

# **Zařízení pro měření celistvosti antén tištěných na skle**

## **Anotace**

Předkládaná práce se zabývá problematikou kontroly tištěných antén na plochá skla. V současné době je měření prováděno pomocí 3D makety s měděnými kartáčky, ale tato metoda neumožňuje spolehlivě kontrolovat všechny typy výrobků. V práci je řešen návrh nového nebo upraveného pracoviště pro měření celistvosti antény. Je provedena analýza problému, zváženo užití kontaktních a bezkontaktních možností. Na základě teoretických předpokladů a experimentů je proveden návrh řešení, které by umožnilo detekci všech typů antén. Součástí je i konstrukční řešení automatické kontroly, výrobní dokumentace a technickoekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: ploché sklo, analýza obrazu, celistvost antén, lineární kamera

## **Equipment for wholeness inspection of antennas printed on glass**

## **Annotation**

This thesis deals with inspection of printed antennas on a flat glass. Currently, this is checked by a 3D model with copper brushes. However, this method does not allow inspection of all product types. The aim of this thesis is to design a new or modified device for antenna wholeness inspection. Problem analysis was examined and contact vs. contactless methods were compared. Based on a theoretical knowledge and experiments, selected version was designed to achieve a robust inspection of all types of printed antennas. Design of automatic inspection device, drawing documentation and technical and economical evaluation is also a part of this work.

Key words: flat glass, image analysis, wholeness of antennas, line scan

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce **Ing. Vlastimilu Hotařovi, Ph.D.** za neocenitelné rady, náměty, odborné vedení a čas, který mé práci věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi **Michalu Vranému** za pomoc a rady s konstrukcí zařízení.

## Seznam symbolů a jednotek

<i>Označení</i>	<i>Název veličiny</i>	<i>Jednotka</i>
d	průměr	[mm]
f	ohnisková vzdálenost	[mm]
g	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
l	délka	[m, mm]
l <sub>p</sub>	délka v obraze	[px]
L <sub>WD</sub>	pracovní vzdálenost	[mm]
m	hmotnost	[kg]
M <sub>PMGA</sub>	základní zvětšení objektivu	[-]
n	počet přísavek	[ks]
p	tlak	[Pa]
S	plocha	[m <sup>2</sup> ]
t	čas	[s]
T	teplota	[°C]
U	napětí	[V]
u <sub>s</sub>	velikost čipu	[mm]
U <sub>s</sub>	velikost snímané plochy	[mm]
v	rychlost	[m/s]
V	objem	[m <sup>3</sup> ]
ρ	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]

# Obsah

Úvod .....	10
1 Rešerše současného stavu kontroly tištěných antén .....	11
1.1 Popis současného systému kontroly .....	11
1.2 Popis výroby bočních automobilových skel .....	12
1.3 Kontrola pomocí 3D maket.....	15
1.4 Možnosti řešení kontroly .....	17
1.4.1 Kontaktní metody .....	17
1.4.2 Nekontaktní metody .....	18
1.4.3 Zvolená metoda .....	20
2 Laboratorní měření .....	21
2.1 Příprava experimentu .....	21
2.2 Popis experimentu .....	21
2.2.1 Bright-field light .....	22
2.2.2 Dark-field light .....	23
2.2.3 Back light .....	23
2.3 Výpočet rozlišení a pracovní vzdálenosti.....	24
2.4 Měření s přísavkou.....	26
2.5 Závěr z měření.....	27
3 Zpracování obrazu a specifika snímání transparentního materiálu .....	28
4 Navržená koncepční řešení .....	31
4.1 Varianta I.....	32
4.2 Varianta II.....	34
4.3 Varianta III.....	38
4.4 Výběr varianty .....	38
5 Konstrukční provedení vybrané varianty .....	39
5.1 Základní rám .....	39
5.2 Manipulátor .....	42
5.3 Pojezd kamery .....	45
5.4 Informace o softwarovém zpracování dat a řízení .....	47
6 Technickoekonomické zhodnocení .....	50
Závěr.....	52
Seznam použité literatury .....	53

