato částka je odhad, nejedná se o oficiální informaci poskytnutou přímo firmou Keyence).

Pro porovnání: kdyby hypoteticky operátor provádějící optickou kontrolu byl ohodnocen minimální mzdou, (k 3.5.2024) stojí firmu ročně 226 800 Kč (9 062 €, kurz k 3.5.2024). Investice do kamery se tedy vrátí v době krátce přesahující 1 rok.

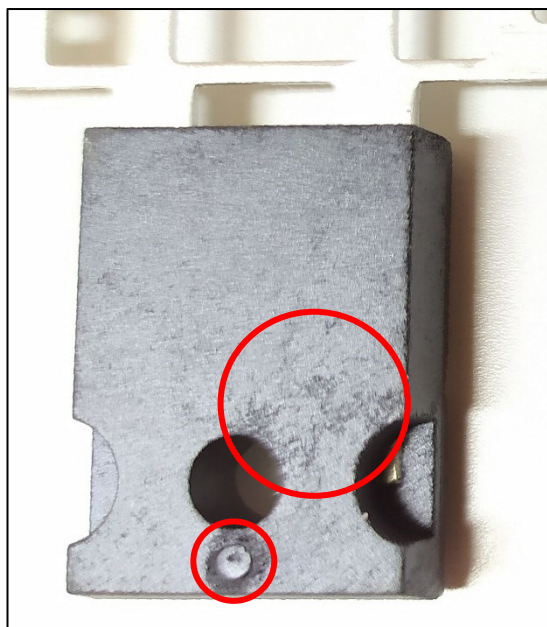
3.2 Vady tělíska

3.2.1 Neúplné lisování, lisování s prasklinami & cizí částičky ve výlisku

Chybějící lisovací hmota nebo praskliny v lisovací hmotě by mohly způsobit zhoršení mechanických vlastností. Vzniká při vstřiku nedostatečného množství lisovací hmoty nebo při nedostatečném vstřikovacím tlaku lisu. Praskliny by také mohly umožnit proniknutí vlhkosti dovnitř pouzdra k elektrickému obvodu a ohrozit jej tak. Také by mohl nastat problém u zákazníka používajícího automatické manipulátory s kusy.



Obr. 7: Nedostatek lisovací hmoty



Obr. 8: Nedostatek lisovací hmoty kvůli nedostatečnému lisovacímu tlaku



Obr. 9: Cizí částěčky v lisování

3.2.2 Lisovací hmota na keramice & znečištěná keramika

Přítomnost lisovací hmoty na keramice nebo přítomnost jiných nečistot na keramice může zapříčinit nedostatečný přenos tepla z kusu na chladič ústící k přehřátí kusu a jeho tepelné destrukci. Také může způsobit prasknutí keramiky při montáži.



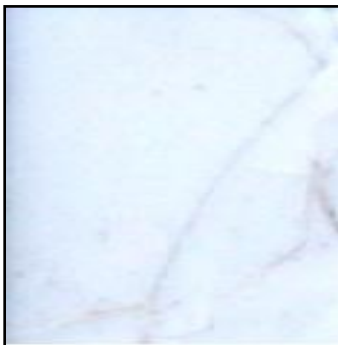
Obr. 10: Lisovací hmota na keramice



Obr. 11: Znečištěná keramika

3.2.3 Prasklá nebo jinak mechanicky poškozená keramika

Praskliny v keramice nebo její jiná mechanická poškození mohou vést ke změně ohmické hodnoty rezistoru nebo vniknutí vlhkosti do nitra kusu a jeho poškození.



Obr. 12: Prasklina v keramice



Obr. 13: Velmi popraskaná keramika

3.2.4 Posunutí keramiky

Pokud je posunutá keramika, pravděpodobně není správná vnitřní struktura výrobku, tedy nelze zaručit správnou funkci výrobku.



Obr. 14: Keramika nesprávně vycentrovaná (vpravo)

3.2.5 Vyštipnutá keramika

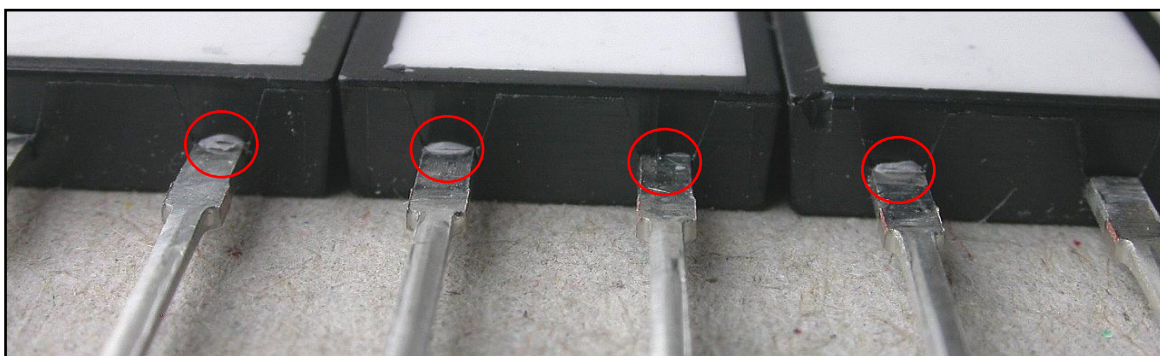
Pokud se na okraji keramiky vyskytne zub, nazýváme to vyštipnutou keramikou. Podle provedených testů výrobce nemá tato vada žádný vliv na výkonové parametry výrobku, ale zákazníci (převážně firmy automobilového průmyslu), kterým byl výrobek s touto vadou dodán, neakceptují prohlášení výrobce a tyto kusy reklamují. Tento jev tedy byl označen za vadu a kusy, na kterých byl pozorován, za zmetky.



Obr. 15: Vyštipnutá keramika

3.2.6 Přítomnost silikonové ochranné hmoty (RTV) na rozhraní tělíska a vývodů kusu

Tento jev není žádoucí jednak proto, že vystupuje vnitřní prvek na povrch výrobku. Za druhé proto, že tato hmota je měkká, při lisování se snadno vydře a u vývodů rezistoru pak pouzdro nesplňuje požadavky na těsnost. Vzniká tedy riziko proniknutí vlhkosti nebo cizích částí dovnitř rezistoru a jeho poškození. Za třetí hrozí riziko znečištění povrchů zákazníka silikonem, což je obecně v elektrotechnických firmách považováno za nepřijatelné.



Obr. 16: RTV viditelné na vývodech

3.2.7 Otřepy lisování přesahující rozměr součástky po celém jejím obvodu

Vyskytují-li se otřepy plastu po obvodu kusu po lisování, mohou zapříčinit nedodržení rozměrových tolerancí kusu. Pokud tyto otřepy začnou samovolně odpadat, mohou znečistit zařízení manipulující s kusem a způsobit tak jeho nesprávnou funkci nebo poničení. Pokud by otřepy začaly odpadávat až ve výsledné aplikaci, mohly by zapříčinit destrukci celého obvodu.



Obr. 17: Otřepy po lisování

3.2.8 Otřep v montážním otvoru

Vyskytuje-li se pevný otřep v montážním otvoru, znemožní tak montáž kusu. Kus je tedy nepoužitelný.

