

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

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

# AUTOMATICKÁ OPTICKÁ KONTROLA SLÍCOVÁNÍ KOMPLETNÍCH VOZIDEL

AUTOMATIC OPTICAL INSPECTION OF FITTING COMPLETE CARS

Diplomová práce

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN BUREŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2007/08

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bureš Jan

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

obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení (2302T019)**

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

### **Automatická optická kontrola slícování kompletních vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Automatic visual check of mating complete cars**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je nahrazení pracovníků výstupní kontroly, kteří kontrolují slícování karoserie, stanovištěm automatické optické kontroly a zhodnocení přínosů po zavedení tohoto zařízení.

Cíle diplomové práce:

1. Proved'te rozbor prováděných prací výstupní kontroly v na lince montáže automobilů firmy TPCA
2. Proved'te rozbor typů optické kontroly a její současné průmyslové využití vzhledem k popisovanému pracovišti
3. Vytvořte studii proveditelnosti a navrhnete možnosti aplikace zařízení ve firmě TPCA
4. Zhodnoťte přínosy z realizace vybraných opatření

Seznam odborné literatury:

- [1] interní dokumenty TPCA
- [2] www.tpca.cz
- [3] prospekty výrobců a dodavatelů měřicí techniky
- [4] www.keri.cz
- [5] www.palstat.cz

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 25.11.2007



Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem pracoviště automatické optické kontroly slícování vozu na lince výstupní kontroly podniku TPCA.

Teoretická část popisuje linku výstupní kontroly v automobilce TPCA a provádí popis současné optické kontroly v průmyslu vzhledem k řešenému problému.

Praktická část se zabývá rozбором stávajícího stavu kontroly slícování vozů a provádí varianty návrhů pro automatickou kontrolu. Dále také hodnotí ekonomické a technické přínosy pro podnik při případném zavedení.

## **Klíčová slova**

pracoviště, měření, kontrola, slícování, automobil

## **Abstract**

This diploma thesis deals with concept of automatic inspection workplace for fitting car at assembly inspection line at TPCA as a car manufacture company.

Theoretic part is focused on the assembly inspection at TPCA and also presents a current optical inspection at the industry with regard to the topic of this thesis.

Practical part contains analysis of the current condition and workplace concept of automatic inspection and measuring method of complete car. Thereafter it brings the technical and economical contributions for this company when my concept implemented.

## **Keywords**

workplace, measurement, inspection, fitting, car



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce v TPCA Ing. Martinu Paulovičovi za podnětné rady a připomínky při řešení diplomové práce, stejně tak jako ostatním zaměstnancům TPCA. Dále děkuji vedoucímu práce Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D. za rady a připomínky. V neposlední řadě také děkuji rodině, která mě podporovala při mém studiu a při řešení diplomové práce.





## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce, s využitím uvedené odborné literatury a pramenů.

V Brně dne 21.5.2008

.....  
Jan Bureš



**OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>VÝROBNÍ SYSTÉM TOYOTA A VÝSTUPNÍ KONTROLA KVALITY ...</b>	<b>17</b>
2.1	KONTROLA KVALITY V TPCA .....	17
2.2	ROZVRŽENÍ MONTÁŽNÍ LINKY A VÝSTUPNÍ KONTROLY .....	18
2.3	ZPŮSOB ZAPISOVÁNÍ ZÁVAD A JEJICH ŘEŠENÍ.....	18
2.4	ROZVRŽENÍ PROCESŮ KONTROLY KVALITY .....	19
2.5	KONTROLA MONTÁŽE (ASSEMBLY INSPECTION).....	19
2.5.1	<i>Kontrola specifikace kabeláže (Assembly Inspection In-line trim)</i> .....	19
2.6	KONTROLA PODVOZKU (ASSEMBLY INSPECTION IN-LINE CHASSIS) .....	20
2.6.1	<i>Kontrola exteriéru (Assembly Inspection Lh/Rh Exteriér)</i> .....	20
2.6.2	<i>Kontrola přední a zadní masky (Assembly Inspection Fr/Rr Mask)</i> .....	21
2.6.3	<i>Kontrola interiéru (Assembly Inspection Interier)</i> .....	21
2.6.4	<i>Kontrola motorového prostoru (Assembly Inspection E/G)</i> .....	21
2.6.5	<i>Kontrola specifikace (Assembly Inspection Specification)</i> .....	21
2.6.6	<i>Kontrola kvality laku (Assembly Inspection Paint Quality)</i> .....	21
2.6.7	<i>Oprava na lince (In-Line Repair)</i> .....	22
2.7	ZKOUŠKY FUNKČNOSTI VOZIDLA (VEHICLE PERFORMANCE INSPECTION) .....	23
2.7.1	<i>Bezkontaktní nastavení vozu (NCA)</i> .....	23
2.7.2	<i>Zkoušky funkčnosti na válcích (R&amp;B)</i> .....	23
2.7.3	<i>Kontrola po R&amp;B (PIT)</i> .....	23
2.7.4	<i>Kontrola těsnosti (Waterleak/Shower)</i> .....	24
2.7.5	<i>Prodejní linka (Sales line)</i> .....	24
2.8	AUDIT .....	25
2.8.1	<i>Regulace</i> .....	25
2.8.2	<i>Audit z pohledu zákazníka</i> .....	25
2.8.3	<i>Vstupní kontrola materiálu</i> .....	26
<b>3</b>	<b>OPTICKÁ KONTROLA A JEJÍ VYUŽITÍ V PRŮMYSLU .....</b>	<b>27</b>
3.1	OPTICKÉ ZAŘÍZENÍ S CCD KAMEROU.....	27
3.1.1	<i>Snímání obrazu</i> .....	27
3.1.2	<i>Základy zpracování obrazu</i> .....	27
3.1.3	<i>Schéma zapojení</i> .....	28
3.1.4	<i>Vyhodnocování výsledků</i> .....	29
3.1.5	<i>Příklady použití</i> .....	29
3.2	OPTICKÉ ZAŘÍZENÍ S POLOVODIČOVÝMI LASERY .....	31
3.2.1	<i>Princip laserových sond</i> .....	31
3.2.2	<i>Měření třetího rozměru - triangulace</i> .....	31
3.2.3	<i>Schéma zapojení a vyhodnocení výsledků</i> .....	31
3.2.4	<i>Bezpečnost laserů</i> .....	32
3.2.5	<i>Příklady použití</i> .....	32
3.3	VÝROBCI.....	33
<b>4</b>	<b>SOUČASNÝ STAV KONTROLY SLÍCOVÁNÍ.....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>NÁVRHY PRACOVIŠTĚ.....</b>	<b>35</b>
5.1	MĚŘICÍ MÍSTA .....	35
5.2	UMÍSTĚNÍ PRACOVIŠTĚ .....	37
5.3	VÝBĚR MĚŘICÍ SONDY.....	38
5.3.1	<i>Porovnání kamera/laser</i> .....	38
5.3.2	<i>Výběr zařízení</i> .....	39
5.4	NÁVRH PRACOVIŠTĚ – STATICKÉ UMÍSTĚNÍ SOND .....	41

5.4.1	<i>Měření zadní masky vozidla</i> .....	41
5.4.2	<i>Měření boků vozidla</i> .....	45
5.4.3	<i>Schematické zapojení pracovišť</i> .....	49
5.5	<b>NÁVRH PRACOVIŠTĚ – UMÍSTĚNÍ SOND NA ROBOTECH</b> .....	50
5.5.1	<i>Návrh robotů a příslušenství</i> .....	50
5.5.2	<i>Ostatní prvky robotizovaného pracoviště</i> .....	51
5.5.3	<i>Umístění robotů a rozvržení pracoviště</i> .....	51
5.5.4	<i>Schéma zapojení pracoviště</i> .....	53
5.6	<b>VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	53
<b>6</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ, VÝBĚR VARIANTY A PŘÍNOSY PRO PODNIK</b> .....	<b>54</b>
6.1.1	<i>Ekonomické zhodnocení varianty č.1 – statické umístění sond</i> .....	54
6.1.2	<i>Ekonomické zhodnocení varianty č.2 -</i> .....	55
6.1.3	<i>Porovnání variant a doporučení výběru varianty</i> .....	56
6.1.4	<i>Přínosy pro podnik</i> .....	57
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>61</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>63</b>

## 1 ÚVOD

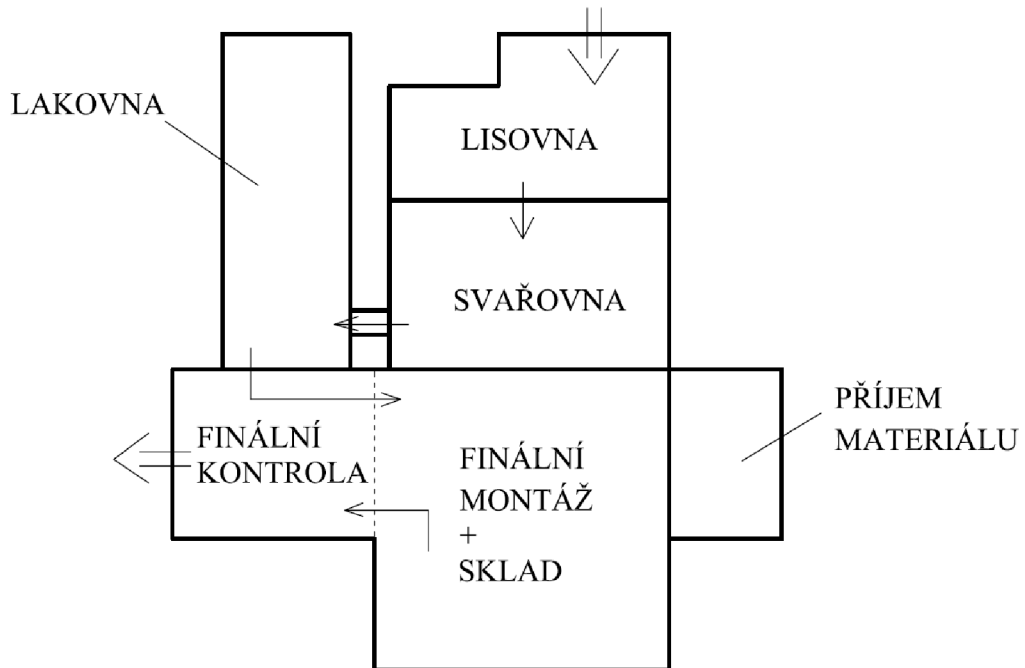
Kontrola kvality je v současné době velmi důležitá. Závisí na ní jakost výrobku a na jakosti výrobku zase závisí úspěch na trhu z důvodu silné konkurence. Moderní výrobní podniky mají proto zaveden důkladný systém kontroly, která eliminuje vadu výrobku. V zásadě lze tento systém rozdělit na dvě části a to: vstupní kontrola dílů a výstupní kontrolu jak montážních dílů, tak i celé karoserie.



Obrázek 1-1 logo TPCA [1]

Mezi moderní podniky, které tento systém běžně využívají, se řadí i automobilka TPCA. Je to koncern značek Toyota, Peugeot a Citroën, který v roce 2003 zahájil stavbu továrny pro výrobu modelů Toyota AYGO, Peugeot 107 a Citroën C1 (obr. 1 – 3), což jsou vozy řadící se do třídy nejmenších vozů (mini). Komerční výroba byla zahájena 28. února 2005. V závodě se vyrobí okolo 1100 aut denně, čas taktu (tact time) je v současné době 56s, což jednoduše řečeno znamená, že každých 56 sekund sjede z linky automobil. Výroba všech tří modelů je rovnoměrně rozdělena a 99% výroby je exportováno převážně do zemí západní Evropy, kde je o tyto vozy velký zájem.

Automobily vznikají ve výrobních halách, které jsou uspořádány takto: Lisovna – ze svitků plechů se zde vyrábí karosářské díly. Svařovna – jednotlivé díly jsou sestaveny a na plně robotizované lince svařeny do kompletní karoserie. Lakovna – zde se karoserie ošetří antikoročním povlakem a nalakuje se. Montáž a kontrola kvality – na montážní lince, skládající se ze 4 částí, se do nalakované karoserie montují jednotlivé díly, na jejímž konci sjíždí kompletní automobil přímo do oddělení kontroly kvality, kde každý vůz projde náročnou kontrolou. Schéma továrny je na obr. 1-2.



Obrázek 1-2 rozvržení továrny TPCA



Obrázek 1-3 výrobní program TPCA [1]

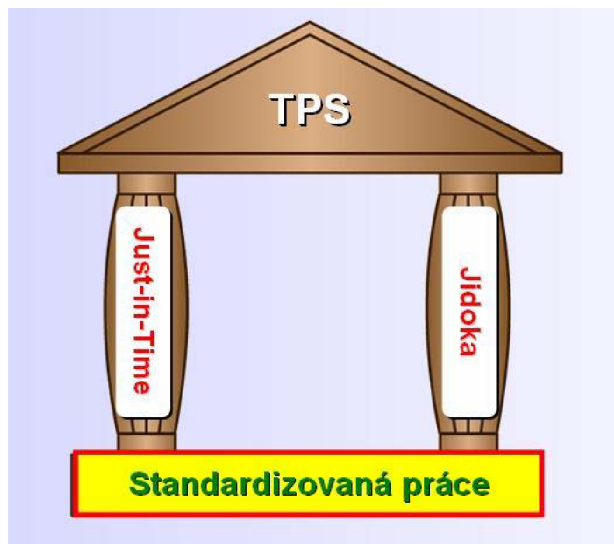
Cílem mojí práce je provést rozbor prací na výstupní kontrole v automobilce TPCA a rozbor současných optických kontrol v průmyslu a na základě těchto informací vytvořit návrh automatické optické kontroly slícování karoserie, která nahradí pracovníky výstupní kontroly. Toto opatření by mělo zrychlit a zpřesnit kontrolu karoserie, odstranit namáhavou monotónní práci, ale zároveň být ekonomicky výhodné s přínosy pro podnik. Omezujícími faktory jsou v tomto případě stísněné prostory v místech, kde se předpokládá umístění zařízení a fakt, že automobil se pohybuje po páse a nelze jej zastavit.

## 2 VÝROBNÍ SYSTÉM TOYOTA A VÝSTUPNÍ KONTROLA KVALITY

### 2.1 Kontrola kvality v TPCA

Kvalita za rozumnou cenu je jednou z hlavní prioritou výrobního systému Toyota (Toyota production system), kterým se řídí i koncem TPCA. Proto má tento podnik rozsáhlé oddělení finální kontroly, kde se každý vůz podrobuje důkladné kontrole montáže, vzhledu a zkoušek funkčnosti vozidla.

Výrobní systém Toyota má dva hlavní pilíře, just-in-time a jidoka a základnu, což je standardizovaná práce.