## Seznam obrázků

Obr. 1 <i>Anténa tištěná na sklo</i> .....	11
Obr. 2 <i>Tvarový řez skla</i> .....	12
Obr. 3 <i>Zabroušení hran skla</i> .....	13
Obr. 4 <i>Tisk na sklo</i> .....	13
Obr. 5 <i>Kontrolní maketa na lince</i> .....	14
Obr. 6 <i>Kontrolní maketa</i> .....	15
Obr. 7 <i>Měděný kartáček</i> .....	16
Obr. 8 <i>Hustý potisk - problém s místem pro kontaktní body</i> .....	16
Obr. 9 <i>Přísavka s kontaktem</i> .....	18
Obr. 10 <i>Způsoby nasvícení objektu</i> .....	19
Obr. 11 <i>Kamera, osvětlení a snímáný objekt v temném boxu</i> .....	21
Obr. 12 <i>Pozadí testovaná při zexperimentech</i> .....	22
Obr. 13 <i>Schéma metody bright-field</i> .....	22
Obr. 14 <i>Schéma metody dark-field</i> .....	23
Obr. 15 <i>Schéma metody back light</i> .....	23
Obr. 16 <i>Snímek chyby a posuvného měřítka</i> .....	24
Obr. 17 <i>Přibližná (rozpixelovaná) vada</i> .....	25
Obr. 18 <i>Sklo s přisátou přísavkou</i> .....	26
Obr. 19 <i>Schéma systému pro obrazovou analýzu</i> .....	29
Obr. 20 <i>Prostorové možnosti na zařízení v osách X a Z</i> .....	31
Obr. 21 <i>Prostorové možnosti na zařízení v ose Y</i> .....	31
Obr. 22 <i>Schéma varianty I</i> .....	32
Obr. 23 <i>Půdorys kontrolní kabiny- Varianta I</i> .....	33
Obr. 24 <i>Schéma varianty II</i> .....	35
Obr. 25 <i>Schéma varianty II - pohled shora</i> .....	36
Obr. 26 <i>Půdorys kontrolní kabiny- Varianta II</i> .....	37
Obr. 27 <i>Základní rám</i> .....	40
Obr. 28 <i>Lineární osvětlení CCS</i> .....	41
Obr. 29 <i>Princip funkce vstupního tunelu</i> .....	41
Obr. 30 <i>Automatická stříkací pistole</i> .....	42
Obr. 31 <i>Manipulátor</i> .....	43
Obr. 32 <i>Pneumotor DSBG</i> .....	44
Obr. 33 <i>Pojezd kamery</i> .....	45
Obr. 34 <i>Detail propojení kamery a jezdce</i> .....	46
Obr. 35 <i>Pneumatický obvod s řízením</i> .....	49

## Úvod

V současné době je trendem spojeným se skly v automobilovém průmyslu tisk antén přímo na sklo pomocí Ag pasty a sítotisku. Metoda nahrazuje klasické antény, ale jsou s ní spojeny problémy s kontrolou celistvosti potisku, kterými jsou především kontrola linií natištěných blízko sebe a do uzavřených smyček a problémy spojené s použitím měděných kartáčků, které se ke kontrole používají. Cílem je tedy vyvinout zařízení, které dokáže kontrolu optimalizovat, bude spolehlivé a umožní kontrolovat 100% výrobků.

Na začátku práce je popsán proces výroby skel s tištěnou anténou a dále následuje rozbor možností kontroly a postupy, kterými je možné se vydat, ať už metody kontaktní, tak i nekontaktní. Je zvolena nekontaktní metoda s použitím kamer. Tato metoda je poslední dobou velmi rozšířená v oblastech jako například rozpoznání objektů, polohy, tvaru, detekce vad, rozpoznání textu a čtení kódů. Dále jsou v práci popsány experimenty a výpočty na jejichž základech jsou navrženy koncepční varianty, z kterých je proveden výběr pomocí rozhodovací analýzy. Pro zvolenou variantu je realizováno konstrukční řešení, které je podrobněji popsáno v páté kapitole a je pro něho zároveň zpracována výkresová dokumentace. Na závěr je v práci zhodnocen technický a ekonomický přínos zařízení, včetně předpokládaných nákladů na jeho implementaci do výrobní linky.