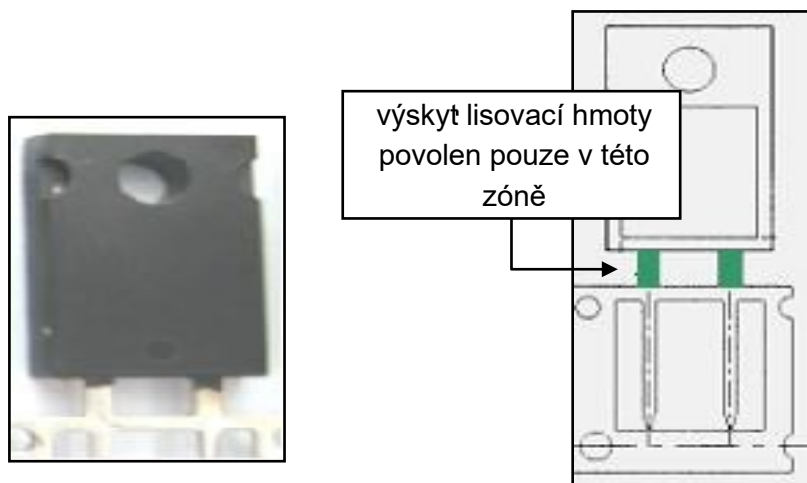


Obr. 18: Otřepy v montážním otvoru

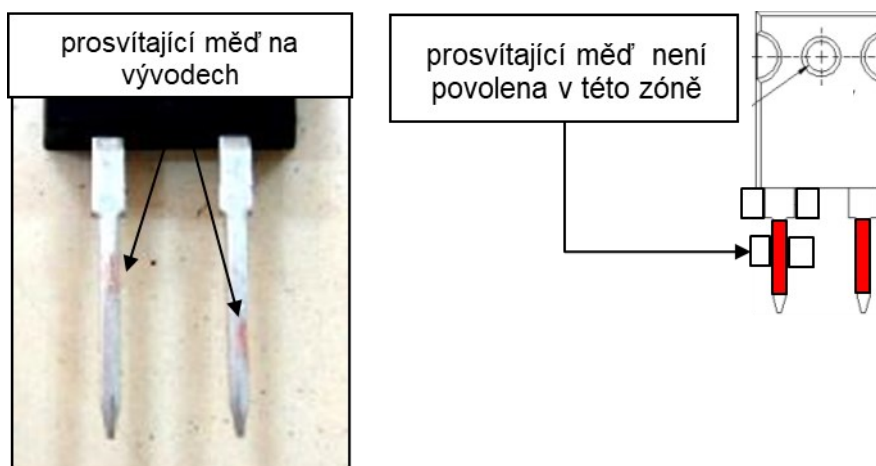
3.3 Vady vývodů

3.3.1 Lisovací hmota & prosvítající měď v úrovni užité zóny vývodu

Objeví-li se lisovací hmota na vývodech, dochází ke zmenšení užité plochy pro pájení a dochází ke zhoršení elektrického kontaktu. Prosvítá-li měď na povrch vývodu, bude tvořit oxidy, které nemají tak dobrou pájitelnost, tedy dochází ke zhoršení kvality mechanického spoje.



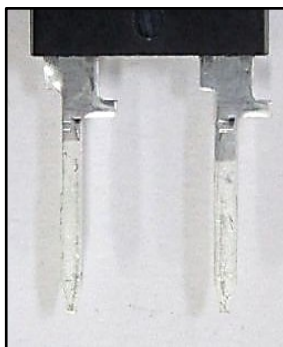
Obr. 19: Lisovací hmota na vývodech



Obr. 20: Prosvítající měď na vývodech

3.3.2 Otřepy po procesu jednotkového řezu

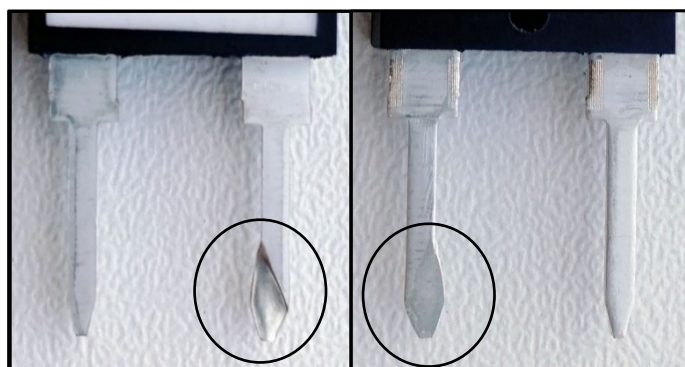
Jednotkový řez je proces, při kterém se jednotlivé kusy odříznou z tzv. hřebene, na kterém jsou uchyceny při procesech výroby. Manipulace s hřebeny s kusy při výrobě je podstatně jednodušší, než kdyby se mělo manipulovat s každým kusem zvlášť. Pokud odříznutí kusu od hřebene neproběhne správně, na vývodech, za které je kus uchycen v hřebenu, mohou vzniknout kovové otřepy. Při práci zákazníka s kusem by mohl samovolný odpad otřepů znečistit jeho zařízení elektrovodným materiálem.



Obr. 21: Otřepy na vývodech

3.3.3 Zploštělé vývody

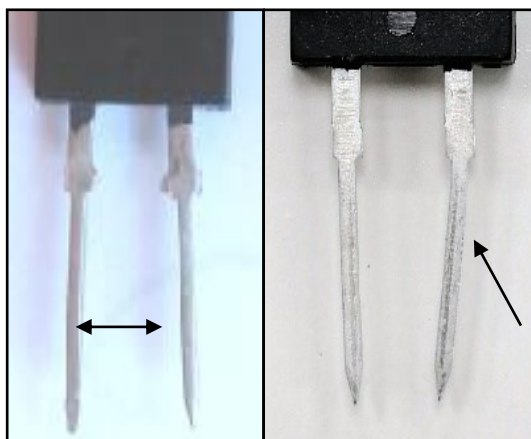
Zploštění vývodů působí změnu mechanických parametrů vývodů, které pak nevyhovují požadavkům zákazníka. Vada by mohla zároveň znemožnit správné připájení rezistoru do obvodu.



Obr. 22: Zploštělé vývody

3.3.4 Deformované vývody

Deformované vývody mohou způsobit problematické či neshodné pozicování kusu v aplikaci zákazníka. Může dojít k znemožnění použití kusu v automatických montážních linkách zákazníka.



Obr. 23: Deformované vývody

3.4 Kontrola potisku

Absence potisku nebo jeho části, případně znečištění potisku může být způsobeno přítomností mechanické překážky v cestě laserového paprsku. Takovouto překážkou může být i vrstvička prachu. Některé alfanumerické znaky jsou si podobné (např číslice 3 a 8) a jsou tak náchylné k snadné záměně při nepřesném tištění potisku. Pokud jsou znaky natištěny nepřesně nebo úplně chybí, ztrácí se schopnost identifikace kusu.

Obrázek zobrazující nesprávný potisk kusu zde není uveden z důvodu ochrany dat výrobního závodu.

4 Návrh vlastního řešení pracovišť AOI na kontrolní lince vrstvových rezistorů na základě konkrétních požadavků výrobního závodu

4.1 Požadavky výrobního závodu zadavatele a cíle návrhu

Zadavatel stanovil následující požadavky:

- kontrola bude prováděna automatickým optickým systémem od firmy Keyence
- kontrolovat, že se na rezistoru nevyskytuje žádná z uvedených vad
- kontrolovat tělísko kusu ze všech šesti stran a vývody kusu shora i zespodu
- stanovit nejnižší možný počet kamer pro kontrolu všech vad a rozvrhnout kamery a kontroly jednotlivých vad do samostatných pracovišť tak, aby byl dodržen maximální čas kontroly na každém pracovišti 3 sekundy
- ověřit, že byl dodržen časový limit kontroly
- stanovit konkrétní typy kamer, a příslušenství k jednotce CW-X450F zpracující obraz
- navrhnout rozvržení jednotlivých pracovišť (pozice kamer a osvětlení vůči kusu) tak, aby pracoviště nezabíralo příliš mnoho prostoru

Hlavní cíle požadavků:

- zvýšit spolehlivost prováděných kontrol a zajistit tak dodání spolehlivých výrobků do dílů použitých v automobilech
- zvýšit výrobní kapacitu
- zvýšit produktivitu práce

4.2 Výběr kamer, objektivů a počtu jednotek zpracujících obraz

Zadavatel pro svou aplikaci vyžaduje, aby kamery byly co nejbližší snímkaným kusům, a aby zároveň dosahovaly požadovaného rozlišení. Proto byla z nabídky dodavatele zvolena kamera CA-H500 (typy M a MX) s objektivy CA-LHR50 nebo CA-LHR25 (podle pracoviště a pohledu kamery na kus). Snímky touto kamerou se zvolenými objektivy mají rozlišení 5 MPx (2432x2050 Px). Typ kamery M umožňuje práci v běžném režimu snímání a v režimu LumiTrax. Typ MX dokáže snímat kromě zmíněných režimů ještě v režimu multispektrum.