Obrázek 2-1 schéma TPS [2]

Just In Time (JIT) je výroba, která vyrábí a dodá jen to, co je vyžadováno, a přesně tehdy, kdy je to třeba, a přesně v tom množství, ve kterém je třeba. JIT a Jidoka jsou dva pilíře výrobního systému Toyoty. JIT spoléhá na vyrovnání výroby a má tři důležité elementy: systém tahu, čas taktu a nepřetržitý proud. [10]

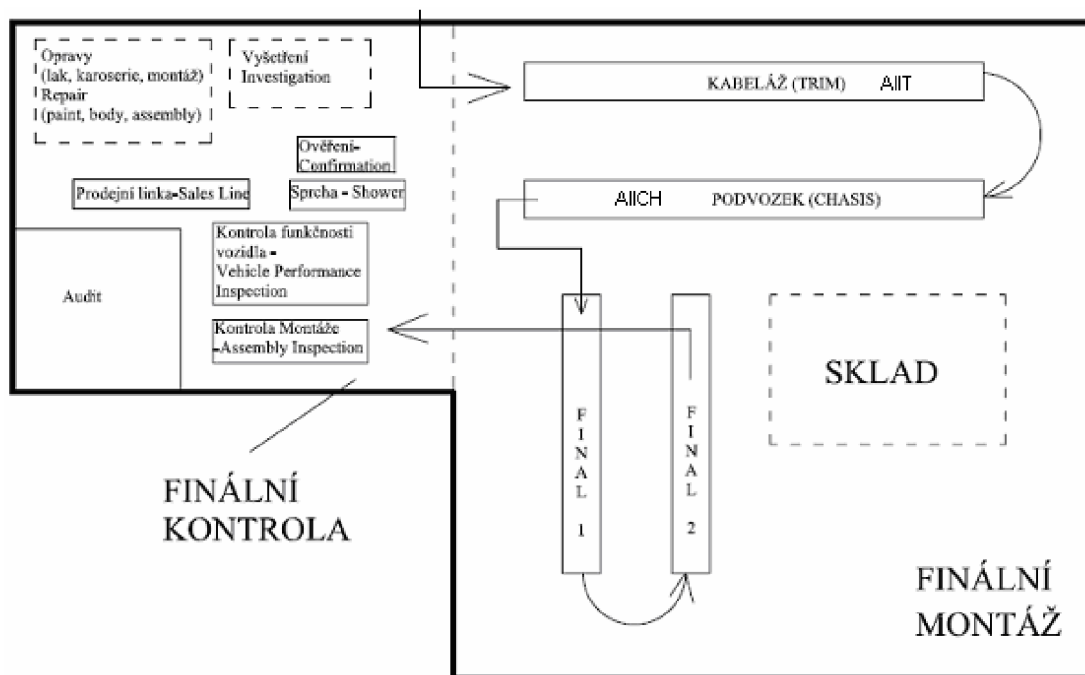
Jidoka je zásadní princip výroby v podniku, která umožní pracovníkům detekci nenormálního stavu a okamžitě zastavit práci. Tento postup umožní zabudovat kvalitu do každého procesu. Tím, že se práce zastaví při detekci chyby, se pozornost soustředí na příčinu problémů v okamžiku, kdy nastanou. To vede k zlepšení, které se zabuduje do procesu. [10]

Základem je standardizovaná práce, což jsou přesně určené procedury pro každého operátora ve výrobním procesu. Zakládá se na třech základech: taktovací čas, přesná sekvence výrobních operací, standardní rozpracovaná výroba. Standardizovaná práce je předmětem neustálého zlepšování. Poskytuje dokumentaci procesu pro každou směnu, snižuje nežádoucí kolísavost výkonu, usnadňuje zaškolení nových operátorů, snižuje nehody a stres a je výchozím bodem pro zlepšování. [10]

Tento systém jako celek podporuje kvalitu výrobku a usnadňuje výstupní kontrolu výrobku.

## 2.2 Rozvržení montážní linky a výstupní kontroly

Pro snazší orientaci při popisu jednotlivých úkonů výstupní kontroly je zde přiložen plán rozvržení (layout) montážní linky a výstupní kontroly, který vychází z obr.1-2. Je to jen hrubý náčrt, podrobné rozvržení procesů kontroly kvality je v příloze 1.



Obrázek 2-2 Rozvržení montážní linky a výstupní kontroly

## 2.3 Způsob zapisování závad a jejich řešení

Vozidlo od první stanice kontroly provází specifikační list (SPEC SHEET - obr. 2-3), což je list, kam se zapisují objevené závady. Tento list obsahuje náčrtek vozidla, do kterého se závada zakreslí a popíše. Zároveň se závada označí na vozidle fosforovou nálepkou. Ke každému zkontrolovanému úseku na vozidle je na SPEC SHEETu kolonka, kam pracovník kontroly umístí razítko se svým jménem. Tím je zajištěno zpětné dohledání pracovníka, který vůz kontroloval.

Po průchodu auta celou montážní linkou a výstupní kontrolou je SPEC SHEET zkontrolován pracovníkem před prodejní linkou (SALES LINE). Pokud jsou na vozidle závady, vozidlo se přemísťuje do opravy (REPAIR), kde se závada odstraní.

Jestliže není jasné jak závada vznikla, vůz přechází do oddělení vyšetřování závad (INVESTIGATION). Tento úsek vyšetřuje způsob vzniku závad a posuzuje, jestli chyba vznikla nesprávnou montáží, chybou dílu nebo jinými okolnostmi.

Po návratu z dvou předchozích oddělení nejedou auta přímo na prodejní linku, ale musí ještě projít stanovištěm ověření (CONFIRMATION), kde se ověří, jestli byla závada odstraněna. Pokud je vše v pořádku, teprve potom může být vůz prodán.

Na SPEC SHEETu je vyznačen údaj (KATASHIKI), který je důležitý z hlediska identifikace vozu. Je v něm zakódováno druh motoru, model, řízení (pravé/levé), typ karoserie (3/5dveří), řazení a výbava.



**TOYOTA TPCA Inspection Spec. Sheet AI (NO)**

DATE / No.	V. I. No.	VEHICLE TYPE	TRIM	COLOR
272 013	JTDJG12C62N239944	KGB 10L AGMRKW	FC10	3P3

SPECIFICATION ITEM	SPEC.	DEFECT	REPAIR	CONFIRM
1 FR MARK	TOYOTA			
2 FR BUMPER	S PROTEKTOREM			
3 TIRE BRAND	CONTINENTAL			
4 SSC WHEEL	PLECH			
7 HUB BOLT	DUTY			
9 OUTER MIRROR	BILA / CERNA			
10 BLACK OUT TAPE	BEZ			
11 URBAN MOVE STICKER	BEZ			
12 DOOR OUTSIDE HANDLE	CERNA			
13 SIDE P. MOULDING	BEZ			
14 VIN LABEL	BEZ			
15 NAME PLATE	T1 (TME) 9544			
16 TIRE PRESSURE LABEL	PS			
17 FR SEAT BELT	3R:3L			
18 RR DOOR W/S	BEZ			
19				
20 KEY SET	TOYOTA			
21				
22 RR COMBINATION LAMP	CERVENA			
23 BACK DOOR GLASS	TOYOTA			
24 RR NAME MARK	TOYOTA AYGO			
25 BACK DOOR OPENER	KLJC			
26				
27				
28 BACK DOOR STAY	BILA(T)			
29				
30 RR SIDE INNER GARNISH	STD			
31				
32 ANTENA	S			
33				
34 TOOL & JACK & HOOK	S			
35 MOLE PLUG (N1)	-			
36 PKG TRAY+DECK+TRIE COVER	-			
37				
38 LOWER BACK PROTECTOR	S			
39 WHEEL CAP	FULL TOYOTA			
40				
41				
42 FUEL LABEL	ZELENA(UNLEADED)			
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52 POWER WINDOW & LOCK SW	BEZ			

SPECIFICATION ITEM	SPEC.	DEFECT	REPAIR	CONFIRM
53 SEAT BELT WARNING	SUZZER+UKAZATEL			
54 TACHO METER	BEZ			
55 RADIO	ULOZENY PROSTOR			
56				
57 SHIFT LEVER & KNOB	MT			
58 CONSOLE BOX	MT			
59				
60 AIR BAG(PAD)	TOYOTA			
61				
62 FR BUMPER HOLE COVER	BARVA			
63				
64 SUN VISOR(RH)	F			
65 SUN VISOR(LH)	BEZ OZNACENI			
66 FR SIDE INNER GARNISH	STD			
67 COLOR PACKAGE	BEZ			
68				
69				
70 SEATSET	YV180			
71 FR SEAT	STD			
72 RR SEAT	SPOJENE			
73 RR SEAT FITTING PARTS	-			
74 RR HEADREST	BEZ			
75 RR HEATER DUCT	BEZ			
76				

W: WRONG PART / ND: NESPRAVNY DIL  
M: MISSING PART / CH: CHYBEJICI DIL  
S: SCRATCH / SK: SKRABNUTI  
D: DAMAGE / PO: POSKOZENI  
A: ASSEMBLY DEFECT / VM: VADA MONTAZE

U: UNNECESSARY / NR: NADBYTECNY  
P: PART DEFECT / VD: VADNY DIL  
L: LOOSE / UV: UVOLNENY  
C: CLEAN UP / SP: SPINAVY

NOTE:

FRONT EXTERIOR	SPECIFICATION	LH PAINT	RH PAINT	COMPARISON

Obrázek 2-3 Spec sheet [2]

## 2.4 Rozvržení procesů kontroly kvality

Rozvržení procesů je v příloze 1, kde jsou očíslovány jednotlivé stanoviště. V následujících kapitolách jsou popsány jak tyto stanoviště, tak i úkony s nimi spjaté.

Výstupní kontrola se člení na čtyři části, jsou to kontrola montáže neboli ASSEMBLY INSPECTION (AI), zkoušky funkčnosti vozidla což je VEHICLE PERFORMANCE INSPECTION (VPI), poté zkoušky těsnosti (waterleak/SHOWER) a na závěr prodejní linka neboli SALES LINE.

## 2.5 Kontrola montáže (Assembly Inspection)

### 2.5.1 Kontrola specifikace kabeláže (Assembly Inspection In-line trim)

Jako první stanoviště, které spadá pod výstupní kontrolu kvality, je kontrola dílů, které budou zakryty. Nachází se na prvním úseku montážní linky TRIM (viz. obr.2-2 - AIIT). Zde má jeden pracovník za úkol do vytisknutého SPEC SHEETu zapsat jakoukoli závadu, která se vyskytne po montáži elektroinstalace a dílů, které budou zakryty a již k nim nebude možný přístup. Zde je i snaha opravit závadu na místě, kvůli již uvedeným důvodům. Po zapsání všech závad se SPEC SHEET zastrčí do závěsu, na kterém vůz projíždí montážní linkou, kde je připraven pro další stanoviště.

## 2.6 Kontrola podvozku (Assembly Inspection In-line chassis)

Druhé pracoviště kontroly je umístěno na druhém úseku montážní linky CHASSIS (viz. obr.2-2 - AIICH). Na této části linky se do karoserie usazuje motor, montuje se přední a zadní náprava, nádrž, brzdové hadičky atd. Pracoviště kontroly je umístěno téměř na konci této části. Zaměstnanci zde kontrolují podvozek na předem daných místech a zjišťují pohledem a poklepem, zda jsou důležité šroubové spoje řádně dotaženy a zda jsou správně namontovány dílce podvozku. Opět se vše zapíše do SPEC SHEETu, který se pak zastrčí do výfuku.



Obrázek 2-4 Assembly Inspection In-line chassis

### 2.6.1 Kontrola exteriéru (Assembly Inspection Lh/Rh Exteriér)

Vůz doputuje přes linky FINAL 1, 2 (kompletace vozu do finální podoby), přes TOUCH UP (karosáři zde rovnají dveře a kapotu) a stanoviště lepení ochranných lišt na dveře vozu, na první stanoviště kontroly montáže (AI). Zde dva operátoři kontrolují vozidlo z obou stran, postupují odpředu dozadu a zaměřují se na slícování všech dílů, které jsou na boku vozidla. Kontrola probíhá pohledem, pokud se ale pracovníkovi zdá, že rozměr neodpovídá standardu, použije k ověření plastovou měрку. Dále se na tomto stanovišti hodnotí přesah jednotlivých dílů. Ohled se bere i na správný chod dveří při zavírání a otevírání, stejně tak funkčnost zámků, klik, stahování oken a jejich těsnění. Všechny závady se zapíší do SPEC SHEETu, který se na AI tiskne pro zápis závad nalezených na této kontrole, od této chvíle vůz provázejí SPEC SHEETy dva.

### **2.6.2 Kontrola přední a zadní masky (Assembly Inspection Fr/Rr Mask)**

Další pracoviště zahrnuje kontrolu přední a zadní masky. Kontrolu provádí jeden pracovník a zde se podobně jako u předchozího procesu zaměřuje hlavně na slícování dílů kapota – blatníky, kapota – přední nárazník, poté pracovník přejde k zadní části vozu, kde se zaměří na zadní sklo, které je zároveň třetími/pátými dveřmi karoserie. Dává pozor na závěsy skla, slícování s boky karoserie a nárazníkem, na správnou montáž třetího brzdového světla atd. Zároveň také otevře tyto dveře a zjišťuje jejich správný chod, těsnění, prostor kufru, ale i správnost symbolů jednotlivých značek a dalších věcí, které jsou uvedeny ve standardu.

### **2.6.3 Kontrola interiéru (Assembly Inspection Interior)**

Na tomto stanovišti se kontroluje kompletně celý interiér vozu a zároveň se speciální zařízením aktivuje řídicí jednotka motoru. V interiéru pracovník postupuje od kontroly koberece a pedálů nahoru přes volant a přístrojovou desku ke středovému panelu, kde zkouší funkčnost rádia, topení a další ovládací prvky, dále prohlédne sedačky, vyzkouší pásy. Pohledem také kontroluje vnitřní strany dveří, plastové kryty boků a strop vozidla, zaměřuje se na díly, které jsou náchylné na poškrábání a na správnost montáže jednotlivých komponent interiéru. Vše musí být na své místě správně uchyceno a neponičeno. Seběmenší závada se opět zapíše do SPEC SHEETu a tento list se položí na přední sklo.

### **2.6.4 Kontrola motorového prostoru (Assembly Inspection E/G)**

Stanoviště se zabývá nejen kontrolou motorového prostoru, ale operátor se zaměřuje i na motor. Prohlíží a popřípadě silou zkontroluje správnost montáže. Bere ohled na baterii, chladič, různé senzory, kabeláž, všechna potrubí, čistič vzduchu, pohledem zkontroluje všechny kapaliny v nádobkách, ale také kontroluje kryty a symboly a popisky na nich, tlumící výplň kapoty a motorového prostoru, vše musí být správné.

### **2.6.5 Kontrola specifikace (Assembly Inspection Specification)**

Hlavním úkolem tohoto pracoviště je kontrolovat, zda vůz obsahuje všechny náležitosti, které zákazník uvedl v objednávce. Dále je také určitá pravděpodobnost, že se jistý díl zamění. Z hlediska funkčnosti a bezpečnosti toto nemá vliv, ale z estetického hlediska je tato kontrola důležitá. Dva pracovníci kontrolují vše, od drobností jako je například barva obroučky otáčkoměru až po správnost klíčů od zámků dveří, palivové nádrže a zapalování.

### **2.6.6 Kontrola kvality laku (Assembly Inspection Paint Quality)**

Posledním kontrolním místem na AI je kontrola laku. Nekontroluje se přímo kvalita laku ale škrábance, protože vozidlo je, od chvíle co vyjede z lakovny, vystaveno mnoha operacím, kde je velké riziko poškrábání a to i přes to, že některé díly jsou chráněny kryty. Opět dva kontrolóři pozorují vozidlo z levé a z pravé strany pod silným rovnoměrným světlem. Zaměřují se na boky, střechu, kapotu a další lakované díly a snaží se odhalit sebemenší poškození. Objevená chyba se viditelně označí a zapíše do SPEC SHEETu.

### 2.6.7 Oprava na lince (In-Line Repair)

Tímto je AI u konce. Následuje pracoviště In-Line Repair, jehož hlavním úkolem je oprava vad, které výstupní kontrola do současné doby odhalila. Tuto práci má na starost několik pracovníků, kteří musí během času dvou takt time zvládnout opravit odhalenou závadu. Pokud se tak nestane, vůz musí po absolvování VPI a SHOWER na příslušnou opravu do části REPAIR.

Dalším úkolem je závady zapsat do systému. Je to z důvodu přehledu, ale také kvůli zpětné odezvě pro jednotlivé pracoviště, kde se chyba montáže vyskytla. Pracoviště pak hledají opatření, aby se tato chyba neopakovala.

Následuje už jen konfirmace oprav, což znamená, že kontrolor ověří, zda byly nalezené chyby správně opraveny. Za tímto stanovištěm automobil přebírají řidiči, kteří ho přepraví do sekce VPI. Avšak pokud auto nejde nastartovat nebo má motor nepravidelný chod, odtlačí se přímo na diagnostiku a opravu motorů, které přímo sousedí s AI.



Obrázek 2-5 linka AI

## 2.7 Zkoušky funkčnosti vozidla (Vehicle Performance Inspection)

### 2.7.1 Bezkontaktní nastavení vozu (NCA)

První ze tří stanovišť zkoušek funkčnosti právě vyrobených vozů je NCA. Test začíná už před samotným příjezdem na stanovené místo, a to na konci AI, kde pracovník VPI nastartuje vozidlo a převezze ho před NCA. Další tester přebírá vůz a najíždí na NCA přes silné roxory, které způsobují rozhoupání karoserie. Operátor má za úkol poslechem zjistit případné nedostatky montáže nebo dílů, které na sebe upozorní nepříjemnými zvuky.