# 1 Rešerše současného stavu kontroly tištěných antén

Pro lepší orientaci v problematice a porozumění problému, bylo nutné nejprve prostudovat současný stav kontroly a reálné možnosti řešení.

## 1.1 Popis současného systému kontroly

Stále větší množství automobilů má anténu integrovanou potiskem přímo do zadních bočních skel (obr. 1) a tak je stále větší nutností kontrola tohoto potisku. Antén, které jsou součástí čelních skel nebo i skel obecně, jsou tři druhy. Anténa na zlepšení radiového nebo televizního příjmu a GPS anténa, ve většině případů jsou výrobci autoskel montovány jako jeden celek s jedním výstupem na zmíněná zařízení. Třetím případem je použití okruhu jako alarm.

V současné době je 100% kontrola prováděna pouze u některých typů tištěných antén, protože při komplikovaných tvarech potisku není vždy možné efektivní použití současné metody a rovněž při uzavřeném tvaru natištěných antén je komplikované přesně vyhodnotit získané údaje.



Obr. 1 Anténa tištěná na sklo

## **1.2 Popis výroby bočních automobilových skel**

Na začátek linky obsluha dopraví vozíky s plochým sklem. Přířez je robotem nabrán z vozíku a položen na dopravník. Po vystředění přířezu je na CNC strojích rozříznut na základní tvar budoucího bočního skla a poté je proveden tvarový řez (obr. 2). Sklo je naříznuto a dolomeno pomocnými packami, které odlomí přebytky. Následně jsou sklu na další pozici zabroušeny hrany a je provedena první kontrola.



Obr. 2 *Tvarový řez skla*

Na dalších pozicích je sklo umyto a usušeno a pomocí kamer jsou kontrolovány tvarové vady. Následně je na konečný 2D tvar zabroušeného skla (obr. 3), po umytí, sušení a centrování pomocí sítotisku natisknut černý neprůhledný okraj, který je vytvrzen na UV sušičce.





Obr. 3 *Zabroušení hran skla*

Po dalším vycentrování je natištěn stříbrotisk Ag pastou, který může mít funkce antény, vytápění skla a alarmu. V IR sušičce je sklo osušeno a dojde k vytvrzení Ag pasty (obr. 4). Tištění na sklo je prováděno v uzavřených komorách, aby se zabránilo vniknutí nečistot pod tisknuté vrstvy a výrobek tak nebyl znehodnocen.



Obr. 4 *Tisk na sklo*

Poté je sklo převezeno na další část linky, kde je založeno skrz fixační šablonu a manipulátorem přesunuto na centrální dopravník, který vstupuje do pece. V peci dojde k zahřátí z počátečních cca 22 °C až k hranici 650 °C, při této teplotě je vylisován konečný tvar bočního skla. Během lisovacího procesu dojde k ochlazení na 550 °C, sklo je zakaleno, řízeně dochlazováno a následně vystupuje z pece. Linka se po výstupu z pece rozdvouje na dvě simultánně pracující linky. Sklo je odebráno obsluhou a založeno na kontrolní maketu (obr. 5), kde je kontrolována jak natištěná anténa, tak prohnutí.