Návrh systému automatické optické kontroly vrstevných rezistorů používaných v dopravních prostředcích a infrastruktuře

Tab. 2: Specifika jednotlivých CA-LHR objektivů (5)

Part number	CA-LHR5	CA-LHR8	CA-LHR12	CA-LHR16	CA-LHR25	CA-LHR35	CA-LHR50
Focal point	5 mm	8.5 mm	12 mm	16 mm	25 mm	35 mm	50 mm
F-stop range (aperture)	F1.8 to F16	F1.8 to F16	F1.8 to F11	F1.8 to F16	F1.8 to F16	F2.0 to F16	F2.8 to F16
Minimum WD	0.1 m						
Mount	C-mount						
Filter size	46.0 mm P0.75	34.0 mm P0.5	25.5 mm P0.5	25.5 mm P0.5	25.5 mm P0.5	34.0 mm P0.5	30.5 mm P0.5
Compatible image size	2/3"						
TV distortion*	-0.33% (-0.11%)	0.31% (-0.02%)	-0.12% (0.01%)	-0.20% (-0.11%)	-0.09% (-0.04%)	0.05% (-0.01%)	-0.02% (0.02%)
Resolving power	200 cycles/mm at centre, 140 cycles/mm on periphery						
Lens coating	WIDE, BAND MULTICOATING						
Ambient temperature/humidity range	0 to +50°C, 80% RH or less (No condensation)						
Weight	Approx. 120 g	Approx. 115 g	Approx. 105 g	Approx. 90 g	Approx. 95 g	Approx. 160 g	Approx. 170 g

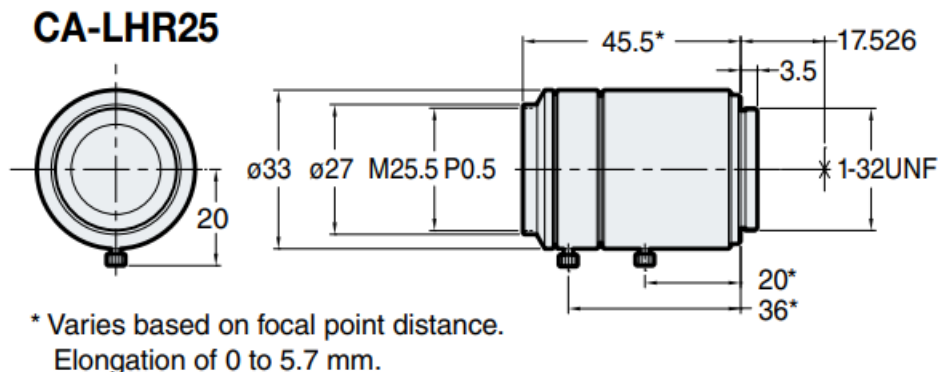
Other features: Special low-scattering glass, aspherical lens, floating structure

* Indicates specification for compatible image size. Value in parenthesis applies to 1/3" image size.

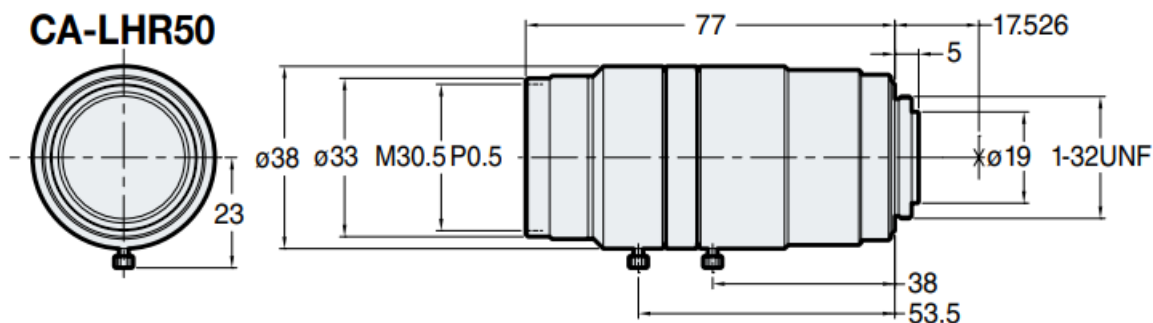
Tab. 3: Možnosti objektivů s kamerou CA-H500 (5)

Lens type	CA-LHR5	CA-LHR8	CA-LHR12	CA-LHR16	CA-LHR25	CA-LHR35	CA-LHR50
Polarising filter	-	OP-87893	OP-51603	OP-51603	OP-51603	OP-87893	OP-54030
Protective filter	-	CA-LF34	CA-LF25	CA-LF25	CA-LF25	CA-LF34	CA-LF30
Sharp cut filter (R60)	-	-	CA-LF25R	CA-LF25R	CA-LF25R	-	-
Blue cut filter	-	-	CA-LF25Y	CA-LF25Y	CA-LF25Y	-	CA-LF30Y

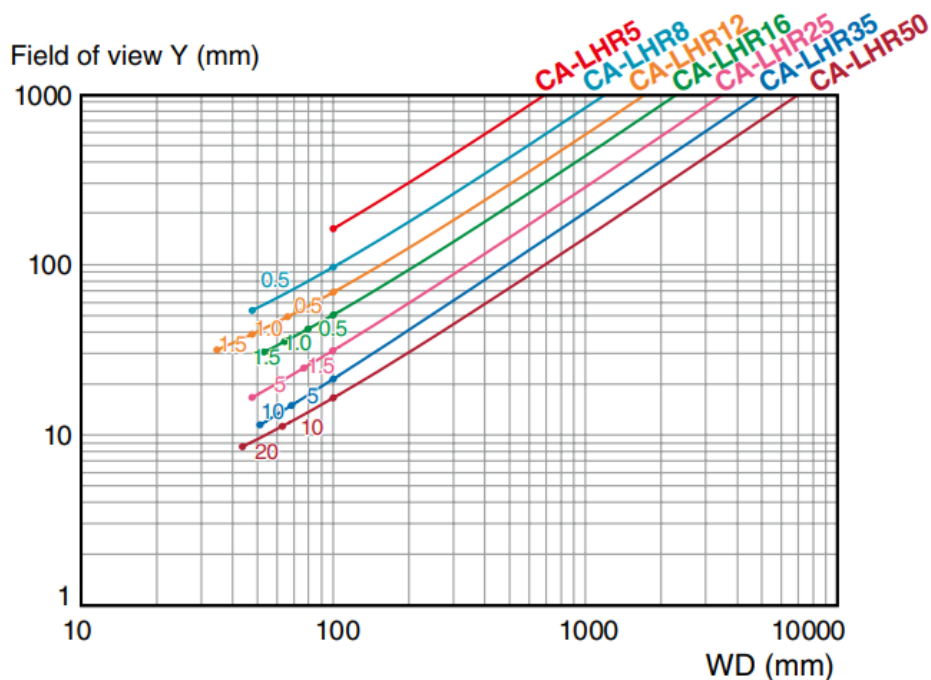
Vignetting may occur when a wide-angle lens is used with a filter.



Obr. 24: Rozměry objektivu CA-LHR25 (5)



Obr. 25: Rozměry objektivu CA-LHR50 (5)



Obr. 26: Zorná pole jednotlivých typů objektivů CA-LHR (5)

4.2.1 Popis režimů snímání kamery CA-H500

Běžný režim

Tento režim odpovídá běžné fotografii. Jednoduchá expozice osvětlená instalovaným světlem.