Po ustavení automobilu na místo se započne se zkouškou. Zde se zjišťuje výkon a nastavení hlavních světlometů, seřizuje se geometrie kol pomocí laserových měřidel a volant se ustavuje do správné polohy. Všechny tyto úkony zaberou více času než je takt time (okolo 90s), proto jsou v provozu současně 2 až 3 pracoviště.

### 2.7.2 Zkoušky funkčnosti na válcích (R&B)

R&B neboli roll and break je pracoviště, které se nachází v odhlučněné komoře. Je to z toho důvodu, že je zde umístěna motorová brzda. Automobil se na této brzdě rozjíždí postupným řazením na rychlost 120km/h, přitom řidič musí sledovat LCD panel, který ukazuje charakteristiky motoru. Na této rychlosti vozidlo setrvává 10s a následuje zkouška brzd. Pracovník prudce brzdí až do zastavení kol. Zde se sleduje účinnost brzd a kontrolují další ukazatelé, všechny parametry musí být v mezích. Během této zkoušky ještě pracovník zkouší funkčnost páček pod volantem, funkci rádia, topení a dalších ovládacích prvků vozidla. Musí také kontrolovat funkci všech venkovních světel pomocí zrcadel, které jsou nainstalované ve zkušební komoře.

### 2.7.3 Kontrola po R&B (PIT)

Dalším stanovištěm VPI je PIT neboli jáma. Vozidlo najede nad montážní jámu, kde pracovník kontroluje, zda po výkonových testech je vše v pořádku. Zaměřují se na motor, převodovku, brzdové vedení a brzdy a hledají případné úniky provozních kapalin.



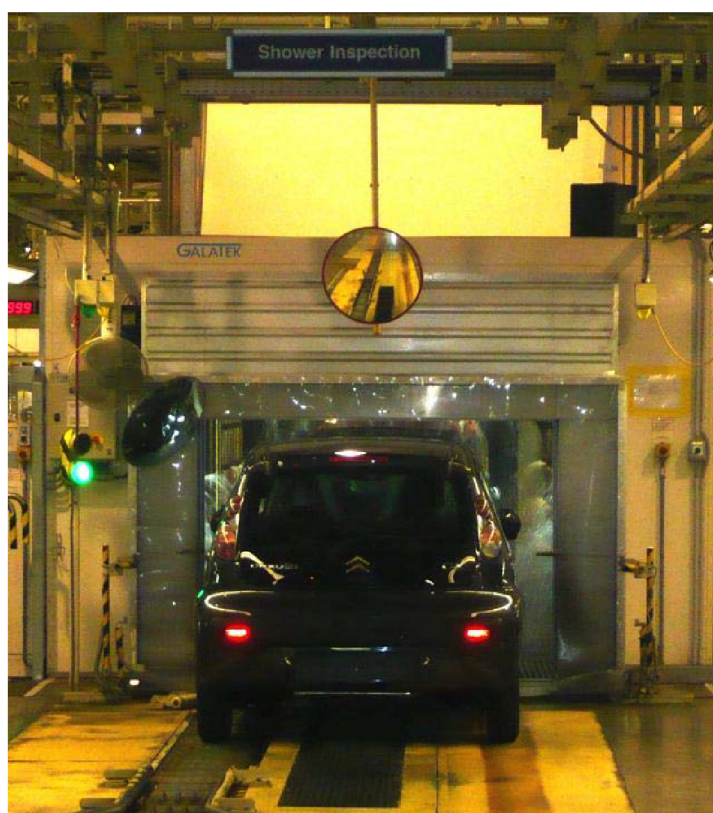
Obrázek 2-6 VPI (vzadu komory R&B, v popředí PIT)

### 2.7.4 Kontrola těsnosti (Waterleak/Shower)

Shower neboli sprchový box dlouhý přes 15 metrů, kde jsou vozy skrápěny proudy vody. Tato průjezdní linka se dá rozdělit na 3 části:

1. stanoviště – řidič najede levým předním kolem do drážky vlečného pásu před shower box a vyzkouší funkci stěračů a ošťikovačů (obr. 2-7)
2. stanoviště – samotný automatizovaný průjezd boxem
3. stanoviště – kontrola těsnosti, kde pracovník otevře všechny dveře a hledá náznaky netěsnosti, pokud je nějaký problém, vozidlo musí na REPAIR

Po této kontrole vozidlo přejíždí na prodejní linku, pokud ovšem projde úspěšně všemi předchozími testy.



Obrázek 2-7 sprchový box

### 2.7.5 Prodejní linka (Sales line)

Prodejní linka je závěrečným místem výstupní kontroly. Do vozidla se namontuje airbag řidiče, který se hned poté aktivuje. Dále se zde na kapotu a střechu vozidla nalepí ochranné fólie, které zamezují poškrábání nejvíce exponovaných součástí během přepravy k zákazníkovi. Poté projde vůz znovu kontrolou poškození laku, která má za úkol zjistit oděrky na karoserii, které mohly vzniknout během kontroly. Tuto činnost už provádí pracovníci distributorské společnosti, které je automobil prodán.

## 2.8 Audit

Audit je speciální oddělení výstupní kontroly, které se dělí na 3 části:

1. regulace
2. audit z pohledu zákazníka
3. vstupní kontrola barev karoserie a ocelových svitků pro výlisky částí karoserie.

### 2.8.1 Regulace

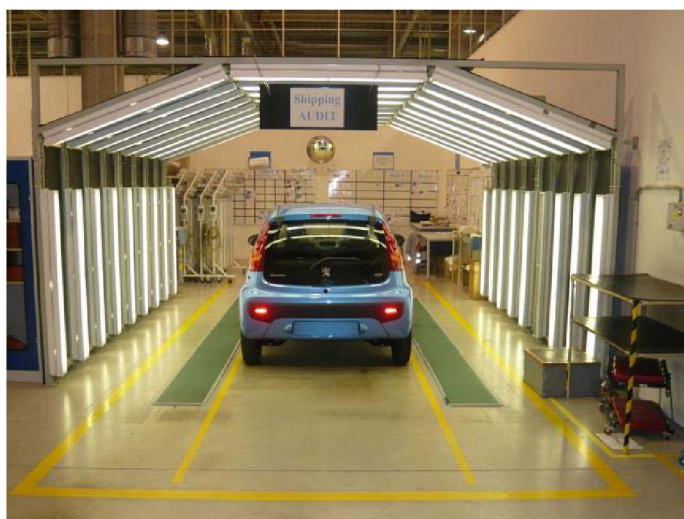
Část regulace se zabývá měřením hodnot, které TPCA dalo na začátku výroby Evropské komisi. Je to standart, podle kterého by všechna auta měla být vyráběna a plnit limity naměřených hodnot. Regulace se zabývá měřením emisí, výkonem světel, rozměry a váhou vozidla, hlasitosti klaksonu a vnějšího hluku vozidla. Vozidla se vybírají náhodně a bere se od každého modelu tři a pětidvéřová varianta. Výsledky měření se musí uchovávat, protože se neposílají přímo Evropské komisi, ale jednou za určitou dobu se provádí kontrola vyslaná Evropskou komisí.

### 2.8.2 Audit z pohledu zákazníka

V této části pracovníci oddělení mají za úkol vžít se do role zákazníka a podle protokolu postupně procházet celý vůz. Audit si vybírá 16 aut denně, které bere náhodně z prodejní linky. Opět musí být od každého modelu zastoupeny jak tři a pětidvéřové varianty, tak i varianty různých barev, které jsou vybírány podle testovací matice. Audit má ještě dělení na denní a měsíční.

Denní audit znamená, že se každý den kontrolují na vzorcích záležitosti jako jsou jízdní vlastnosti na testovací dráze, utahovací momenty důležitých šroubů na podvozku, funkčnost ovládacích prvků a funkčnost dílů podobně jako na VPI. Dále vzhled vozidla, což je kontrola škrábanců a závad laku, kontrola těsnosti a kontrola geometrie kol.

Měsíční audit vyhodnocuje rozměry pedálů, odpor řízení, návratnost volantu, měření brzd, minimální rychlost zavírání dveří a vnitřní hluk vozidla.



Obrázek 2-8 pracoviště auditu

### **2.8.3 Vstupní kontrola materiálu**

V laboratoři se měří různé vlastnosti barev a laků a ve zkušebně se měří vzorky ocelových plechů, ze kterých jsou vyráběny karoserie.



### 3 OPTICKÁ KONTROLA A JEJÍ VYUŽITÍ V PRŮMYSLU

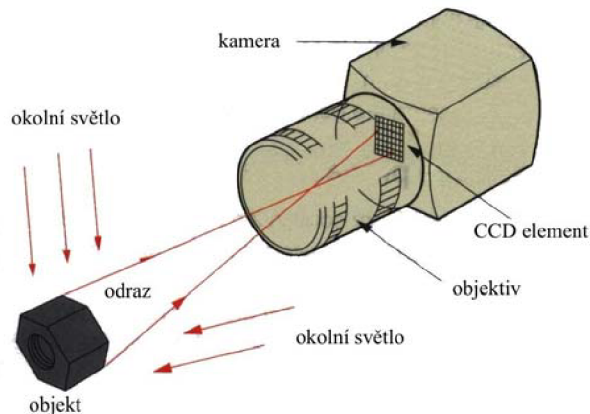
Optická kontrola a vůbec optická zařízení mají v dnešním průmyslu stále větší uplatnění. Optická zařízení jsou oproti lidské kontrole přesnější, rychlejší, relativně bezchybná a neunavující se. Výsledky měření jsou digitálně uchovávány a dají se kdykoli použít pro analýzu.

Z hlediska diplomové práce se pro inspekci obdobných součástí používají systémy vybavené buď CCD kamerou nebo polovodičovými lasery CCD prvkem. V následujících kapitolách jsou uvedeny typy, principy, možnosti využití a výrobci uvedených optických systémů.

#### 3.1 Optické zařízení s CCD kamerou

##### 3.1.1 Snímání obrazu

Proces snímání obrazu převádí obraz objektu na analogový signál skrz objektiv a CCD čip, signál se musí zpracovat a poté s tímto signálem můžeme provádět různé operace jakou jsou například počítání obsahu, délky, určování polohy nebo množství objektů. Na obrázku 3-1 je zachycen princip CCD kamery.



Obrázek 3-1 princip snímání obrazu [3]

##### 3.1.2 Základy zpracování obrazu

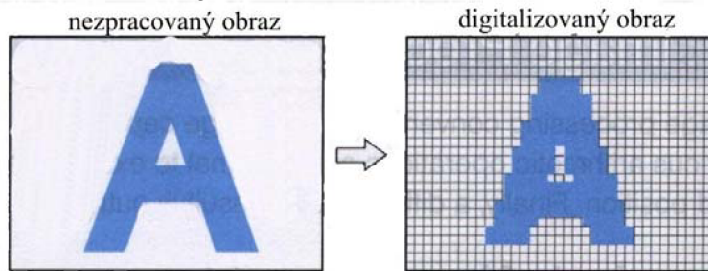
Zpracování obrazu má několik základních úkonů:

1. digitalizace
2. předzpracování
3. segmentace obrazu
4. popis objektů
5. klasifikace

##### Digitalizace

Tento proces převádí analogový signál z kamery na digitální tak, že pomocí vzorkování je obraz převeden do matice bodů (obr. 3-2). Tyto body se nazývají pixely a je u nich velmi

důležitá vzdálenost mezi nimi. Další důležitou informací je barva jednotlivých pixelů, při digitalizaci se pixely buď převádí na barevnou škálu RGB nebo na šedou stupnici, která u některých aplikací zcela dostačuje.



Obrázek 3-2 digitalizace [3]

### Předzpracování

Nevhodné podmínky během snímání mohou zapříčinit špatnou kvalitu obrazu, proto se po digitalizaci používají 3 základní postupy, které kvalitu zlepšují. Jsou to: [4]

- jasová transformace
- geometrická transformace
- filtrace a ostření

### Segmentace

Segmentace je nejtěžší úkon při zpracování obrazu. Proces segmentace analyzuje obraz a rozlišuje jednotlivé objekty. [4]

### Popis obrazu

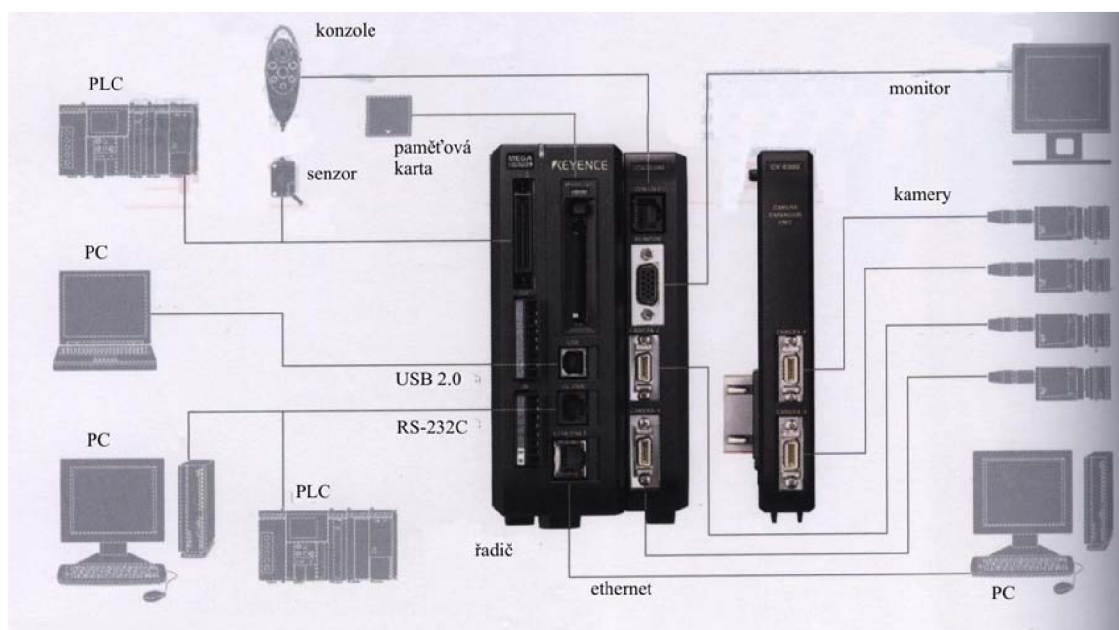
Čtvrtým krokem je popis objektů nalezených pomocí segmentace. Existují dva způsoby popisu a to kvantitativní a kvalitativní. První přístup popisuje objekt pomocí číselných charakteristik, druhý popisuje relace mezi objekty a jejich tvarové vlastnosti. Druh popis se volí podle toho, k čemu bude obraz dále využit. [4]

### Klasifikace

Poslední úkonem je rozpoznání obrazu, jedná se o zařazení objektů nalezené v obraze do skupiny předem známých tříd. Klasifikace se dělí do dvou skupin. Jedná se o strukturální a příznakové rozpoznání. Strukturální rozpoznávání využívá kvalitativní popis objektů a příznakové užívá číselné charakteristiky objektu. [4]

### 3.1.3 Schéma zapojení

Na obrázku 3-3 můžeme vidět, jak se kamery připojují k nejrůznějším zařízením, která vyhodnocují snímání obrazu. Kamery posílají signál do řadiče, který ho přes různé výstupy (USB 2.0, RS-232C, RJ-45) rozděluje do PLC, PC a dalších zařízení. Kamery se dají nastavovat pomocí konzole, která je také připojena k řadiči.



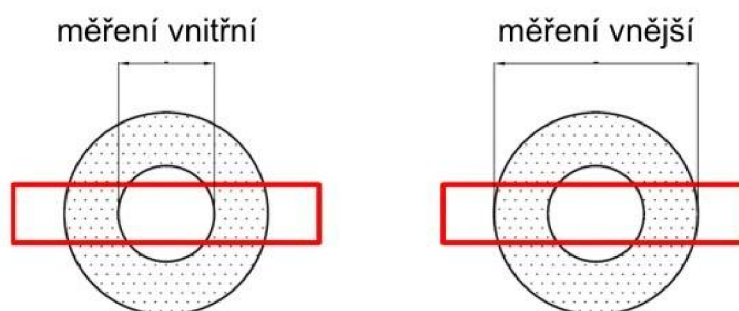
Obrázek 3-3 schéma možného zapojení kamer [3]

### 3.1.4 Vyhodnocování výsledků

K vyhodnocování výsledků většinou slouží speciální software, který sbírá obrazový signál skrze řadič do PC.