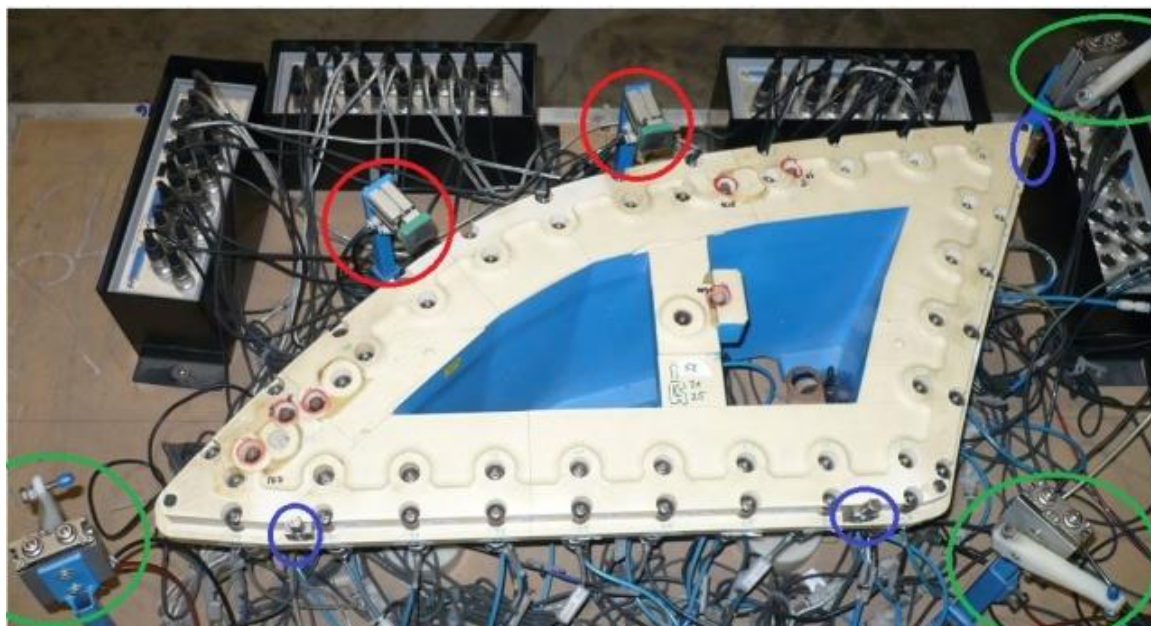


Obr. 5 Kontrolní maketa na lince

Po kontrole manipulátor odebere kontrolovaný kus z makety a založí ho na dopravník, na kterém vjíždí do kontrolní kabiny, kde je podsvícené pracoviště, na kterém obsluha kontroluje jak hrany a tisk, tak i estetickou stránku výrobku. V této kontrolní kabině bude umístěno i zařízení, které je cílem diplomové práce. Pokud není výrobek schválen, je za boxem odebrán z linky a pomocí manipulátoru přesunut do odpadového kontejneru. Pokud schválen je, pokračuje k balení a paletizaci, nebo je přesunut na AVO, kde získává další přidanou hodnotu.

### 1.3 Kontrola pomocí 3D maket

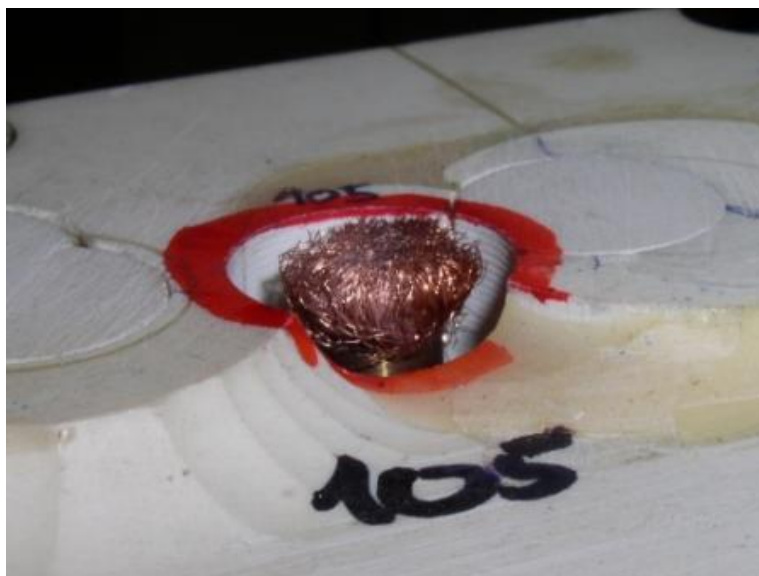
Kontrola ohybu a tištěné antény pomocí maket je v současné době jediná využívaná kontrola. Vzhledem k tomu, že na lince je vyráběn široký sortiment, je potřeba mít pro každý specifický výrobek jinou specifickou maketu, která se musí vyrobit i pro výrobky, které nejsou vyráběny ve velkých sériích a takové makety jsou velmi nákladné. V každé maketě jsou navíc čidla na odměření prohnutí a také měděné kartáčky, kterými se proměřují antény.