Multispektrum

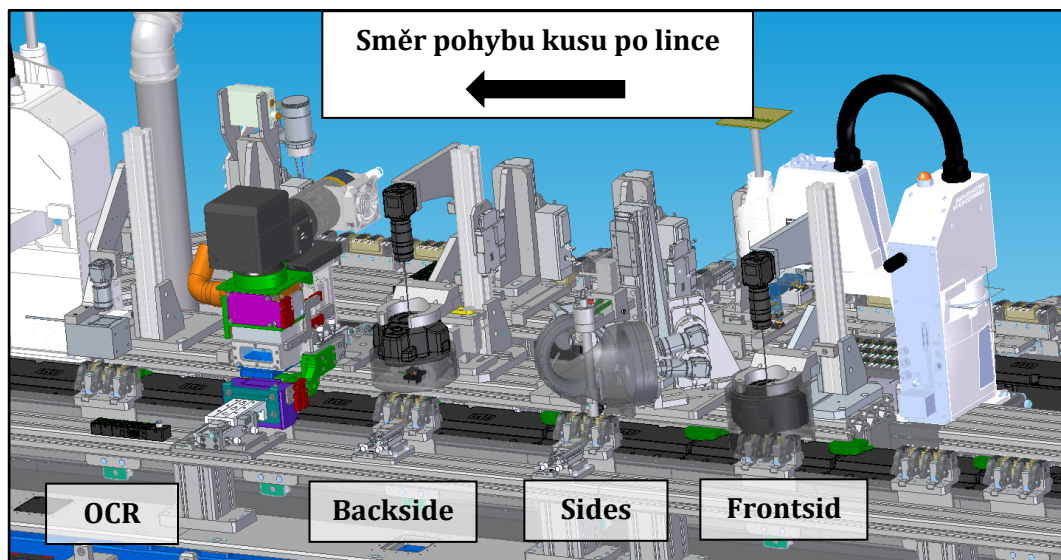
Specifikem tohoto režimu je schopnost vytvořit barevný obraz pomocí černobílé kamery. Kamera snímá několik snímků, každý s jinou vlnovou délkou osvětlení, a poté tyto snímky složí do výsledného snímku. Uživatel má možnost nastavit, kterou barvou budou dané snímky snímány pro vytvoření výsledného obrázku.

LumiTrax

Stejně jako v režimu multispektrum skládá LumiTrax výsledný snímek z více snímků. Snímky se tentokrát liší úhlem osvětlení. U některých osvětlovacích jednotek je možné měnit též barvu osvětlení. Tento režim je vhodný při detekci vad, které se projevují narušením povrchu (např. vady lisování nebo praskliny v keramice).

4.3 Návrh rozdělení kontroly vad do jednotlivých pracovišť a jejich popis

Vzhledem k počtu vad a k jejich různorodosti nebyla veškerá kontrola soustředěna do jednoho pracoviště, ale byla navržena pracoviště čtyři. Jedno pracoviště pro kontrolu kusu zezadu (backside), druhé pro kontrolu zepředu (frontside), třetí pro kontrolu ze zbývajících stran (sides) a čtvrté pro kontrolu správnosti potisku (OCR).



Obr. 27: Posloupnost pracovišť na kontrolní lince (model vytvořený zadavatelem podle návrhu řešení autora práce)

Tab. 4: Rozvržení kontroly vad do jednotlivých pracovišť; 1 v buňce znamená kontrolu vady na příslušném pracovišti

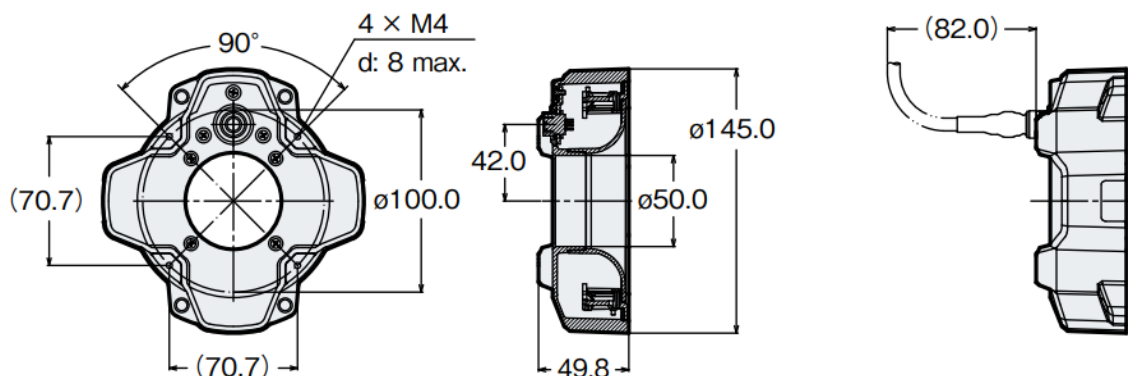
Vada	Pracoviště			
	Frontside	Backside	Sides	OCR
různě široké vývody	1			
zploštělé vývody	1			
otřepy při lisování	1			
křivé vývody	1		1	
lisovací hmota na vývodech	1	1		
měď na vývodech	1	1		
cizí částičky v lisování	1	1	1	
otřepy na vývodech	1	1		
otřepy montážního otvoru		1		
prasklá keramika		1		
vyštípnutá keramika		1		
špinavá keramika		1		
lisovací hmota na keramice		1		
viditelné RTV kolem vývodů			1	
kontrola potisku				1

4.3.1 Backside

Kamera je v poloze, ze které zabere jak tělísko kusu, tak i jeho vývody. Pro dostatečné rozlišení a dodržení prostorových možností byl zvolen objektiv CA-LHR50. Hrana objektivu od povrchu kusu je vzdálena 19,9 cm. Pro vytvoření světelných podmínek vhodných pro správnou funkci všech nástrojů v programu bylo zvoleno světlo CA-DRM5X, které je schopno pracovat v režimu multispektrum i LumiTrax. Spodní hrana světla je od povrchu kusu vzdálena 1,7 cm.



Obr. 28: Model sestavy pracoviště Backside a Frontside vytvořený zadavatelem podle návrhu řešení autora práce



Obr. 29: Parametry osvětlení CA-DRM5X (5)

Z důvodu eliminování možného ovlivnění kontroly prováděné na tomto pracovišti je nutné, aby bylo pracoviště zakrytováno materiálem s černým matným povrchem. Pokud by se do blízkosti pracoviště dostal předmět odrážející světlo vlnové délky odpovídající barvám s vysokým obsahem červené, ovlivnilo by to vyhodnocování nástroje kontrolujícího měď na vývodech. Tento nástroj totiž detekuje měď na základě výskytu barvy s vysokým obsahem červené barvy. Toto omezení vyplynulo z testování a bylo objeveno náhodou. Nástroj pro detekci mědi na vývodech se testoval při různých světelných podmínkách – bez zakrytí a při zakrytí pracoviště hnědou kartonovou krabicí. Při blízkosti krabice nástroj najednou začal vyhodnocovat více snímků jako zmetky. Provedlo se ještě otestování tohoto jevu tak, že se do blízkosti kusu při snímání přiblížilo jasně červené tričko. Výsledek se okamžitě zřetelně projevil. Skoro každý kus byl nástrojem označen jako zmetek.