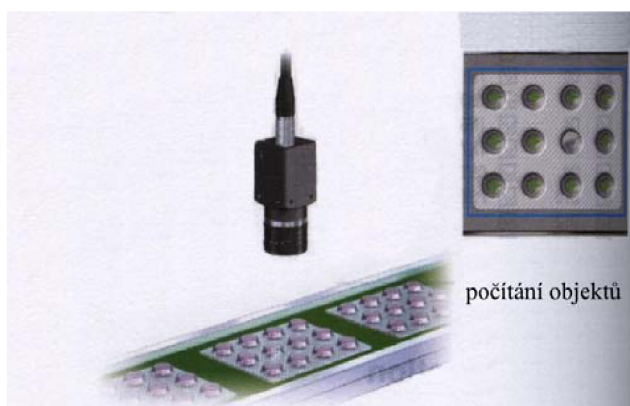
### 3.1.5 Příklady použití

Optická kontrola pomocí kamery má v průmyslu širokou škálu použití. Její pomocí se kontrolují nebo měří plochy a rozměry objektů.



Obrázek 3-4 měření rozměrů

Počítání objektů v zorném poli kamery, což se například využívá ke kontrole přítomnosti všech pilulek v platě.



Obrázek 3-5 počítání objektů [3]

Dále se kamery využívají ke kontrole nežádoucích skvrn na povrchu materiálu, které poukazují vadu výrobku.



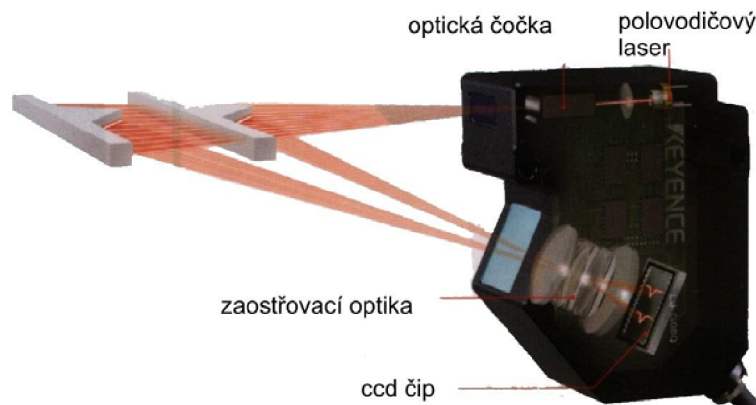
Obrázek 3-6 kontrola dna plechovky [3]

Také se uplatňují při montáži, kdy hlídají správnou polohu jednotlivých dílů, ke třídění objektů podle tvarů, k inspekci správných barev na výrobcích a mnoha dalších aplikacích. V TPCA se kamery používají na svařovně ke kontrole přesnosti otvorů ve výliscích.

## 3.2 Optické zařízení s polovodičovými lasery

### 3.2.1 Princip laserových sond

Vysílací část emituje laserový paprsek, který skrz optickou čočku dopadá na měřený předmět. Paprsek se od předmětu odrazí a prochází optikou, která ho zaměří na přijímací prvek, kterým je většinou čip ccd. Na obrázku je schematicky zakreslen princip. Zpracování obrazu pak probíhá obdobným způsobem jakou u kamer.



Obrázek 3-7 princip laserové sondy [3]

### 3.2.2 Měření třetího rozměru - triangulace

Snímač spolu se světelným zdrojem a osvětleným bodem na snímaném objektu vytváří tzv. triangulační trojúhelník. Známa je jak vzdálenost mezi snímačem a světelným zdrojem (tato spojnice je tzv. triangulační báze), tak i úhel svíraný triangulační bází a světelným paprskem zdroje. Na povrch snímače dopadá odražený paprsek vždy pod jiným úhlem a tedy i na jiný bod. Ze znalosti polohy tohoto bodu se pak určí úhel svíraný mezi bází a dopadajícím paprskem. Z těchto známých údajů se jednoduše vypočte třetí potřebná souřadnice bodu. U trojrozměrné triangulace je světelným vzorem strukturovaný světelný svazek. Dochází tak ke snímání objektu najednou a díky tomu je tato metoda rychlejší a také vhodná ke snímání pohybujících se objektů. [5]

### 3.2.3 Schéma zapojení a vyhodnocení výsledků

Schéma zapojení (obr. 3-3) a vyhodnocování výsledků je velmi podobné jako u kamerových zařízení. Stejně tak i vyhodnocování výsledků.

### 3.2.4 Bezpečnost laserů

Pokud laser pracuje na určitých vlnových délkách, na které je schopno se oko soustředit a které mohou být dobře soustředěny sítnicí a rohovkou oka, tak vysoká koherence a malý rozptyl laserového paprsku může u některých typů laserů způsobit, že je přijímaný paprsek soustředěn pouze do extrémně malého bodu na sítnici. To vede k bodovému přehřátí sítnice a k trvalému poškození zraku. Toto však není případ měřicích laserů. [6]

Lasery jsou rozděleny do bezpečnostních tříd:

1. možný trvalý pohled do svazku laserových paprsků
2. kontinuální a viditelné záření, přímý pohled do zdroje možný, oko ochrání mrkací reflex
3. a) totéž jako 2., ale oko již může být poškozeno za pohledu do zdroje pomocí optické soustavy (např. dalekohled), b) nebezpečí poškození oka, nutno používat ochranné pomůcky (i při pozorování odrazu), max. emise 0,5 W
4. totéž jako 3. b), emise překračuje výkon 0,5 W

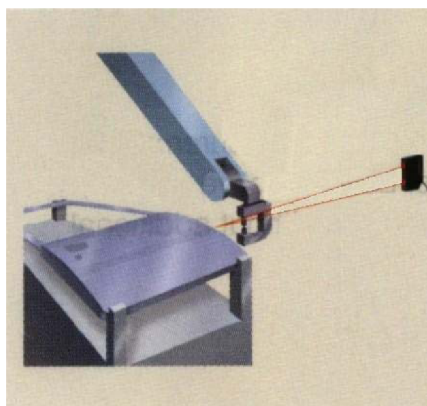


Obrázek 3-8 Bezpečnostní symbol laseru třídy 2 a vyšší [6]

### 3.2.5 Příklady použití

Laserové sondy mají, stejně jako kamery, široké použití v průmyslu. Používají se pro měření a kontrolu různých součástí.

Jednou z aplikací je kontrola vzdálenosti pohybujících se objektů, měření profilu běhounu pneumatik (Obr. 3-9, 3-10)



Obrázek 3-9 příklady aplikací laserového měření [3]



Obrázek 3-10 příklady aplikací [3]

Dalšími možnostmi jsou měření hloubky drážek, rotoru, kontrola vypouklosti víček v potravinářském průmyslu (Obr. 3-10) V TPCA se laserové sondy používají k měření sbíhavosti kol nebo ke kontrole montáže střechy na svařovně karoserií.



Obrázek 3-11 příklady aplikací [3]

### 3.3 Výrobci

V současné době je mnoho výrobců měřicí techniky. Pro potřeby diplomové práce mi ovšem byly doporučeny firmy KEYENCE, PERCEPTRON a OMRON, které již s automobilkou TPCA spolupracují.

## 4 SOUČASNÝ STAV KONTROLY SLÍCOVÁNÍ

Jak již vyplynulo z předchozího popisu výstupní kontroly, slícování dílů karoserie se kontroluje na stanovištích kontroly exteriéru a kontroly přední a zadní masky. Pracovníci těchto stanovišť musí být speciálně vyškoleni pro kontrolu těchto částí. Spáry kontrolují jak pohledem, tak i pohmatem, pokud by měli jakékoli pochybnosti o správnosti rozměru, použijí pro ověření plastové měrky. Plastové jsou kvůli tomu, aby nepoškrábaly karoserii. Tato dodatečná činnost však prodlužuje čas kontroly.



Obrázek 4-1 kontrola slícování přední masky



Obrázek 4-2 kontrola slícování zadní masky a boků

Na pracovníky jsou kladeny vysoké nároky z hlediska správnosti odhadu, kontroloři musí být schopni rozpoznat šířku mezery s přesností  $\pm 0,2\text{mm}$  a při přezkušovacích testech musí mít úspěšnost přes 80%. Navíc musí mít dobrou fyzickou kondici, protože během téměř jedenáctihodinové pracovní směny projde jejich zrakem a hmatem přes 550 vozů, a jelikož jsou spáry i dolních částech, je potřeba se ohýbat a dělají další fyzicky namáhavé úkony. Toto způsobuje únavu. Unavený člověk dělá daleko častěji chybu než člověk odpočatý, což může zapříčinit neodhalení vady na vozidle a v konečném důsledku to vede k nespokojenosti zákazníka.

Navíc pracovníci stanoviště kontroly exteriéru nekontrolují jen slícování, ale také funkčnost otevírání dveří, stahování okének a další díly a jejich funkčnost, takže během necelých šedesáti sekund toho musí stihnout opravdu hodně, což může vést k přehlédnutí některých vad.

Automatická optická kontrola nahradí manuální kontrolu slícování a dá více času pro kontrolu ostatních částí.



## 5 NÁVRHY PRACOVNÍHO MÍSTA

V této kapitole se budu věnovat ideovému návrhu pracoviště automatické optické kontroly a problémům, které bylo třeba vyřešit.

### 5.1 Měřicí místa

Na obrázcích vozů Toyota Aygo, Peugeot 107 a Citroën C1 jsou vyznačeny navrhované měřicí body. Jsou voleny v místech, kde se předpokládá, že bude nejlepší výsledek měření. Tento předpoklad vychází z mé předchozí zkušenosti, kdy jsem prošel jednodenním kurzem pro kontrolory kvality na AI a také z konzultací s vedoucím diplomové práce v TPCA. Vzhledem k tomu, že se v automobilce vyrábějí 3 modely ve tří a pětidvéřových variantách, jsou na fotkách rozlišeny jednotlivé typy. Jelikož se ale Peugeot 107 a Citroën C1 liší pouze tvarem přední masky a rozdílným zabarvením zadních lamp, tudíž mají ostatní části shodné, rozhodl jsem se vyznačit měřené spáry pouze na jednom modelu. Toyota Aygo má zcela jiný tvar, proto jsou vyznačena místa měření na samostatných fotografiích.

S podnikem jsme se dohodli, že pracoviště bude v první fázi navrženo pro kontrolu zadní části a boků vozidel.



Obrázek 5-1 měřicí místa Peugeot 107/Citroën C1



Obrázek 5-2 měřicí místa Toyota Aygo (zadní maska)

Jak je vidět z obrázků 5-1 a 5-2 Toyota Aygo má 2 měřicí místa navíc. Je to dáno odlišnou konstrukcí zadního otvoru, kdy Aygo má vstup ohraničen ze všech čtyř stran, kdežto 107 a C1 pouze ze stran tří.



Obrázek 5-3 měřicí místa Peugeot 107 a Citroën C1 (boky)

Opět u boků jsou dány měřicí místa konstrukcí vozidel. U Peugeotu i Citroenu jsou jak u třídveřové, tak i pětidveřové varianty voleny stejná měřicí místa. U Toyoty (3Dv varianta) jsou místa volena v podstatě pouze na předních dveřích, na jiných místech tohoto modelu není třeba rozměry kontrolovat.

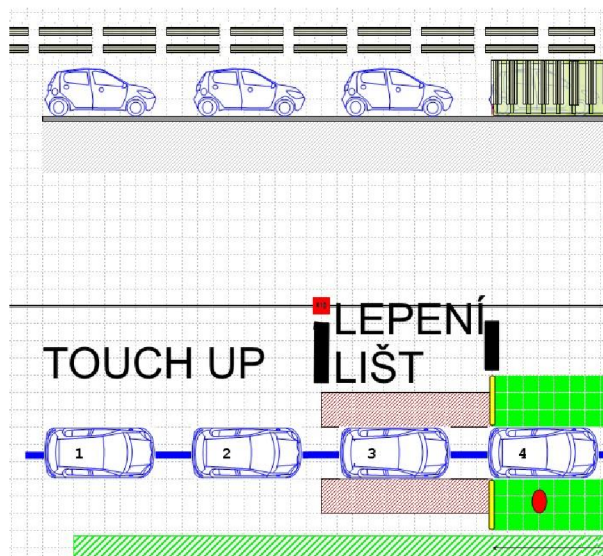


Obrázek 5-4 měřicí místa Toyota Aygo (boky)

## 5.2 Umístění pracoviště

Výběr umístění nebyl lehký, protože se muselo volit takové místo, které je po stanovišti TOUCH UP, které provádí korekce slícování vozu. Tato práce však musí být pracovištěm zkontrolována, ale zároveň na požadavek podniku, musí být před linkou nebo na lince AI.

Z hlediska zvažovaných zařízení, na kterém bude měřicí zařízení uchyceno, se nejlépe jeví místo lepení lišt. Toto místo, které jsem si určil za pevný bod, bude muset být lehce modifikováno nebo zcela přemístěno do jiné části provozu. Tuto skutečnost budu dále zohledňovat v jednotlivých variantách návrhu pracoviště automatické optické kontroly.



Obrázek 5-5 návrh umístění pracoviště [2]

### 5.3 Výběr měřící sondy

Pro úlohu měření slícování karoserie jednotlivých dílů se hodí buď laserová sonda s CCD snímačem nebo kamera taktéž s CCD prvkem. Následujících podkapitolách porovnám výhody a nevýhody zvolených metod měření a vyberu vhodnější variantu.

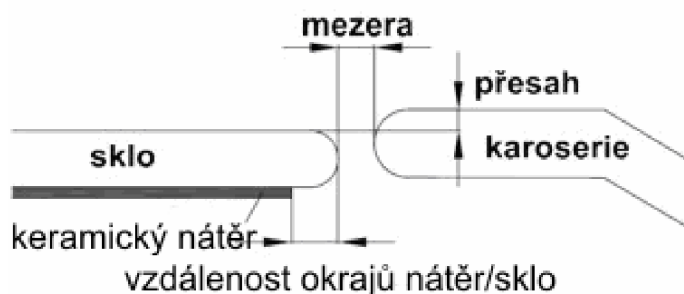
#### 5.3.1 Porovnání kamera/laser

Výběr měřícího zařízení jsem konzultoval s pracovníkem firmy Perceptron, která již s TPCA spolupracuje. Mé návrhy byly použít kameru nebo laserovou sondu. Z konzultace vyplynulo následující.

Kamera by šla použít pro zpracování obrazu jen ve dvou dimenzích. Měření přesahu jednotlivých dílů by se musel řešit jiným zařízením, což by nebylo ani pružné ani ekonomické. Toto je jeden z hlavních důvodů, proč bych kameru nedoporučoval. Další důvody jsou, že měření kamerou je potřeba objekt správně osvětlit. Toto je zajištěno silnými výbojkami, které vydávají intenzivní světlo, které však pro lidské oko může být nepříjemné, až škodlivé. V okolí pracují kontroloři na svých stanovištích a zároveň v blízkosti předpokládaného umístění pracoviště vede takzvaná bezpečná cesta do kanceláří. Intenzivní osvětlení by obtěžovalo jak pracovníky tak i případné kolemjdoucí. Poslední negativní vlastností kamer je pomalejší zpracování obrazu a tím i vyhodnocení naměřených hodnot.

Laserové sondy oproti kamerám mají v tomto případě spíše pozitiva. Laserový paprsek dopadá na povrch a odrazí se, takže vykreslí přesný profil povrchu, ze kterého se dá vyčíst jak šířka, tak i přesah. Nevýhodou laseru je obtížné měření v prašném prostředí, což v tomto případě nehrozí.

Jediným problémem pro laser jsou transparentní plochy jako skla a světlometry. Jak již vyplývá ze zvolených měřících míst, na vozidle se takovéto části vyskytují. U skel to takový problém nepředstavuje, protože skla jsou z vnitřní strany opatřena vypáleným keramickým nátěrem, od které se laserový paprsek odrazí. Sonda pak bude v podstatě měřit slícování mezi keramickým nátěrem a karoserií, ale vyhodnocovací program bude muset uvažovat ještě tloušťku skla a rozměr od okraje skla k okraji nátěru. Pro lepší názornost je toto nakresleno na obr. 5-6.