Obr. 6 Kontrolní maketa

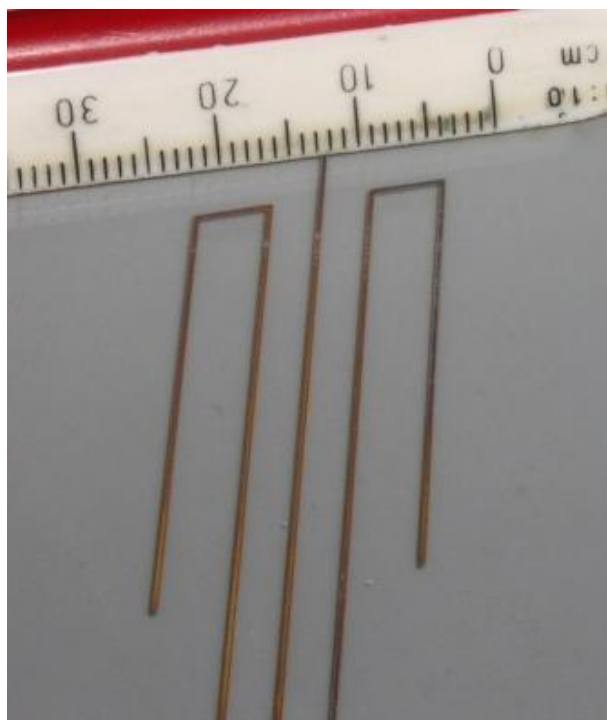
Po zasazení skla na maketu dojde k vycentrování pomocí dorazů (obr. 6 -modrá) a dvou pneumotorů (obr. 6 - červená) a sklo je dotlačeno k maketě pomocí klopných dorazů (obr. 6 -zelená), které jsou zde proto, aby při vyjíždění sondy na odměření přesnosti tvaru nedošlo k nadzvednutí celého objektu. Poté vyjedou měděné kartáčky (obr. 7), které se přitlačí na předem určená místa na natištěné anténě a dojde k proměření antény (u otevřených smyček se měří napětí, u uzavřených odpor).





Obr. 7 Měděný kartáček

Pro napětí a odpor jsou dány meze, kterou jsou porovnávány a výrobek je pak vyhodnocen jako dobrý nebo špatný. U měděných kartáčků však po nějakém čase dojde ke slepení a zanesení, které je způsobeno mastnotou a prachem a metoda přestává být spolehlivá a velmi často ovlivňuje vyhodnocení. Je proto třeba vyvinout inovované, nebo nové pracoviště. Problémem tedy je nakontaktování antény, přechodový odpor mezi kontaktem a Ag tiskem a v některých případech prostor pro kontaktní body (obr. 8).



Obr. 8 Hustý potisk - problém s místem pro kontaktní body

## 1.4 Možnosti řešení kontroly

Ke kontrole tištěných antén je možno přistoupit ze dvou úhlů pohledu. První možností jsou metody kontaktní, kdy je nutné provést nakontaktování každého kontrolovaného kusu. Druhou cestou je využití nekontaktní metody s využitím kamery.