Program je sestaven z nástrojů navázaných na tři různé snímky. První snímek je sejmuto v režimu LumiTrax. Nastavení clony a závěru kamery je takové, aby na snímku byla dobře viditelná keramika případně nečistoty na jejím povrchu. Na tomto snímku jsou také dobře vidět vývody výrobku. Jako reference pozice pro ostatní nástroje slouží nástroj *Pattern Match*. Funguje tak, že se na referenčním obrázku označí oblast (v tomto případě tělísko kusu s keramikou), nástroj si ji zapamatuje a při sejmutí snímku hledá oblast podobnou té, kterou má v paměti. Když ji najde (uživatel si nastaví minimální procento shody), zjistí informace o její poloze na snímku a nástroje, pro které je referencí polohy, se podle této polohy budou pozicovat. Pokud jí nenajde, označí kus za zmetek. Nástroj *Peak-to-Peak* je použit ke kontrolování ulomené keramiky. Nástroj ve vybraných dvou oblastech hledá přechod z tmavé do světlé (nebo naopak). Tyto přechody vyznačí jednotlivými body, čímž vzniknou dvě tečkované křivky. Následně se vyhodnotí vzdálenost mezi nejbližšími a nejvzdálenějšími body. V hodnocení této vady je limitní nejkratší vzdálenost. Pokud je příliš malá, je kus vyhodnocen jako zmetek. Pro kontrolu přítomnosti otřepů na vývodech je použit nástroj *ShapeTrax*, který na referenčním obrázku ve vybrané oblasti najde nějaký tvar, v tomto případě obrys vývodů kusu, který hledá na každém dalším sejmutém snímku. V případě, že na snímku nenalezne tvar s požadovanou minimální shodou, vyhodnotí tento nástroj kus jako zmetek. Tedy pokud budou na vývodech otřepy, jejich obrys se změní a nástroj to rozpozná. Tento nástroj je také použit při detekování otřepů v montážním otvoru. Nástroj hledá kruhový tvar montážního otvoru. Vyhodnocení probíhá stejně jako u předchozí vady. Posledním nástrojem navázaným na první snímek je *Detect Flaw With Each Defect*. Tento nástroj sám dokáže ve stanovené oblasti nalézt nerovnosti, v tomto případě praskliny v keramice. Při testování se podařilo dosáhnout velmi přesného nastavení. Nástroj odhalil prasklinu, která při běžné kontrole operátorem vůbec nebyla odhalena. Až když se kus podrobil nadstandardní prohlídce (zvětšení mikroskopu 2x větší než běžně a několikanásobně delší trvání kontroly), prokázalo se, že nástroj rozpoznal prasklinu správně.

Druhý snímek je sejmuto v režimu multispektra, protože je potřeba získat barevný obrázek pro nástroje kontrolující prosvítající měď na povrchu vývodů a znečištění keramiky. Nástroj použitý pro detekci těchto vad se jmenuje *Judged With Color Distribution*. Uživatel nástroji v obrázku stanoví barvu, kterou pokud ve stanovené oblasti najde, vyhodnotí jako defekt a označí kus za zmetek. Nástroj, pomocí kterého se stanovuje přesná poloha kontrolované oblasti na snímku je opět nástroj *Pattern Match* použitý při prvním snímku.

Třetí snímek je opět v režimu LumiTrax ovšem s jiným nastavením kamery, aby vyniklo tělísko kusu. Nešlo totiž použít stejné nastavení clony a času snímku jako při snímání prvního snímku zaměřeného na keramiku. Keramika je bílá, kdežto tělo kusu je z černého plastu. Kamera nemá dostatečný dynamický rozsah, aby dokázala zachytit zároveň detaily na černé i bílé ploše. Režim LumiTrax je zvolen tentokrát z důvodu detekování vad v lisování tělíska kusu. Nedostatek lisovací hmoty nebo nedokonalé lisování je takto velmi spolehlivě detekováno. Použit je již výše zmíněný nástroj *Detect Flaw With Each Defect*. Pro kontrolu přítomnosti cizích částecek v lisování je použit nástroj *Detect Flaw With Black & White Areas*, který využívá toho, že lisovací hmota je černá a cizí částecčky jsou světlé. Jakmile nalezne světlou skvrnu v prohledávané oblasti, prohlásí kus za zmetek. Pro kontrolování přítomnosti lisovací hmoty na vývodech je také použit nástroj *Detect Flaw With Black & White Areas* s tím rozdílem, že tentokrát je vada tmavá a ne světlá. Nalezne-li nástroj v oblasti keramiky tmavé skvrny, označí kus za zmetek. Pro zachycení se správné oblasti pro kontrolování slouží těmto nástrojům jako reference nástroj *ShapeTrax* hledající obrys tělíska kusu.

4.3.2 Frontside

Pracoviště svým rozvržením odpovídá pracovišti Backside. Stejně tak i nástroje programu tohoto pracoviště budou navázány na tři snímky se shodným nastavením kamery a sejmутými ve stejných režimech snímání jako u programu Backside. Nástroje pro detekci vad kontrolovaných zde i na pracovišti Backside podle Tab. 4 nebudou znova uváděny. Uvedeny budou pouze nástroje pro detekci vad na snímcích dříve nepopsaných. Nástroje sloužící jako reference polohy kontrolovaných oblastí nástrojů v tomto programu jsou stejné jako v programu pracoviště Backside.

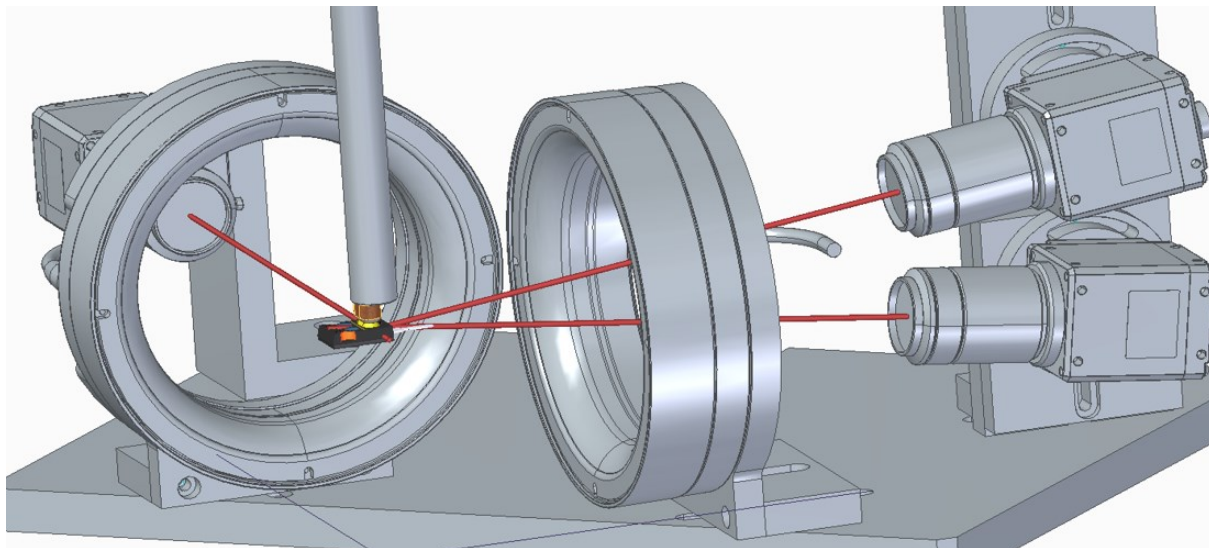
Na prvním snímku se detekují následující vady: různá šířka vývodů, zploštělé vývody a křivost vývodů v horizontální ose. Šířku vývodů kontroluje nástroj *Edge Pairs* tak, že v oblasti najde hrany (postupuje systematicky zvoleným směrem), které roztřídí do dvojic podle pořadí (první detekovanou lichou hranu dá do dvojice s první detekovanou sudou hranou) a určí vzdálenost hran jednotlivých dvojic. Podle nastavených limitů posuzuje, je-li kus v pořádku nebo je zmetkem. Zploštění vývodů se detekuje nástrojem *Peak-to-Peak* popsaným výše, přičemž limity nastavíme pouze na největší vzdálenost bodů. Křivost vývodů kontroluje nástroj *Edge Slope*. Nástroj detekuje hranu v oblasti (přechod z tmavého prostředí do světlého nebo naopak) a změří její natočení v ploše. Při přílišném natočení vyhodnotí nástroj kus jako zmetek.