Obrázek 5-6 schéma detailu mezery

Skutečným problémem jsou zadní lampy. Laserový paprsek totiž projde skrz povrch krycích skel a nemá se od čeho odrazit. Na základě této skutečnosti bude do centra firmy Perceptron odeslán set zadních lamp a zadního skla, která bude zkoumat možnosti měření tohoto transparentního dílu. I přes tuto skutečnost budu pokračovat v navrhování pracoviště pro kontrolu slícování jak boků, tak i zadní části vozidla.

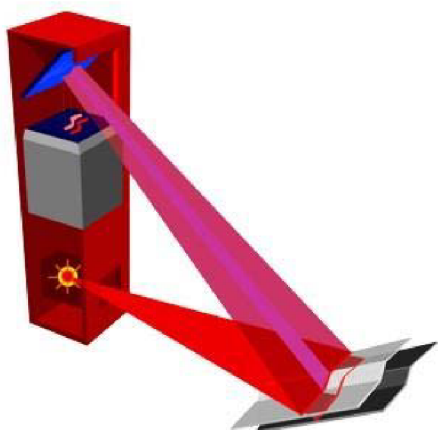
### Výhody/Nevýhody

kamera	
výhody	nevýhody
levnější oproti laseru	pouze 2D měření!
	nutnost osvětlení měřeného místa

laser	
výhody	nevýhody
měření ve 3D	nepoužitelné v prašném prostředí
rychlost	obtížnější měření transparentních ploch
přesnější oproti kameře (laser až 0,005 běžně 0,01/kamera 0,01)	

### 5.3.2 Výběr zařízení

Na základě předchozích řádků proto volím, po konzultaci s firmou Perceptron, sondu této společnosti. Tato sonda se vyrábí v různých velikostech s různými dosahy měření. Konkrétní typy budu uvádět u jednotlivých řešení. Laserová sonda zvýší přesnost měření oproti ruční kontrole o jeden řád, tedy na  $\pm 0,01\text{mm}$ .



Obrázek 5-7 sonda firmy Perceptron [7]



Obrázek 5-8 laser třídy 2 [7]

Vybraná sonda od firmy Perceptron, klíčové vlastnosti:

- Měření 3D pomocí triangulace
- Zpracování obrazu přímo v sondě
- Rychlá a snadná instalace

Tabulka 1 technické parametry sondy [7]

<b>Technické parametry</b>	
<b>Laserová dioda</b>	Gallium Aluminium Arsenide
<b>Konstrukce</b>	pouzdro – tvarovaný hliník, odolné vůči prachu a oleji
<b>Provozní podmínky</b>	Vlhkost – 10 až 90%, Teplota – 10 až 40°C
<b>Opakovatelnost</b>	± 0,05mm
<b>Montážní vzdálenost</b>	100 až 2000 mm
<b>Vlnová délka laseru</b>	670 až 690 nm
<b>Rozměry</b>	70x70x(219 až 911) mm
<b>Možnosti uchycení</b>	variabilní pomocí mohutných svorek

V následujících kapitolách uvedu dva návrhy pracoviště. První návrh prezentuje řešení statického umístění sond, druhý návrh obsahuje řešení, kdy měřicí sondy jsou umístěny na rameno průmyslového robota.

## 5.4 Návrh pracoviště – statické umístění sond

Návrh, který počítá s umístěním měřících sond staticky, tedy na pilíře, se musí rozdělit na dvě dílčí pracoviště. První část bude zaměřena na kontrolu slicování zadní masky a druhá část na kontrolu boků vozidla. Pracoviště musí být rozdělena kvůli tomu, že sondy musí být umístěny kolmo k měřené ploše, což u měření zadní masky, při statickém uchycení sond v oblasti TOUCH UP a lepení lišt, není možno dosáhnout. Proto navrhuji pracoviště pro kontrolu zadní masky posunout na začátek AI linky do prostoru výtahu, který sváží auta ze závěsů na linku AI. Druhou část pracoviště pro kontrolu boků navrhuji umístit do míst konce pracoviště lepení lišt a začátku pracoviště kontroly exteriéru.

Pro měření zadní masky volím sondy nejmenší řady s délkou 211mm, u měření boků navrhuji použít sondy větší, kvůli větší montážní vzdálenosti, a to s délkou 411mm.

### 5.4.1 Měření zadní masky vozidla

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, měřicí stanoviště navrhuji umístit do prostoru výtahu. Tato část je kompletně oplocena, takže je zamezen přístup osob. Měřicí sondy navrhuji umístit na obdélníkový rám, který bude kopírovat tvar zadní masky vozidla. Osm měřících sond bude rozmístěno v souladu s návrhem měřících míst v kapitole 5.1. Kabele z měřících sond budou vedeny do řadiče, který bude umístěn u druhé části pracoviště tzn. u lepení lišt. Rozmístění všech prvků pracoviště je v nákresu (obr. 5-13)

Jak už bylo uvedeno v kap. 5.1, v automobilce se vyrábí celkem 6 variant vozů, avšak variant zadní masky jsou jen dvě, jak vyplývá z obrázků ve zmiňované kapitole. Proto je potřeba zajistit rozpoznání vozu. U měření zadní masky potřebujeme rozeznat pouze to, jestli se jedná o Aygo nebo 107/C1. Pro rozpoznání měřeného vozidla volím kameru, která bude namířena na znak, který symbolizuje automobilku.

Spínacím signálem pro rozpoznání a měření pak bude optická závora, která při přerušení paprsku automobilem dá skrz řadič signál „rozpoznej a měř“. Naměřené hodnoty se budou uchovávat a poté přiřazovat k hodnotám naměřených v druhé části pracoviště.

### Prvky pracoviště pro měření zadní masky

#### **Rám pro uchycení měřících sond**

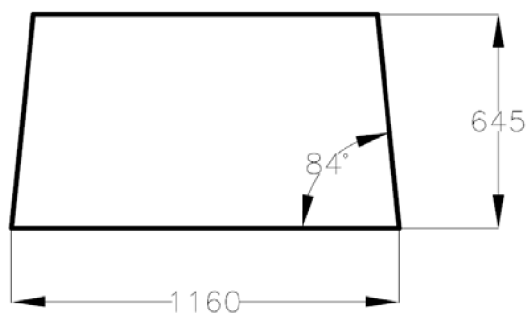
- Rozměry viz. Obr. 5-8
- Materiál - ocelová trubka Ø 50mm
- Svařenec

#### **Stojan pro uchycení rámu**

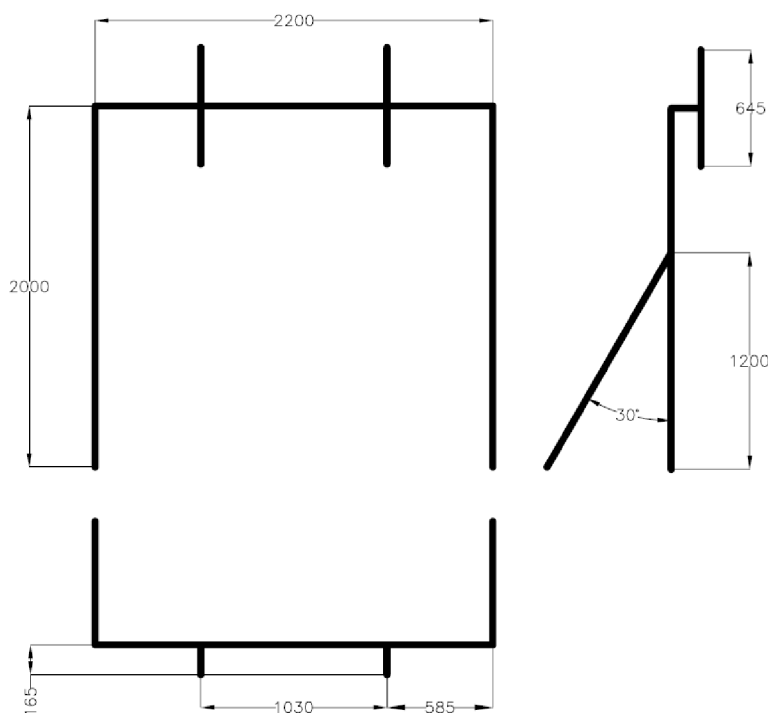
- Rozměry viz. Obr. 5-9
- Materiál – profilová ocel („jekl“)100x100
- Svařenec

Tento rám (obr. 5-8), který zhruba kopíruje tvar zadního skla, bude přivařen ke stojanu (obr.5-9). Stojan bude přivařen k ocelovým plátům podlahy v prostoru výtahu, jak se vidět na celkovém náhledu pracoviště na obr. 5-13

Tvar jsem volil na základě rozměrů skla. Rozměry skel Toyota a vozů PSA jsou sice rozdílné, avšak rozdíl v klíčových místech je maximálně 60mm, který se po rozdělení na obě strany činí 30mm. Tato vzdálenost nebude pak pro měřicí sondu problémem, protože sonda vysílá paprsek, který má šířku přibližně 50mm.



Obr. 5-8 – schematický návrh tvaru rámu



Obrázek 5-9 schematický návrh stojanu

### Kamera pro rozpoznání vozu

Kamera bude umístěna na středu rámu a namířena na znak vozidla. Při přerušení paprsku optické závory se dá povel kameře, aby sejmula znak vozu. Znak se softwarově rozpozná a na základě údajů z kamery se bude měřit buď šesti sondami Peugeot 107/Citroën C1 nebo všemi sondami Toyota Aygo.



Pro rozpoznání znaků uvedených na obr. 5-10 plně postačuje monochromatická kamera s rozlišením 350000px.



Obrázek 5-10 znaky Toyota, Peugeot, Citroën

Kameru volím na základě údajů z katalogu firmy Keyence, typ CV-035M:

Tabulka 2 parametry rozpoznávací kamery [3]

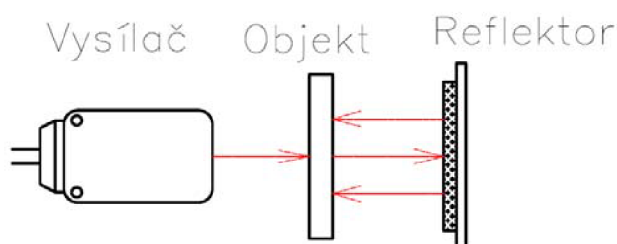
Technické parametry	
přijímací element	1/3" monochromatický CCD, 350000px
skenovací čas	9ms
přenos	digitální
elektronická závěrka	0,05 až 9000ms
okolní teplota	0 až 50°C
relativní vlhkost prostředí	35 až 85 %
hmotnost	150g

### Optická závora

Optickou závoru volím též podle katalogu firmy Keyence, na výběr jsou dva typy.

#### 1. Senzor s odrazovou plochou

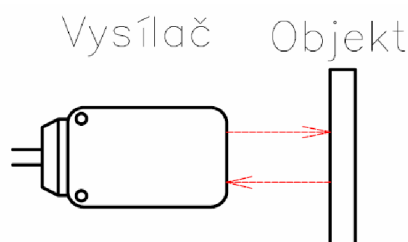
- detekce nastane, když objekt přeruší optickou osu mezi senzorem a reflexní plochou



Obrázek 5-11 senzor s odrazovou plochou

#### 2. Difusní senzor

- detekce nastane, když vyslaný paprsek přeruší objekt, od kterého se odrazí zpět do vysílače

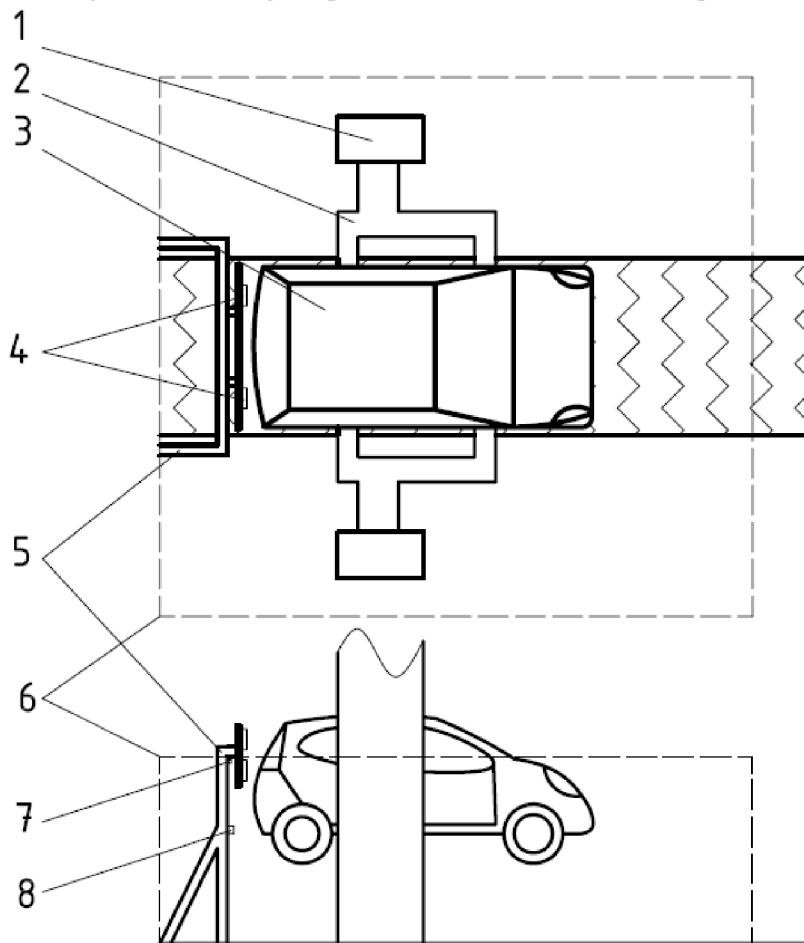


Obrázek 5-12 difusní senzor

Volím difusní senzor, protože v prostoru výtahu je mnoho pohybujících se součástí, které by bránily paprsku v ose sensor/reflektor. Navíc difusní senzor navrhuji umístit na stojan v ose pásu, po kterém se pohybují vozidla na AI, takže by nebyla možnost umístění reflektoru na protější stranu. Tyto senzory budou použity i dále v návrhu.

### Postup měření

1. Vozidlo je sundáno v horní části výtahu ze závěsu
2. Výtah přemisťuje vozidlo směrem dolů a zastaví se v poloze, kdy je střed zadního skla přibližně 2m nad zemí, v této poloze setrvává 5 sekund
3. Je přerušena optická závora, kamera dostává signál k sejmutí obrazu znaku automobilky
4. Provádí se měření slícování zadní masky na základě rozpoznání vozu
5. Data se ukládají do PC a čekají na přiřazení k datům z druhé části pracoviště



Obrázek 5-13 prostor výtahu – kontrola zadní masky

### Popis:

1-sloupy výtahu, 2-výtah, 3-vozidlo, 4-měřicí sondy, 5-stojan+rám pro uchycení sond, 6-ochranné oplocení, 7-kamera pro rozpoznání vozu, 8-difusní senzor

### 5.4.2 Měření boků vozidla

Stanoviště měření boků vozidla navrhuji umístit, při statickém umístění sond, do prostoru těsně za pracoviště lepení lišt. Bude zasahovat asi 2m do prostoru prvního pracoviště AI kontrola exteriéru. Jelikož toto pracoviště z části nahrazuje, předpokládám, že uvedená délka nebude limitovat kontrolory exteriéru.

Pracoviště se bude skládat ze čtyř sloupů po obou stranách pásu, na kterých budou ve výšce dle měřících míst na karoserii, upnuty měřící sondy. Sloupy budou přišroubovány do betonového podkladu. V současné době je toto místo volně přístupné pracovníkům, proto ho navrhuji oplotit ochranným plotem, ve kterém budou otvory na projetí vozu chráněny bezpečnostním světelným závěsem.

#### Prvky pracoviště pro měření boků vozidla

##### Ochranný plot

Ochranný plot je důležitou částí pracoviště, zamezuje vstupu osob, které by mohli buď manipulovat s měřícím zařízením, což by způsobilo nepřesnost měření, nebo být zasaženy měřícím laserem do oka, což může způsobit zranění.


Ochranným plotem navrhuji oplotit celý prostor pracoviště, vyjme otvorů na projíždění automobilů. Plot by měl být vysoký 1900mm.

Navrhovaný ochranný plot je od firmy Ulmer, která nabízí stavebnicové řešení ochranných plotů.