### 1.4.1 Kontaktní metody

Problémem u všech kontaktních metod je nakontaktování kontrolovaného prvku s kontrolním zařízením. Vždy je nutné napojit anténu natištěnou na skle ke kontrolnímu zařízení. V případě nepřetržité výroby a nutnosti kontrolovat každý kus v zhruba 10 s rozestupech je problémem už jen samotné vytvoření stabilního a stále stejně kvalitního kontaktu. Kontrolovaný kus je stále stejný, ale problém je na straně kontrolní stanice. Kontakt se postupem času zanáší mastnotou a prachem a časem je spojení kontaktů nekvalitní právě kvůli znečištění a je třeba kontakt opětovně čistit nebo vyměnit.

#### 1.4.1.1 Vysílač - přijímač

Tato kontrola je založena na tom, že připojím tištěnou anténu a použiju ji jako vysílač. Její správné natištění ověřím na přijímači, který musí být umístěn ve stejné místnosti a prostor mezi vysílačem a přijímačem nesmí být nijak zastavěn, aby nedošlo ke zkreslení kontroly. Vzhledem k tomu, že na sklo jsou tištěny různé druhy antén a okruhů od dálkového ovládání a GPS až k radiové anténě, bylo by třeba mít k dispozici místnost, kde by bylo možné kontrolovat i anténu která využívá největší vlnové délky (tab. 1). V tomto případě je to FM a AM. Z toho vyplývá potřeba extrémních prostorů pro kontrolu a díky vysokým nárokům na použití metody je tedy nevhodná.

Tabulka 1 *Vlnové délky pro daná vysílání*

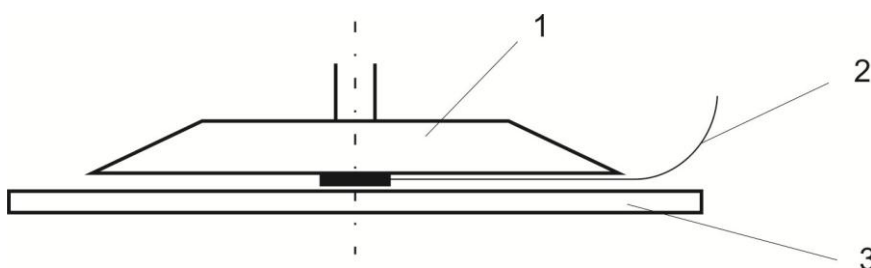
Druh vysílání	Orientační vlnová délka
GPS	190 mm
FM	10 m
AM	1000 m
Dálkové ovládání	800 mm

### 1.4.1.2 Průchod elektrického proudu

Kontrola probíhá tak, že na předem vytipovaná místa tištěné antény jsou připojeny kontakty a do okruhu je zapojen elektrický proud. V každém bodě lze monitorovat napětí a odpor a zjistit tak kvalitu nanesené vrstvy a srovnat ji s etalonem. Problém nastává ve chvíli, kdy je od zákazníka požadováno přerušení antény (ať už z hlediska designu nebo jiného), protože oddělenou část natištění není možné kontrolovat. Druhým problémem je kontrola uzavřené natištěné smyčky, protože v případě přerušení jedné větve je možné dostat téměř stejné výsledky a je tak velmi obtížné vyhodnocení kvality nátisku.

### 1.4.1.3 Kontakt pomocí přísavky

Kontakt by také bylo možné vytvořit tak, že by přísavka při uchopení skla nesla s sebou kontakt a při přichycení skla by došlo k sepnutí kontaktu a proměření antény (obr. 9). Komplikace je, že kontakt by byl stále zanášen tak jak je tomu doposud a navíc by přísavka musela k přířezu najíždět odspodu (z důvodu orientace skla na lince) a následně s ním manipulovat skrz dopravník.