Na třetím snímku je nástroj pro kontrolu přítomnosti otřepů po lisování. Jde o nástroj *ShapeTrax*. Princip jeho funkce je zřejmý z předchozího textu. Otřepy mění obrys tělíska do té míry, že nástroj hledaný obrys na snímku nenajde, výsledkem nástroje je tedy označení kusu jako zmetek.

4.3.3 Sides

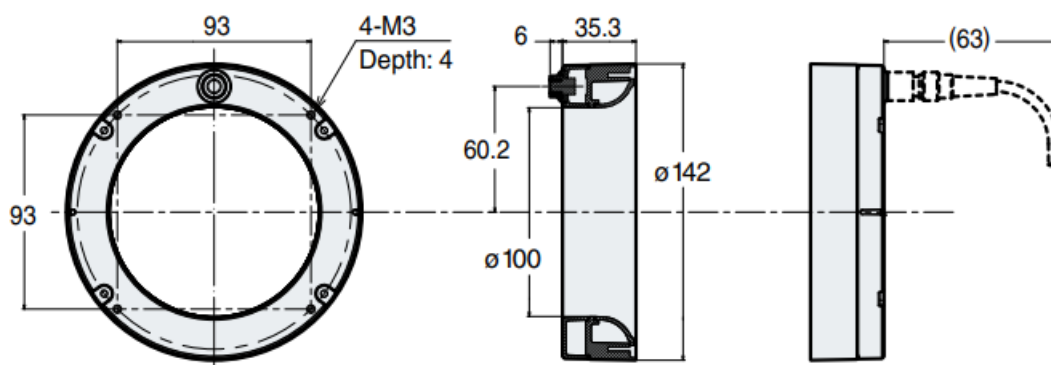
Na tomto pracovišti jsou tři kamery zajišťující kontrolu ze zbývajících stran. Jedna kamera s objektivem CA-LHR25 snímá kus z boku (od povrchu kusu vzdálená 12,5 cm), dvě kamery s objektivy CA-LHR50 (vzdálené 10,8 cm od povrchu kusu) snímající kus zepředu, ovšem ne přímo, ale pod úhlem, aby bylo možné detekovat RTV kolem vývodů z obou jejích stran. Pro

správné světelné podmínky bylo zvoleno osvětlení CA-DRW10X. Toto osvětlení je schopné tvořit snímky v režimu LumiTrax, ale neumožňuje pořizovat snímky v režimu multispektrum. Bude popsána pouze detekce vad dříve nepopsaných. Nástroj pro detekování vady cizí částěčky v lisování tělíška byl popsán již dříve.



Obr. 30: Model sestavy pracoviště Sides vytvořený zadavatelem podle návrhu řešení autora práce

CA-DRW10X



Obr. 31: Parametry osvětlení CA-DRW10X (5)

První snímky kamer zabírají čelo kusu a levou stranu. Po sejmutí prvního snímku kamerami je kus o 180° otočen a kamery snímají druhý snímek zachycující kus zezadu a z pravé strany. Celkem tedy do programu vstupuje šest snímků. Mezi snímky kamer zepředu (nebo zezadu) a ze strany musí být časová prodleva, neboť kdyby všechny kamery snímaly naráz, jejich světla by kamerám vzájemně ovlivňovala světelné podmínky a mohlo by docházet k dysfunkci nástrojů vyhodnocujících vady. Toto pracoviště je specifické dvojitým snímáním a manipulací kusem mezi snímky. Manipulace s kusem omezuje délku času, který je na pořízení všech snímků.

Ze snímků boční kamery se kontrolují vady: přítomnost cizích částěček v lisování a křivost vývodů ve vertikální ose. Pro detekci křivosti vývodů se používá nástroj *Edge Slope* popsáný výše. Jako

reference přesné polohy kontrolovaných oblastí se používá nástroj *ShapeTrax* hledající boční obrys tělíška kusu.

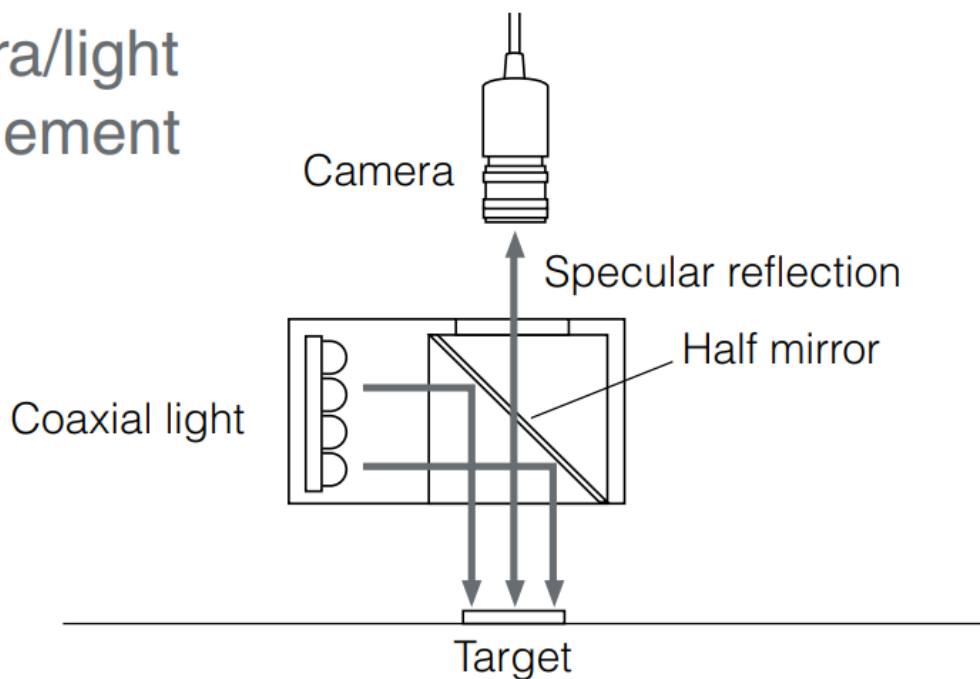
Ze snímků dvou kamer zepředu se kontroluje jak přítomnost cizích částech v lisování, tak viditelné RTV kolem vývodů. Pro detekci této vady se používá nástroj *Profile Defect*. Tento nástroj v referenčním obrázku v definované oblasti z bodů poskládá křivku kopírující např. přechod mezi materiály nebo obrys výrobku. Při vyhodnocování zjišťuje, kde se nachází jednotlivé body tvořící křivku, a jak se tato křivka deformovala. V této aplikaci se kontroluje přechod mezi materiály lisovací hmoty a vývodu, který je na snímcích dobře rozeznatelný (rovná čára). Pokud by se kolem vývodů objevila silikonová ochranná vrstva (RTV), tento přechod by se překryl a vznikly by dva nové přechody. První z lisovací hmoty na hmotu RTV a druhý z hmoty RTV na vývody. Tyto přechody navíc nevypadají jako přímá čára, ale jako křivá čára, neboť RTV při vytečení kolem vývodů bobtná. Jako reference přesné polohy kontrolovaných oblastí se používá nástroj *ShapeTrax* hledající čelní/zadní obrys tělíška kusu.

4.3.4 OCR

Toto pracoviště je umístěno až po ostatních vzhledových kontrolách a předchází mu potisk kusů. To je z důvodu, aby se zbytečně nepotiskovaly kusy dříve vyhodnocené jako zmetky. Na pracovišti je jedna kamera snímající stranu kusu s potiskem, umístěná nad ním ve vzdálenosti 12 cm. Kamera může být blíže než na pracovištích Frontside a Backside, neboť zde se kontroluje jen tělíško kusu a ne jeho vývody. Na správnou funkci nástroje má velký vliv font písma, kterým je na kusu vypálen potisk. Některé fonty jsou pro strojové čtení nevhodné. Volbu fontu potisku je tedy doporučeno konzultovat s dodavatelem OCR systému.