##### Bezpečnostní světelný závěs

Toto zařízení chrání vstupní a výstupní otvor pro průjezd automobilů před vstupem osob do prostoru pracoviště. Princip tohoto zařízení spočívá emitování paprsků mezi vysílačem a přijímačem. Pokud vozidlo přeruší určitý počet paprsků na stanovenou dobu je vše v pořádku, pokud by ovšem paprsky přerušila osoba pouze na krátký časový úsek, je vydán signál k zastavení měření.

Navrhovaná bezpečnostní světelná záclona firmy Omron, typ F3SL-A1920P30

Sensor type	Shape	Sensing distance			Operating mode	Detection width (mm)	Model
Through-beam		0.3 to 20m			Light ON	351	F3SL-A0351P30
						523	F3SL-A0523P30
						700	F3SL-A0700P30
						871	F3SL-A0871P30
						1,046	F3SL-A1046P30
						1,219	F3SL-A1219P30
						1,394	F3SL-A1394P30
						1,570	F3SL-A1570P30
						1,746	F3SL-A1746P30
						1,920	F3SL-A1920P30
						2,095	F3SL-A2095P30

Tabulka 3 parametry bezpečnostního světelného závěsu [8]

##### Pilíře

Pro uchycení laserových sond navrhuji umístit 4 pilíře na každé straně dva dle obr. 5-18 0,4m z každé strany od pásu. Pilíře budou z ocelové trubky Ø 50mm, vysoké 1,7m. Do betonového podkladu vedle pásu budou přišroubovány. Sondy na těchto pilířích budou umístěny tak, že na prvním pilíři budou ty, které měří mezeru a přesah mezi dveřmi a bočnicí a na druhém ty, které měří uvedené rozměry mezi jednotlivými díly (blatník, dveře).

### Prvky pro zjišťování polohy spáry

Znat polohu spáry je velmi důležité, protože jediné tak sonda ví, kdy má měřit spáru na pohybujícím se vozidle. V zásadě jsou na výběr 2 možnosti:

1. systém optických závor
2. rotační enkodér

Systém optických závor spočívá ve správné rozmístění těchto senzorů. Jeden senzor hlídá vstup automobilu do pracovního prostoru, další optické závory (difusní) jsou umístěny nad pásem s automobily. Tyto optické závory jsou v definované vzdálenosti od měřicí sondy, která odpovídají vzdálenosti počátek vozidla/měřená spára. Závora při průchodu vozidla tímto paprskem vyše sondě signál „teď měř“. Systém závor je v tomto případě velmi komplexní, protože musí být použity 4 konfigurace senzorů. První pro Aygo 3Dv, druhá pro Aygo 5Dv, třetí pro 107/C1 3Dv a čtvrtá pro 107/C1 5Dv. Tento systém by tedy vyžadoval mnoho senzorů. Tyto senzory však mají nevýhodu v umístění nad pásem v části kontrola extrieru, kde by mohly být rušeny osobami kontrolující vůz.

Rotační enkodér je založen na principu počítání otáček hřídele motoru. Tento enkodér se umístí na hřídel jednoho z motorů, který pohání pás s vozidly. Enkodér bude spojen s optickou závorou, která bude hlídat vstup vozu do zóny pracoviště měření boků. Enkodér začne počítat v okamžik, kdy vůz protne paprsek vstupní optické závory. Řídící program bude vědět z předchozího rozpoznání vozidla, o jaký typ se jedná, takže nastaví po jakém počtu otáček hřídele motoru pásu se má měřit definovaná mezera mezi. Tento způsob odměřování je spolehlivý i při náhodném zastavení pásu. Počítá enkodéru se vynuluje další optickou závorou, která hlídá opuštění vozidla z pracovního prostoru.

Z uvedených dvou způsobů volím rotační enkodér, který je přesnější a spolehlivější. Navrhovaný enkodér je z katalogu firmy Omron:



Obrázek 5-14 enkodér [8]

Tabulka 4 parametry rotačního enkodéru [8]

Supply voltage	Output form	Resolution (pulse/rotation)	Model
12 to 24VDC	Complimentary output	100, 200, 360, 500, 600 1000	<b>E6F-CWZ5G</b>

### Optické závory

Tyto optické závory budou umístěny na začátku a konci pracoviště. Vstupní závora bude spouštět počítání otáček hřídele. Výstupní bude pak nulovat počet otáček. Zde volím optické závory s reflektorem (obr. 5-11)

## Rozpoznání vozidla

Rozpoznání vozidla již není tak jednoduché jako u měření zadní masky. Zde se musí rozeznávat 6 typů vozidla. S vozidlem putuje SPEC SHEET, kde jedna z položek má název KATASHIKI. Tyto znaky uvedené na obr. 5-15 se mohou zakódovat do čárového kódu, který pak bude vytisknutý na SPEC SHEETU. Tento list umísťuje pověřená osoba na lince FINAL 2 za zadní stěrač vozidla. Pracovník TOUCH UP pak bude mít za úkol pomocí čtečky čárových kódů načíst typ vozidla, tato informace se odešle do řadiče a předá se systému odměřování polohy spáry.

MODEL CODE (KATASHIKI)									
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
<b>KG B 10 L - A H M R K W</b>									
<b>1. ENGINE MODEL (DRUH MOTORU)</b>					<b>6. BODY TYPE (DVĚŘE)</b>				
KG : PETROL (1.0 L) (Benzin)					H : 5 - Door Hatch Back (5D)				
WN : DIESEL (1.4 L)					G : 3 - Door Hatch Back (3D)				
<b>2. CAR FAMILY</b>					<b>7. GEARSHIFT TYPE (ŘÍZENÍ)</b>				
B : B - zero (990 N)					M : 5-Speed Manual Floor (5M/T)				
					G : MMT (MM/T)				
<b>3. MODEL NUMBER</b>					<b>8. GRADE (VÝBAVA)</b>				
10 : TOYOTA					R : STD (standard)				
20 : PEUGEOT					G : (nadstandard)				
30 : CITROEN									
<b>4. STEERING WHEEL POSITION (ŘÍZENÍ)</b>					<b>9. ENGINE SPECIFICATION</b>				
L : Left - Hand Drive (levotočivý)					K : EFI				
R : Right - Hand Drive (pravočivý)					X : Turbo				
<b>5. MODEL NAME (ZNAČKA)</b>					<b>10. DESTINATION (VÝVOZ)</b>				
A : TOYOTA (model Toyota)					W : Europe (Evropa)				
B : PEUGEOT (model Peugeot)									
C : CITROEN (model Citroen)									

Obrázek 5-15 rozkódované KATASHIKI [2]

Z přiložených tabulek na obr. 5 - 15 je možno vyčíst kódy pro rozpoznání vozu:

Toyota 3Dv – 10G  
 Toyota 5Dv – 10H  
 Peugeot 3Dv – 20G  
 Peugeot 5Dv – 20H  
 Citroën 3Dv – 30G  
 Citroën 5Dv – 30H

Navrhovaný typ čtečky čárových kódů je volen dle katalogu firmy Keyence, ale může se využít i jiný dodavatel.



Obrázek 5-16 ruční čtečka čárových kódů [3]

Tabulka 5 parametry ruční čtečky kódů [3]

Model	BL-N70RKE
rozhraní	RS-232C
zdroj světla	červený polovodičový laser
čtecí vzdálenost	0-177mm
minimální šířka čárky	0,125mm
rychlost skenování	72/s
počet znaků	max 40
napájecí napětí	5V DC
napájecí proud	méně než 175mA
váha	100g
okolní teplota	0-40°C
okolní vlhkost	35-85%
okolní osvětlení	4800lx
laser	třída B

**Hardware a software**

Pracoviště pro kontrolu zadní masky bude obsahovat kameru pro rozpoznání vozu, difusní optickou závoru a osm laserových sond pro měření. Pracoviště pro kontrolu boků zahrnuje čtečku čárových kódů, dvanáct měřících sond, dvě optické závory a rotační enkodér. V konečném součtu to je 26 prvků, od kterých je třeba přijímat signály a zpracovávat je. Řízení pracovišť pro kontrolu slícování bude zajišťovat řadič sond, PLC a osobní počítač.

Řadič pro řízení měřících sond, který je dodáván firmou Perceptron, existuje ve dvou provedeních a to řadič typu C a řadič typu S. Pro tento případ postačuje řadič typu C, který dokáže obsloužit až 24 měřících sond.

PLC se bude starat o obsluhu optických závor a enkodéru pro určování polohy spáry a předávat signály do řadiče sond.

Pro vyhodnocovací bude použit klasický osobní počítač s operačním systémem. Tento počítač by však měl být v úpravě pro průmyslové použití, to znamená mít odpovídající krytí ip.

Softwarová část není součástí návrhu, bude se jím zabývat až firma, která tento projekt bude realizovat.

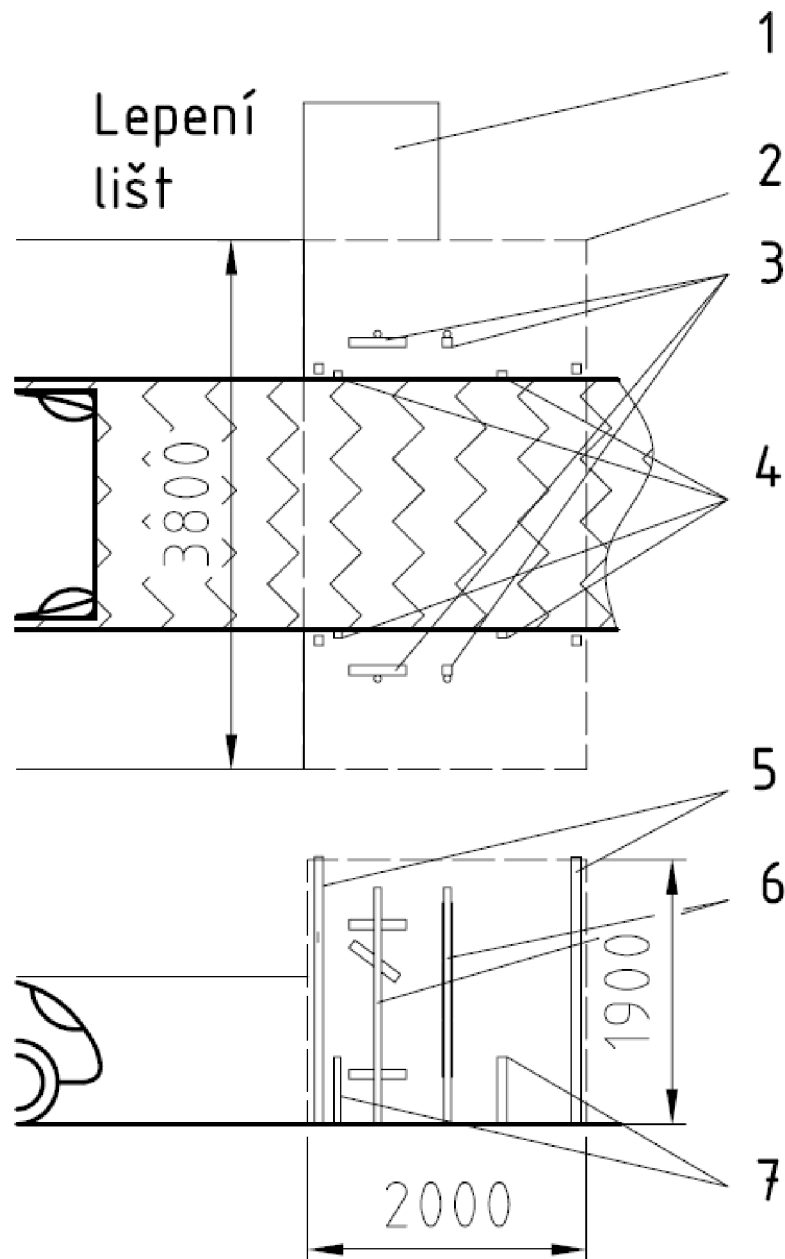


Obrázek 5-17 řadič C-typ [7]

- krytí ip65
- Pevný disk
- Integrované UPS
- Variabilní připojení přes běžné komunikační rozhraní (RS-232, RJ-45, a další)
- Podpora až 24 senzorů
- Napájení 230V

**Postup měření**

1. pracovník TOUCH UP načte čárový kód KATASHIKI, tím je provedeno rozpoznání vozu
2. vozidlo vjíždí do prostoru kontroly boků
3. protíná paprsek vstupní optické závory, která spouští počítání enkodéru
4. po určitém počtu otáček, spára dosáhne paprsku měřící sondy a enkodér vydává signál k měření, takto jsou změřeny všechny spáry na vozidle, určené na základě rozpoznání vozu
5. vozidlo opouští prostor měření a spíná výstupní optickou závoru, která nuluje enkodér



Obrázek 5-18 prostor měření boků vozidla

Popis:

1-prostor umístění řadičů a PC, 2-ochranné oplocení, 3-měřicí sondy, 4-vstupní a výstupní optická závora(senzory), 5-bezpečnostní světelné závěsy, 6 a 7-sloupky pro umístění sond a senzorů

### 5.4.3 Schematické zapojení pracovišť

Schématické zapojení pracoviště je příloze 2. Je zde znázorněno propojení jednotlivých prvků pracoviště s PC, PLC a příslušnými řadiči.

## 5.5 Návrh pracoviště – umístění sond na robotech

Tento návrh zvažuje možnost uchycení měřících sond na rameno robotu. Na rozdíl od první varianty řešení, se tento návrh nemusí rozdělovat na dílčí pracoviště, protože robot dokáže svůj koncový efektor natočit do odpovídající polohy kolmo k měřenému místu.

### 5.5.1 Návrh robotů a příslušenství

Pro měření slícování bude potřeba dvou robotů. Na každé straně pásu s automobily bude umístěn jeden, který bude mít za úkol měřit bok a půlku zadní masky vozu. Roboty jsem volil od firmy Kawasaki, tato společnost již s TPCA spolupracuje a má umístěny své roboty na svařovací lince. Případný servis a údržba tak bude jednodušší.

Zvolený typ robotu je Kawasaki FS10L (obr. 5-17), tento robot má dostatečnou nosnost i rozpětí pro plnění úkolu.



Obrázek 5-19 robot Kawasaki série F [9]

#### Vlastnosti robotů série F:

- šestiosý robot
- zatížení 3-60 kg
- pohon AC servomotory s odměřováním polohy
- design šetřící prostor
- variabilní
- střední čas mezi poruchami více jak 80000 hodin, interval údržby 5000 hodin
- jednoduché programování pomocí kawasaki AS language nebo učení po krocích

Roboty budou řízeny pomocí controlleru, který výrobce s nimi dodává. Jedná se o controller typ C. Ovládací terminál je přenosný, dá se tedy bez problémů přenést na pracoviště až k robotu. To je důležité při programování a odlaďování programu. Katalogový list je je možno najít na stránce výrobce.



Obrázek 5-20 Kawasaki controller typ C [9]

#### Vlastnosti controlleru typu C:

- kompaktní rozměry
- ovladač s velkým dotykovým 8“ displejem
- vysoký výkon (až 3 programy mohou běžet simultánně)
- početné možnosti volitelných funkcí a rozšíření



### 5.5.2 Ostatní prvky robotizovaného pracoviště

Některé prvky robotizovaného pracoviště jsou shodné s prvky z předchozího návrhu.

#### Bezpečnostní prvky

##### **Ochranný plot**

Stejně jako u pracoviště pro kontrolu boků navrhuji robotizované pracoviště oplotit ochranným plotem od firmy Ulmer, která nabízí stavebnicové řešení plotů Axellent.

Výšku oplocení navrhuji 2200mm vzhledem k tomu, že uvnitř pracovního prostoru se budou pohybovat roboty. Velikost okna u takovýchto plotů je cca 50x20mm. Vhodná barevná kombinace je žluté sloupky a černé pletivo. Plot bude po celém obvodu pracoviště, vyjma vstupního a výstupního otvoru, který bude chráněn bezpečnostním světelným závěsem. V oplocení budou zároveň dvě branky pro údržbu chráněny zámkem a bezpečnostním spínačem, který vypne roboty v případě otevření při provozu.

##### **Bezpečnostní světelný závěs**

Bezpečností světelnou závoru volím ze stejné řady jak u předchozího návrhu, avšak s tím rozdílem, že hlídáný prostor bude o pár centimetrů vyšší tzn. 2035 mm.

Zvolený typ od firmy Omron F3SL-A2035P30.

#### Prvky pro určení polohy spáry

Pro určení polohy spáry v tomto případě připadá v úvahu pouze rotační enkodér a systém vstupní a výstupní závory. Enkodér bude opět připojen ke hřídeli jednoho z motorů, které pohánějí pás s automobily. Po signálu ze vstupní závory začne počítat otáčky a tyto informace bude vysílat jak do řadiče sond, tak do řadiče robotů. Spára bude v určeném místě po určitém počtu otáček. Toto bude známo na základě rozpoznání vozidla. Rotační enkodér volím stejný jako v předchozím návrhu, tedy od firmy Omron E6F-CWZ5G viz tab.

Stejně tak vstupní a výstupní optické závory volím stejně jako v předešlém návrhu. Je to optická závora s odrazovou plochou (Obr. 5-11).

#### Rozpoznání vozidla

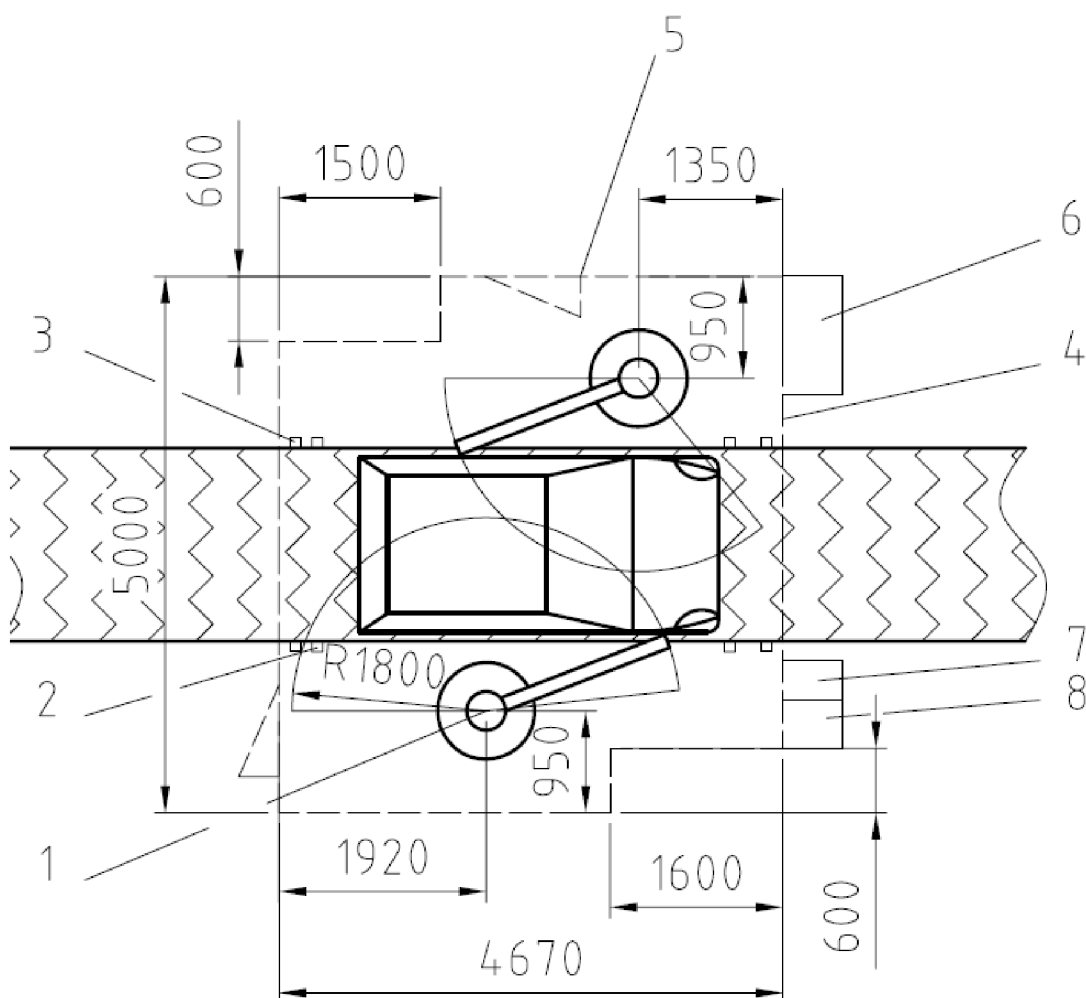
Jedinou možností rozpoznání vozu je opět zakódování KATASHIKI do čárového kódu a umístění na SPEC SHEETu. Tento kód načte pomocí čtečky čárových kódů pracovník stanoviště TOUCH UP. Tento způsob rozpoznání je rozebrán v předchozí kapitole.

### 5.5.3 Umístění robotů a rozvržení pracoviště

Celé robotizované pracoviště navrhuji umístit místo pracoviště lepení lišt, které by se muselo přesunout na montážní linku FINAL 2, toto je jen předběžný návrh a musel by se zkontrolovat s vedením linky FINAL 2.

Jámy, které jsou v současné době na tomto pracovišti budou zabetonovány. Do těchto míst se pak umístí roboty, které se montují na podlahu. Celé pracoviště bude oploceno bezpečnostním plotem dle návrhu. Rozmístění robotů a řídicích prvků je na Obr. 5-19. Jak je vidět na uvedeném obrázku, robotizované pracoviště se oproti pracovišti lepení lišt asi o metr zkrátí, ale na druhou stranu bude mít větší rozměry co se týče šířky. Ušetřený metr délky

oproti pracovišti lepení lišt přidá místo pracovníků TOUCH UP, kteří tak budou mít více času na svou práci, která tak bude preciznější. Půdorysný tvar pracoviště je nepravidelný z důvodu úspory místa, kde ve výsečích vedou cesty jedna do kanceláři auditu, druhá do haly příjmu materiálu.



Obrázek 5-21 rozvržení robotizované pracoviště měření

#### Popis:

(1-robot, 2-senzory optický závor, 3-bezpečnostní světelná záclona, 4-ochranný plot, 5-branka pro vstup obsluhy chráněna bezpečnostním vypínačem, 6-prostor pro controllery robotů, 7-umístění controllerů sond, 8-umístění PC

#### Postup měření

1. pracovník TOUCH UP načte čtečkou čárových kódů kód KATASHIKI, kód se odešle do PC, kde je provedeno rozpoznání vozu
2. vozidlo vjíždí do prostoru robotizovaného pracoviště a protíná vstupní optickou závoru

3. začne počítání otáček hřídelí, po určitém počtu otáček spára dosáhne jistého místa, řadič robotu dostane od řídicího programu v PC pokyn, kam má vyslat koncový efektor robotu, tato informace je známa na základě rozpoznání vozu
4. po najetí efektoru robotu do určeného místa je vydán signál sondě, která provede měření
5. takto robot najíždí do určených míst, po skončení se vrací do výchozí polohy a čeká na další vůz
6. vozidlo opouští prostor pracoviště a výstupní optickou závorou nuluje enkodér

### **Hardware a software**

Hardware navrhuji použít stejný jako v předcházejícím případě, tedy PC v průmyslové úpravě s odpovídajícím krytí ip, PLC a řadiče sond a robotů. Vyhodnocovací software není součástí návrhu.

#### **5.5.4 Schéma zapojení pracoviště**

Schématické zapojení pracoviště je v příloze 3.

#### **5.6 Vyhodnocování výsledků**

Vyhodnocení výsledků navrhuji, aby software prováděl automaticky na základě zadáných tolerancí. Tyto výsledky by se odesílali do PC na pracoviště konfirmace na konci linky AI, kde by byli chybné spáry označeny a vozidlo po projití zbývajících zkouškami odesláno na příslušnou opravu.

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ, VÝBĚR VARIANTY A PŘÍNOSY PRO PODNIK

V následujících podkapitolách provedu kalkulaci nákladů na vybudování zařízení a dobu návratnosti na základě dostupných ceníků. U technologií, které nebyly v cenících, budu cenu jen odhadovat, protože i přes kontaktování firem a žádosti o vyčíslení, přesné ceny stanovují až na základě objednávky. Provedu zde také rozbor přínosů pro podnik.

Ekonomické zhodnocení počítá s tím, že pracoviště přední a zadní masky se prakticky sloučí s kontrolou boků. Pracovníky kontroly boků bohužel nahradit nemůžeme, protože v současnosti nekontrolují jen spáry, ale i jiné části, která automatická kontrola slícování nenahradí. Sloučením sice přibude pracovníkům práce, ale budou mít na ni více času. Tímto opatřením se tak ušetří jeden člověk na směnu.

### 6.1.1 Ekonomické zhodnocení varianty č.1 – statické umístění sond

Následující tabulky zahrnuje výpočet úspor při automatické kontrole, náklady na vybudování pracoviště, technologie a stavební úpravy pracoviště.

První tabulka provádí porovnání ročních nákladů na ruční kontrolu a automatickou kontrolu. U nákladů zaměstnavatele na zaměstnance jsem vycházel z reálných podkladů, u elektrické energie vycházím z cen elektrické energie pro domácnosti, ale snižuji ji o 40%, protože předpokládám, že TPCA jako velký podnik má individuální výhodný tarif. U výpočtu nákladů na zaměstnance vím, že v každé směně se podílí na kontrole slícování tři zaměstnanci, po zavedení automatické kontroly by to byli zaměstnanci dva. Celkově se tedy uspoří tři zaměstnanci, po jednom v každé směně.

Tabulka 6 náklady na provoz varianty č.1

	<b>náklady na ruční kontrolu slícování (N1)</b>	<b>náklady na automatickou optickou kontrolu (N2)</b>
počet směn	3	3
délka směny	12	12
počet zaměstnanců na směnu	3	2
celkový počet zaměstnanců	9	6
náklady na pracovní místo/měsíc	30 294 Kč	30 294 Kč
náklady na x pracovních míst/rok	3 271 752 Kč	2 181 168 Kč
náklady na el. Energii	-	3 Kč/kWh
příkon zařízení	-	1kW
náklady na el. Energii/rok	-	18 000 Kč
ostatní náklady (údržba, ...)	-	50 000 Kč
<b>Náklady celkem/rok</b>	<b>3 271 752 Kč</b>	<b>2 249 168 Kč</b>

Jak je vidět z tabulky ročně by se dalo automatickou kontrolou uspořit okolo milionu korun. V následující tabulce provedu velmi hrubou kalkulaci nákladů na realizaci pracoviště a provedu výpočet doby návratnosti.

Tabulka 7 investiční náklady varianty č.1

Investiční náklady (I)	
náklady na stavbu stanoviště	400 000 Kč
sondy (20ks)	2 000 000 Kč
kamera + řadič	50 000 Kč
stojany (materiál + práce)	10 000 Kč
optická závora difusní	7 000 Kč
ochranný plot (8m)	50 000 Kč
bezpečnostní světelná závora (2ks)	50 000 Kč
rotační enkodér	40 000 Kč
optická závora reflexní (2ks)	20 000 Kč
čtečka čárového kódu	2 000 Kč
řadič sond	125 000 Kč
software	200 000 Kč
PC	50 000 Kč
<b>celkem</b>	<b>3 004 000 Kč</b>

**Doba návratnosti**

Výpočet doby návratnosti je prováděn na základě investičních nákladů, které jsou poděleny náklady na provoz před zavedením zařízení a po jeho zavedení.

$$t = \frac{I}{N} = \frac{I}{(N1 - N2)} = \frac{3004000}{3\,271\,752 - 2249168} = 2,93 \text{ roku}$$

**6.1.2 Ekonomické zhodnocení varianty č.2 -**

Porovnání ročních nákladů na kontrolu druhé varianty je v tab. 8. Náklady na ruční slícování jsou stejné jako v předchozí tabulce. U nákladů na automatickou optickou kontrolu pomocí robotů zahrnují náklady spotřebu el. energie robotů a zařízení pro měření a náklady na údržbu robotů a ostatního příslušenství. Jak ve vidět v tabulkách, předpokládané roční náklady první varianty jsou o více než 100000Kč nižší než u varianty druhé. Je to způsobeno energetickou náročností na provoz robotů a náklady na jejich údržbu.

Tabulka 8 investiční náklady varianty č.2

	náklady na ruční kontrolu slícování (N1)	náklady na automatickou optickou kontrolu (N2)
počet směn	3	3
délka směny	12	12
počet zaměstnanců na směnu	3	2
celkový počet zaměstnanců	9	6
náklady na pracovní místo/měsíc	30 294 Kč	30 294 Kč
náklady na x pracovních míst/rok	3 271 752 Kč	2 181 168 Kč
náklady na el. Energii	-	3Kč/KWh
příkon zařízení	-	6kW
náklady na el. Energii/rok	-	97 000 Kč
ostatní náklady (údržba, ...)	-	100 000 Kč
<b>Náklady celkem</b>	<b>3 271 752 Kč</b>	<b>2 378 168 Kč</b>

Investiční náklady na vybudování robotizovaného pracoviště automatické optické kontroly jsou oproti první variantě výrazně vyšší, proto se doba návratnosti výrazně prodlouží.

Tabulka 9 investiční náklady varianty č. 1

<b>Investiční náklady</b>	
náklady na přestavbu pracoviště	800 000 Kč
robot Kawasaki (2ks)	2 000 000 Kč
sondy (2ks)	200 000 Kč
stojany (materiál + práce)	2 000 Kč
ochranný plot (20m) + příslušenství	150 000 Kč
bezpečnostní světelná závora (2ks)	50 000 Kč
rotační enkodér	40 000 Kč
optická závora reflexní (2ks)	20 000 Kč
čtečka čárového kódu	2 000 Kč
controllery robotů	200 000 Kč
řadič sond	125 000 Kč
software	200 000 Kč
PC	50 000 Kč
	<b>3 839 000 Kč</b>

### Doba návratnosti

$$t = \frac{I}{N} = \frac{I}{(N1 - N2)} = \frac{3839000}{3271752 - 2378168} = 4,3 \text{ roku}$$

Doba návratnosti vyšla 4,3 roku, což z ekonomického hlediska není moc výhodné. V ideálním případě by se měla vrátit investice do 3 až 4 let. Jak už jsem ale uvedl, náklady jsou velmi hrubě odhadnuté, z již uvedených důvodů, takže by se ve výsledku mohly snížit a tím pádem by doba návratnosti klesla pod hranici čtyř let.

### 6.1.3 Porovnání variant a doporučení výběru varianty

<b>Varianta č.1 - statické umístění sond</b>	
<b>výhody</b>	<b>nevýhody</b>
není nutné zásadně zasahovat do rozmístění ostatních pracovišť	obtížná změna konfigurace při změně modelu nebo měřících míst
snadná údržba – žádné mechanické díly, delší životnost	další investice při rozšiřování pracoviště pro kontrolu přední masky
ve srovnání s variantou č.2 levnější řešení - jak pořizovací cena, tak náklady na provoz	

<b>Varianta č.2 - umístění sond na rameno robota</b>	
<b>výhody</b>	<b>nevýhody</b>
komplexní řešení v jednom místě	nutnost přesunu pracoviště lepení lišt
větší variabilita oproti variantě č.1	vysoká počáteční investice
možnost přechodně se zaměřit na problémové zóny změnou programu robota	výrazně vyšší náklady na údržbu
možnost měřit i přední masku robota - další úspora práce	

### Doporučení varianty

Z finančního hlediska bych doporučil variantu č.1 – statické umístění sond, která plně dostačuje pro měření mezer a přesahů na zadní masce a bokách karoserie. Počáteční investice na vybudování a náklady na údržbu jsou výrazně nižší. Pokud by se však jednalo o užitnou hodnotu, pak bych doporučoval variantu č.2 – umístění sond na rameno robotu, která je mnohem flexibilnější a umožňuje automatické optické kontrole využít plný potenciál. Konečné rozhodnutí však záleží na podniku.