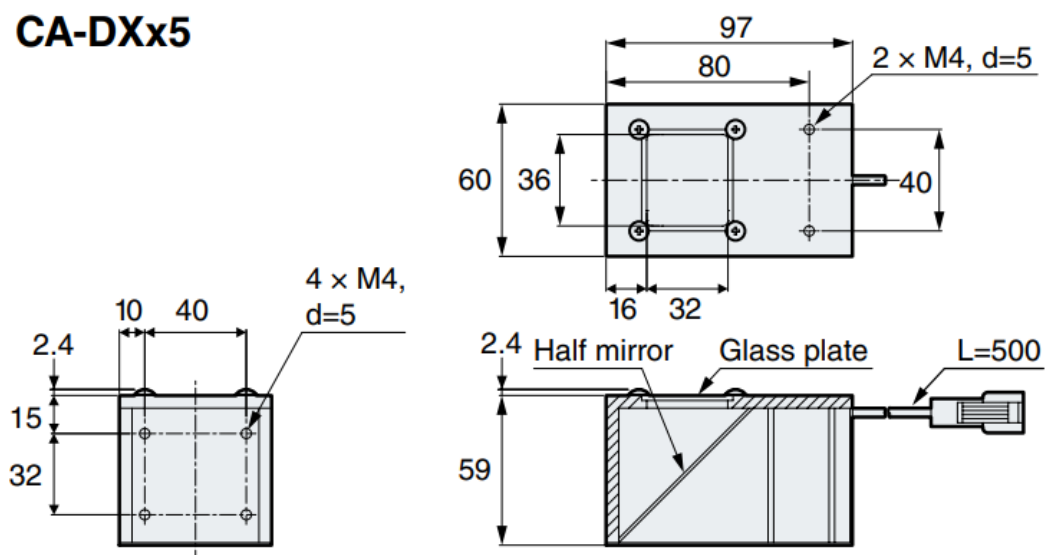
Dalším výrazným faktorem tohoto pracoviště je volba osvětlení. Bylo testováno několik možností. Nejprve bylo testováno UV světlo umístěné do vzdálenosti asi 10 cm nad povrchem kusu. Při této pozici osvětlení se potisk kusů na snímcích jevil jako černý, tyto pixely zachycovaly vylaserovanou plochu potisku a nebylo jich mnoho. Proto bylo toto osvětlení zamítnuto. Další varianta byla použití IR světla ve stejné poloze, jako UV světlo. Výsledek byl podstatně výhodnější k použití, neboť zobrazované pixely značily hrany značek a bylo jich více. Nástroj měl tedy více dat k vyhodnocení a mohl spolehlivěji vyhodnocovat znaky. Na snímcích se potisk zobrazoval jako bílý. Kvalita snímku se ještě vylepšila přiblížením světla ve vzdálenosti 2 cm od povrchu kusu. Zlepšila se tím stabilita vyhodnocování. Nakonec se jako nejlepší varianta osvětlení pro tuto aplikaci ukázalo osvětlení CA-DXW5. Je to koaxiální světlo svítící na kus odrazem od polopropustného zrcadla. Výhodou tohoto světla je, že světlo dopadá pouze kolmo na povrch kusu a odráží se zpět do kamery, takže v obrazu nejsou vidět odlesky způsobené světlem z jiných směrů.

Camera/light arrangement



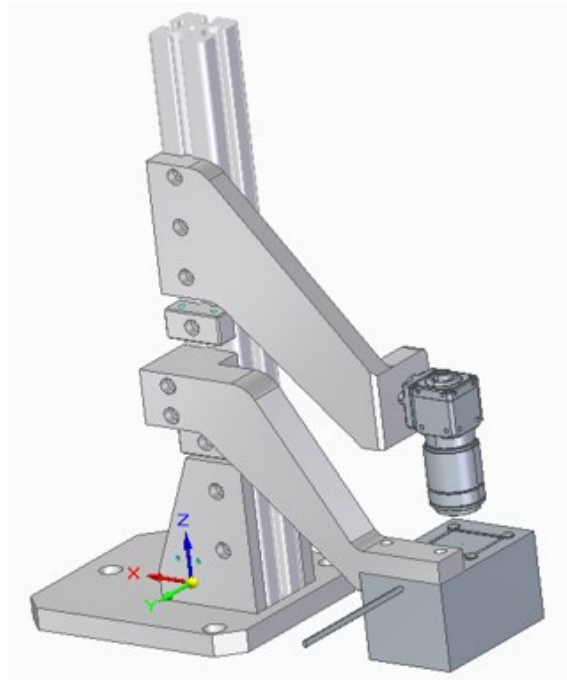
Obr. 32: Princip koaxiálního světla (5)

CA-DXx5



Obr. 33: Parametry osvětlení CA-DXW5 (5)

Nástroj pro rozpoznávání znaků se jmenuje OCR. Referencí přesné polohy kontrolované oblasti je nástroj *ShapeTrax* hledající logo firmy, které je na potisku vždy a vůči kterému se další potisk tiskne.



Obr. 34: Model sestavy pracoviště OCR vytvořený zadavatelem podle návrhu řešení autora práce

4.3.5 Návrh počtu jednotek zpracujících obraz

Kamerová řídicí jednotka vyhodnocující nástroje programu zvládne zpracovávat snímky z více kamer, tedy každá kamera nepotřebuje vlastní jednotku. Vzhledem k pořizovacím nákladům je tato vlastnost velmi vítána. Nevýhodou spojení více kamer do jednoho kontroléru je, že vzroste časová náročnost na vykonávání programu. Proto byla každému pracovišti přiřazena samostatná jednotka.

K jednotce na každém pracovišti je připojen modul pro ovládání náročnějších světel nebo více kamer.

4.3.6 Souhrn rozvržení jednotek, kamer, objektivů a světel na pracovištích

Tab. 5: Rozvržení technických zařízení na pracovištích

Typ zařízení	Název	Počet kusů celkem	Počet kusů na pracoviště			
			Frontside	Backside	Sides	OCR
jednotka	CW-X450F	4	1	1	1	1
kamera	CA-H500M	4			3	1
kamera	CA-H500MX	2	1	1		
objektiv	CA-LHR25	1			1	
objektiv	CA-LHR50	5	1	1	2	1
osvětlení	CA-DRW10X	2			2	
osvětlení	CA-DRM5X	2	1	1		
osvětlení	CA-DXW5	1				1
jednotka	CV-X450F	3	1	1	1	
jednotka	CV-X350F	1				1
světelný modul jednotky	CA-DC40E	1				1
světelný modul jednotky	CA-DC50E	1			1	
světelný modul jednotky	CA-DC60E	2	1	1		
kamerový modul jednotky	CA-E100	1				1

4.4 Fáze stavby kontrolní linky a její implementace do výroby

Zadavatel souhlasil s navrženým řešením pracovišť AOI a rozhodl se je aplikovat do nové automatické kontrolní linky. Tato kontrolní linka nebude provádět jen kontrolu optickou, ale bude obsahovat i pracoviště testující výkonové parametry výrobků a ostatní nutné testy.

V současné době probíhají práce na stavbě linky. Sestaven je rám stroje s hlavním pohonem. Jednotlivá pracoviště zatím nejsou osazena. Většina jich je v montáži a čeká na pneumatické a elektrické nastavení. Pracoviště vzhledové kontroly jsou zatím ještě ve výrobě. Linka by měla být nasazena do provozu nejdéle na jaře roku 2025.



Obr. 35: Probíhající výstavba kontrolní linky



Obr. 36: Bližší pohled na kontrolní linku

5 Časová analýza

Časově nejnáročnější program je na pracovištích Frontside a Backside, kvůli kombinaci nástrojů a především, protože snímá 3 snímky – 2 v režimu LumiTrax a 1 v režimu multispektra. Oba tyto režimy jsou časově náročné, neboť kamera snímá více snímků, jak bylo vysvětleno v kapitole 4.2.1. Jeden takový snímek trvá sejmout přibližně 250 ms. Snímek snímáný v normálním režimu trvá sejmout přibližně 50 ms. Nástroje můžeme rozdělit na rychlé a pomalé. Rychlé jsou vyhodnoceny do 10 ms a pomalé, na zpracování časově náročné, nástroje jsou vyhodnoceny do 80 ms.

V programu Frontside jsou kombinovány tři pomalé nástroje a sedm rychlých nástrojů navázané na tři snímky snímáné v časově náročných režimech. Celková časová náročnost programu odpovídá času 1060 ms.

V programu Backside jsou kombinovány čtyři pomalé nástroje a devět rychlých nástrojů navázaných na tři snímky snímáné v časově náročných režimech. Celková časová náročnost programu odpovídá času 1160 ms.

Program pracoviště Sides snímá pouze jeden snímek v normálním režimu a zároveň obsahuje jen pět rychlých nástrojů, takže jeho časová náročnost je pouze 100 ms.

Program pracoviště OCR snímá též pouze jeden snímek v normálním režimu a obsahuje šest rychlých nástrojů, takže jeho časová náročnost je pouze 110 ms.

V následujících odstavcích následuje pojednání o časové dotaci operace AOI na jednotlivých pracovištích. Z uvedených tabulek lze snadno zjistit, že navržené programy vyhovují časovým dotacím přiděleným jednotlivým pracovištím, a ještě navíc s časovou rezervou.

Výrobní linka pracuje s časem cyklu 4 sekundy na kus. Cyklus je rozdělen do dvou fází. Na pohyb kusu mezi pracovišti náleží 1 sekunda a na veškeré operace v rámci pracoviště náleží 3 sekundy. Pracoviště Frontside je časově velmi nenáročné, neboť na něm neprobíhá žádná manipulace s kusem, nýbrž jen samotná kontrola. Vozík s kusem přiveze kus pod kameru, kamera sejme snímek a při jeho vyhodnocování už může vozík s kusem odjíždět na další pracoviště. Přesné časové nároky jednotlivých operací jsou v Tab. 6. Časová rezerva operace AOI zde činí 640 ms.

Tab. 6: Časová náročnost operací na pracovišti Frontside

Operace	Časová náročnost [s]
Vozík s kusem na správném místě	0,05
Snímání, vyhodnocení	1,8
Potvrzení ukončení operace	0,05
Celková časová náročnost	1,9

Pracoviště Backside je více komplikované, neboť v základním stavu je kus na vozíku položen na opačnou stranu a pro provedení kontroly je nutné ho otočit. Proces probíhá následovně: vozík přiveze kus na pracoviště, manipulátor ho uchopí (podtlakem), kus se uvolní z vozíku a manipulátor jej překlopí. Následně kamera sejme snímek a během vyhodnocování obrazu může

manipulátor otočit kus zpět do původní polohy a položit jej zpět na vozík, kde dojde k zajištění kusu. Přesné časové nároky jednotlivých operací jsou v Tab. 7. Časová rezerva operace AOI zde činí 740 ms.

Tab. 7: Časová náročnost operací pracoviště Backside

Operace	Časová náročnost [s]
Vozík s kusem na správném místě	0,05
Překlápěč dosedne na kus	0,15
Zapnutí vakua	0,05
Odemknutí kusu z vozíku	0,05
Překlápěč překllopí kus	0,1
Ustálení kusu v klidu	0,4
Snímání a vyhodnocení obrazu	1,8
Překlápěč překllopí kus zpět	0,15
Vypnutí vakua	0,05
Překlápěč do základní polohy	0,05
Uzamčení kusu ve vozíku	0,05
Potvrzení ukončení operace	0,05
Celková časová náročnost	2,95

Pracoviště Sides je ještě náročnější na manipulaci s kusem než pracoviště Backside, protože kromě manipulace, která je stejná probíhá navíc po sejmutí prvních snímků kamer otočení kusu o 180°, sejmutí druhých snímků kamer a otočení kusu zpět o 180°. Přesné časové nároky jednotlivých operací jsou v Tab. 8. Časová rezerva operace AOI zde činí 750 ms.

Tab. 8: Časová náročnost operací pracoviště Sides

Operace	Časová náročnost [s]
Vozík s kusem na správném místě	0,05
Přísavka se přisaje na kus	0,15
Zapnutí vakua	0,05
Odemknutí kusu z vozíku	0,05
Přísavka vynese kus pod kameru	0,1
Ustálení kusu v klidu	0,2
Sejmutí a vyhodnocení obrazu	0,8
Otočení kusu 180°	0,1
Ustálení kusu v klidu	0,2
Snímání a vyhodnocení obrazu	0,8
Otočení kusu 180°	0,1
Přísavka vrátí kus na vozík	0,15
Vypnutí vakua	0,05
Přísavka do základní polohy	0,05
Uzamčení kusu ve vozíku	0,05
Potvrzení ukončení operace	0,05
Celková časová náročnost	2,95

Pracoviště OCR není náročné na manipulaci s kusem stejně jako pracoviště Frontside. Vozík přiveze kus pod kameru, kamera sejme snímek a při vyhodnocování vozík může odvézt kus na další pracoviště. Přesné časové nároky jednotlivých operací jsou v Tab. 9. Časová rezerva operace AOI zde činí 2,65 s.

Tab. 9: Časová náročnost operací na pracovišti OCR

Operace	Časová náročnost [s]
Vozík s kusem na správném místě	0,05
Snímání, vyhodnocení obrazu	2,75
Potvrzení ukončení operace	0,05
Celková časová náročnost	2,85

6 Závěr

V práci jsem zhodnotil stávající metodu provádění optické kontroly zadavatele práce včetně popisu dosud kontrolovaných vad a navrhl provádění optické kontroly automaticky na kontrolní lince. Automatický kamerový kontrolní systém jsem navrhl tak, aby detekoval všechny dosud známé vady tohoto výrobku v požadovaných pohledech a v požadovaném časovém limitu.

V kapitole Časová analýza jsem dokázal, že navržené řešení splňuje požadavky zadavatele a je reálné pro aplikaci navrženého systému do provozu zadavatele této práce.

Navržené řešení zadavateli skýtá výrazné snížení hodnocení RPN opticky kontrolovaných vad, časovou úsporu a lepší spolehlivost kontroly. Umožňuje dodavateli uspokojit zákazníka automobilového průmyslu jak z pohledu výrobní kapacity, tak z pohledu spolehlivosti a nemalou roli hraje i automatizace výrobních a kontrolních procesů zvláště při zákaznických auditech.

Navržené zařízení je tedy vhodné pro zadavatele práce, protože dle provedených analýz a testů splňuje všechny stanovené cíle.

Z této studie také vyplývá i to, že automatická optická kontrola není záležitostí pouze odvětví automotive, ale je aplikovatelná v jakémkoliv odvětví dopravy, kde je třeba opticky kontrolovat správnost výrobního procesu. U vozidel to může být např. kontrola řídicích obvodů, v infrastruktuře to může být kontrola zařízení výpočetní techniky – např. deska plošných spojů, pájené kontakty komponent a další.

Bibliografie

1. **Chaloupka, Jiří.** Účinnost 100%-ní kontroly člověkem. [Online] nedatováno. <http://www.chaloupka-kvalita.cz/ucinnost-100-procentni-kontroly-clovekem>.
2. **Consulting, MBK.** FMEA - FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS. [Online] nedatováno. <https://www.mbk.cz/podpora-firem/dalsi-nabizene-sluzby/f-m-e-a>.
3. **Sigma, Lean Six.** FMEA – Vyhodnocení rizik. [Online] nedatováno. <https://lean6sigma.cz/fmea/>.
4. **Group, Automotive Industry Action.** Příručka FMEA. Praha : Česká společnost pro jakost, z.s., 2019. ISBN 978-80-02-02885-7.
5. **Keyence.** *Vision System Peripheral Equipment*. 2020.