#### 6.1.4 Přínosy pro podnik

Přínosy automatické optické kontroly jsou zjevné. V bodech bych rád zdůraznil tyto:

- Zvýšení kvality – větší spokojenost zákazníka
- Rychlé a přesné měření (současnost  $\pm 0,2\text{mm}$ , po zavedení optické kontroly  $\pm 0,01\text{mm}$ )
- Automatické vyhodnocování výsledků na základě zadaných tolerancí
- Ukládání výsledků měření do databáze pro jejich zpětné vyhodnocování
- Úspora zaměstnanců
- Odstranění namáhavé monotónní práce
- Prostředek, jak TPCA prezentovat jako moderní závod

## 7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provést rozbor prací na výstupní kontrole v automobilce TPCA, provést rozbor optické kontroly v průmyslu, provést rozbor stávajícího řešení optické kontroly, navrzení realizace automatické optické kontroly a zhodnocení přínosů pro podnik.

V teoretické části jsem tedy provedl popis všech prací výstupní kontroly na základě zkušenosti z podniku. Jednotlivé pracoviště jsou pojmenovány a v příloze č.1 je vyznačeno jejich umístění. Dále jsem v této části provedl rozbor optických kontrol, které se v současné době využívají v průmyslu. Jsou zde popsány základní principy měření pomocí kamer a laserových sond a příklady využití jednotlivých zařízení na konkrétních příkladech.

Po teoretické části přichází na řadu popsání současného stavu kontroly slícování. Zde byla rozebrána technika kontroly a bylo upozorněno na problémy související s manuálním prováděním a tím souvisejících úkonů.

Praktická část zahrnuje návrh měřících míst na karoserii, které byly vybrány na základě osobních zkušeností z podniku, dále předběžný návrh umístění stanoviště automatické optické kontroly a výběr měřící technologie, kterou je laserová sonda firmy Perceptron. V této části je i zmíněn problém s měřením zadní masky u vozů 107 a C1. Tento problém se týká mezery mezi zadním sklem a kombi lampami, kde měření hrany na kombi lampě je obtížné z důvodu čirosti krycího skla. Na základě této skutečnosti bude do centra firmy Perceptron odeslán set zadního skla, kombi lamp a části karoserie, kde tato firma bude zkoumat možnosti proveditelného měření slícování.

Poté následuje první varianta návrhu automatické optické kontroly, která je založena na principu statického umístění sond. Je zde navrženo umístění a rozmístění pracoviště včetně jednotlivých prvků potřebných pro bezpečný a bezproblémový provoz pracoviště.

Druhá varianta zvažuje použití dvou robotů, na jejichž koncové efektory jsou umístěny navrhované měřící sondy. Návrh opět obsahuje funkční a bezpečnostní prvky pro bezproblémové provozování pracoviště.

Na závěr byla provedena hrubá kalkulace nákladů a na základě toho bylo vypočtena doba návratnosti. Dále zde byl proveden rozbor výhod a nevýhod jednotlivých řešení a bylo provedeno doporučení. Toto doporučení však není jednoznačné, protože závisí na více faktorech. Na úplný závěr bylo vyjmenováno několik přínosů pro podnik v případě zavedení automatické optické kontroly.

Cíle diplomové práce tedy byly splněny. Nyní už záleží jen na podniku TPCA, zda se rozhodne pro jedno z navrhovaných řešení.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] <http://www.tpca.cz>
- [2] interní dokumenty firmy TPCA
- [3] katalog výrobce měřicí techniky Keyence
- [4] Fiřt J., Holota R.: Digitální zpracování obrazu, nové technologie-výzkumné centrum
- [5] <http://3d.werdi.cz>
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [7] dokumenty fy Perceptron
- [8] <http://www.omron.cz>
- [9] <http://www.kawasakirobotics.com>
- [10] <http://www.leancompany.cz/leanslovník.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

TPCA		Toyota Peugeot Citroën Automobile
PSA		Koncern Peugeot Citroën
tact time		čas taktu linky
Obr.		obrázek
TPS	Toyota Production System	Výrobní systém Toyota
SPEC SHEET	kontrolní list	formulář pro zapisování závad
AI	assembly inspection	kontrola montáže
VPI	vehicle performance inspection	kontrola funkčnosti vozu
QCE	quality control engineering	oddělení kontroly kvality - inženýring
NCA	non contact alignment	bezkontaktní seřízení
R&B	roll and break	zkouška na válcích
LCD	Liquid Crystal Display	displej z tekutých krystalů
CCD	Charge-Coupled Device	elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace
USB	Universal Serial Bus	universální sériová sběrnice
RS-232		sériový port PC
RJ-45		koncovka síťového kabelu
laser	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation	zesilování světla pomocí stimulované emise záření
W	Watt	hlavní jednotkou výkonu
3D		trojrozměrný
px	pixel	nejmenší jednotka digitální rastrové grafiky
PC	personal computer	osobní počítač
PLC		programovatelný logický automat
ip		stupeň zakrytování stroje nebo přístroje před vnikem cizích částic
UPS	Uninterruptible Power Supply	nepřerušitelný zdroj energie
t	time	čas taktu linky
N		náklady
I		investice

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### Seznam obrázků

Obrázek 1-1 logo TPCA [1].....	15
Obrázek 1-2 rozvržení továrny TPCA .....	15
Obrázek 1-3 výrobní program TPCA [1].....	16
Obrázek 2-1 schéma TPS [2] .....	17
Obrázek 2-2 Rozvržení montážní linky a výstupní kontroly .....	18
Obrázek 2-3 Spec sheet [2].....	19
Obrázek 2-4 Assembly Inspection In-line chassis .....	20
Obrázek 2-5 linka AI .....	22
Obrázek 2-6 VPI (vzadu komory R&B, v popředí PIT).....	23
Obrázek 2-7 sprchový box.....	24
Obrázek 2-8 pracoviště auditu .....	25
Obrázek 3-1 princip snímání obrazu [3].....	27
Obrázek 3-2 digitalizace [3] .....	28
Obrázek 3-3 schéma možného zapojení kamer [3].....	29
Obrázek 3-4 měření rozměrů .....	29
Obrázek 3-5 počítání objektů [3] .....	30
Obrázek 3-6 kontrola dna plechovky [3] .....	30
Obrázek 3-7 princip laserové sondy [3].....	31
Obrázek 3-8 Bezpečnostní symbol laseru třídy 2 a vyšší [6] .....	32
Obrázek 3-9 příklady aplikací laserového měření [3] .....	32
Obrázek 3-10 příklady aplikací [3].....	33
Obrázek 3-11 příklady aplikací [3].....	33
Obrázek 4-1 kontrola slícování masky .....	34
Obrázek 4-2 kontrola slícování zadní masky a boků .....	34
Obrázek 5-1 měřicí místa Peugeot 107/Citroën C1 .....	35
Obrázek 5-2 měřicí místa Toyota Aygo (zadní maska).....	35
Obrázek 5-3 měřicí místa Peugeot 107 a Citroën C1 (boky).....	36
Obrázek 5-4 měřicí místa Toyota Aygo (boky).....	36
Obrázek 5-5 návrh umístění pracoviště [2].....	37
Obrázek 5-6 schéma detailu mezery .....	38
Obrázek 5-7 sonda firmy Perceptron [7] .....	39
Obrázek 5-8 laser třídy 2 [6].....	39
Obrázek 5-9 schematický návrh stojanu.....	42
Obrázek 5-10 znaky Toyota, Peugeot, Citroën.....	43
Obrázek 5-11 senzor s odrazovou plochou.....	43
Obrázek 5-12 difusní senzor .....	43
Obrázek 5-13 prostor výtahu – kontrola zadní masky .....	44
Obrázek 5-14 enkodér [8] .....	46
Obrázek 5-15 rozkódované KATASHIKI [2] .....	47
Obrázek 5-16 ruční čtečka čárových kódů [3].....	47
Obrázek 5-17 řadič C-typ [7].....	48
Obrázek 5-18 prostor měření boků vozidla .....	49
Obrázek 5-19 robot Kawasaki série F [9].....	50
Obrázek 5-20 Kawasaki controller typ C .....	50
Obrázek 5-21 rozvržení robotizované pracoviště měření .....	52

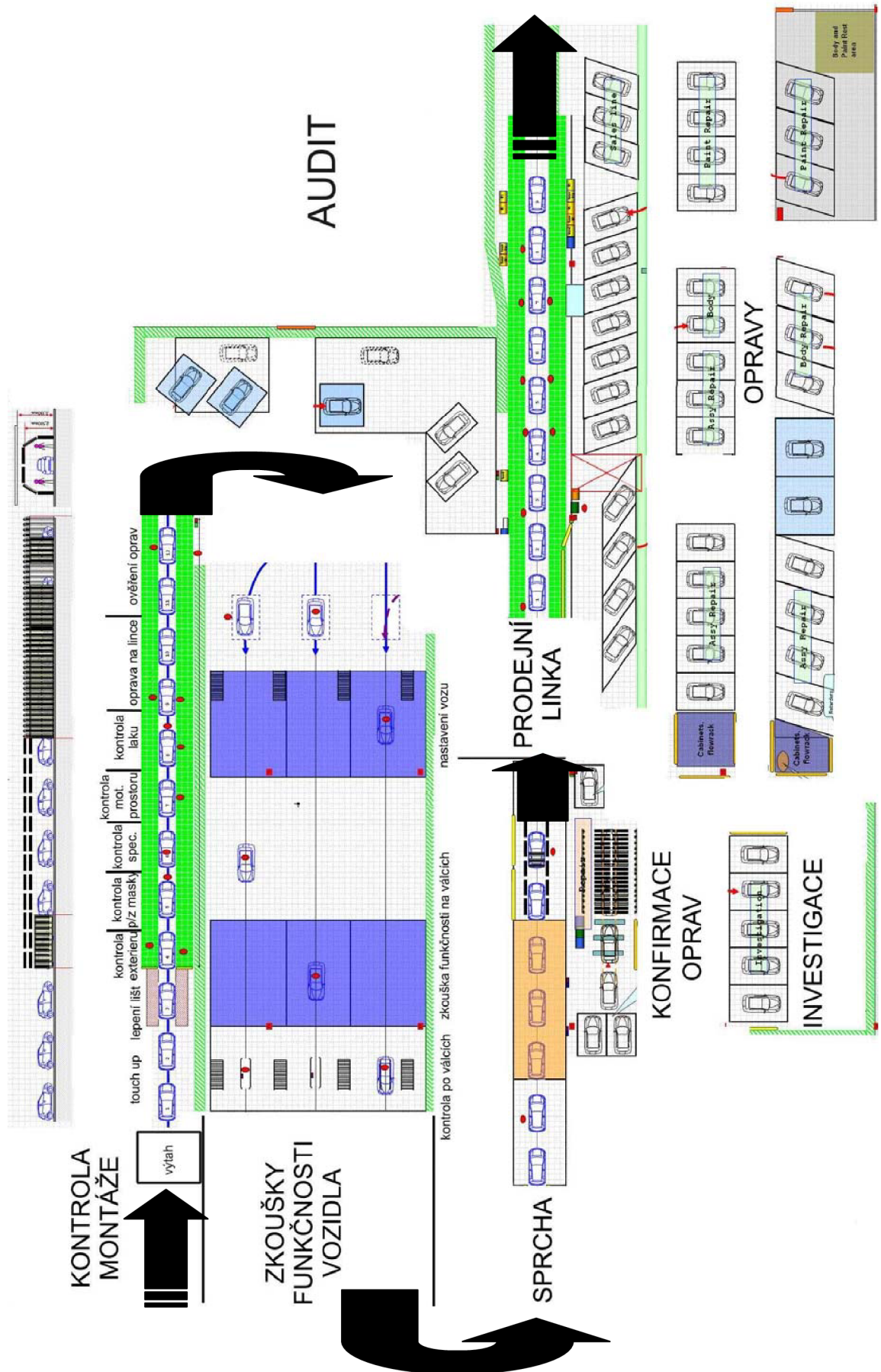
**Seznam tabulek**

Tabulka 1 technické parametry sondy [7] .....	40
Tabulka 2 parametry rozpoznávací kamery [3] .....	43
Tabulka 3 parametry bezpečnostního světelného závěsu [8].....	45
Tabulka 4 parametry rotačního enkodéru [8] .....	46
Tabulka 5 parametry ruční čtečky kódů [3].....	47
Tabulka 6 náklady na provoz varianty č.1 .....	54
Tabulka 7 investiční náklady varianty č.1 .....	55
Tabulka 8 investiční náklady varianty č.2 .....	55
Tabulka 9 investiční náklady varianty č.1 .....	56

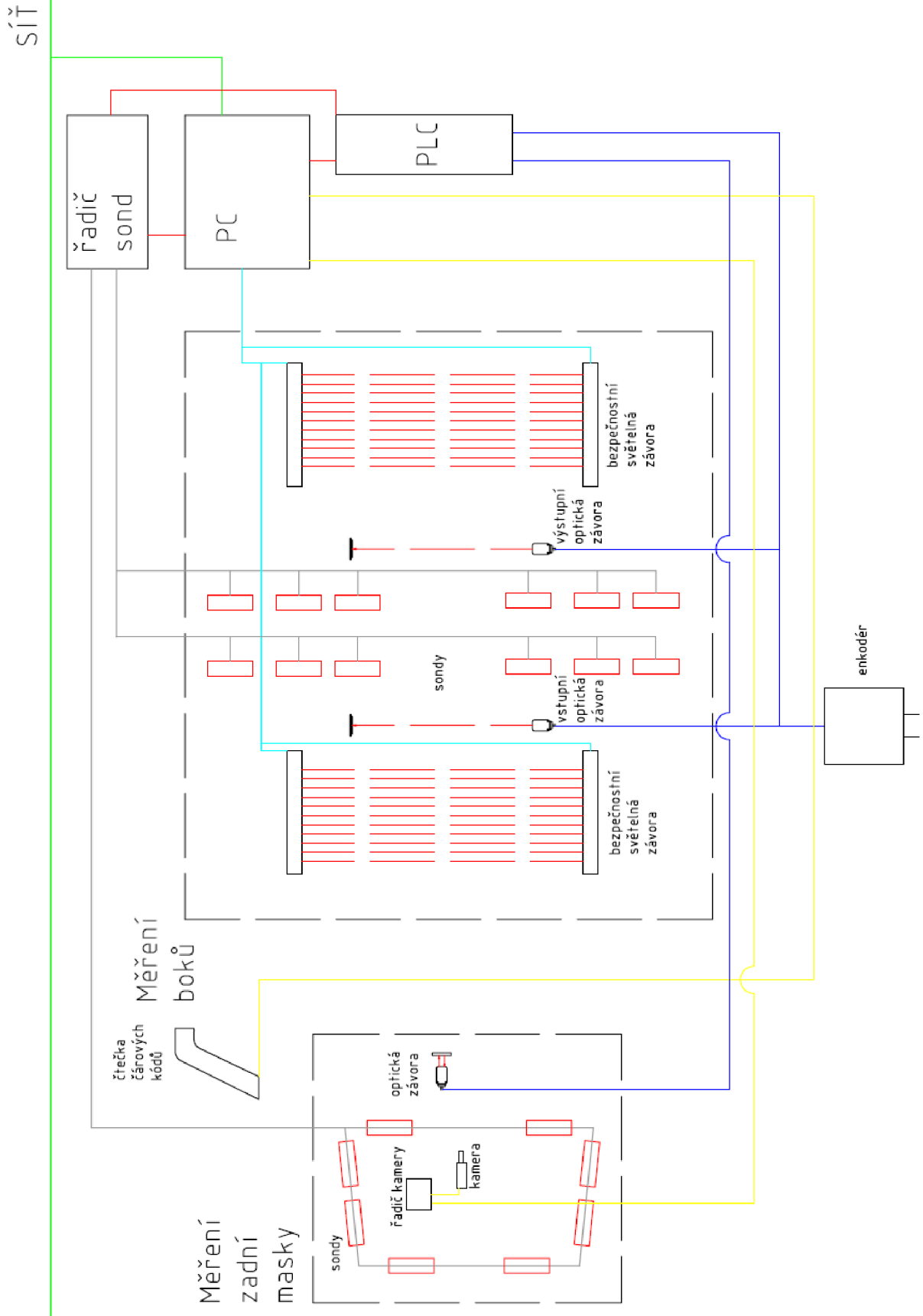
## **SEZNAM PŘÍLOH**

- [1] layout výstupní kontroly TPCA
- [2] schéma zapojení pracoviště – varianta č.1
- [3] schéma zapojení pracoviště – varianta č.2

### Příloha 1 - layout výstupní kontroly TPCA



**Příloha 2 – schéma zapojení varianty s pilíři**



### Příloha 3 – schéma zapojení varianty s roboty