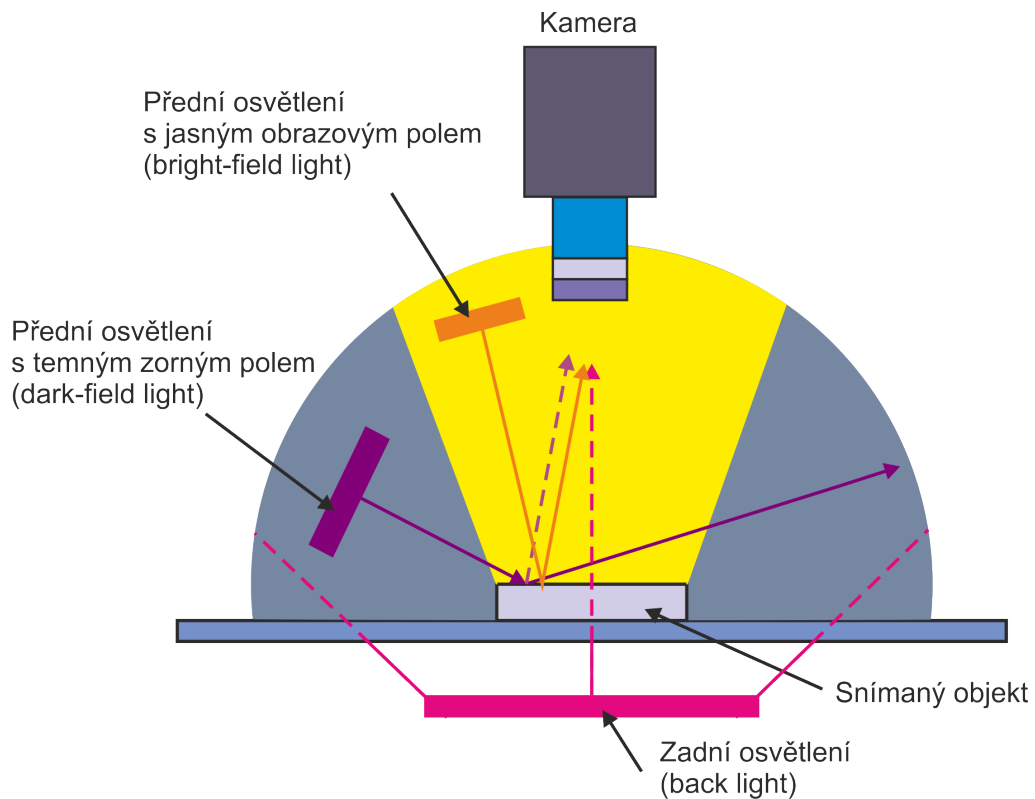
Obr. 9 *Přísavka s kontaktem*

Popis obrázku: 1- přísavka, 2- kontaktní ploška, 3- kontrolovaný objekt

### 1.4.2 Nekontaktní metody

U nekontaktní metody je principem zastavení kontrolovaného potištěného přířezu na dopravníku, provedení nutné manipulace tak, aby mohlo dojít k nasnímání potisku kamerou a k následnému vyhodnocení. Pro tuto metodu je nezbytné zajistit stabilní světelné podmínky, a proto je vhodné vytvořit temný box, kde bude ke snímání docházet. Dále je nutné vyřešit problém s optimálním nasvícením scény a výběrem okolního materiálu tak, aby nedošlo k znehodnocení snímku a tím špatnému vyhodnocení.

Je možné využít několik způsobů nasvícení objektu (obr. 10).



Obr. 10 Způsoby nasvícení objektu

- Dark-field light:
  - světlo se odráží od struktury na povrchu sledovaného objektu (vznik kontrastního obrazu),
  - užití směrového světla.
- Bright-field light:
  - světlo se od sledovaného objektu odráží do objektivu kamery,
  - využití ve spojení s rozptýleným světlem pro vytvoření kontrastů na základě rozdílné absorpce,
  - při nasvícení odrazivého materiálu je nevýhodou odraz samotného osvětlení a okolních zařízení.
- Back light:
  - světlo prochází okolo objektu a při práci s transparentním materiálem prochází i skrz objekt (využití k vytvoření obrazu obrysu),
  - užití rozptýleného světla.

### **1.4.3 Zvolená metoda**

Vzhledem k tomu, že u všech kontaktních metod je už z principu metody nutné nakontaktovat kontrolovaný kus s měřícím zařízením, jsou tyto metody problematické, protože samotné vytvoření kontaktu je velmi komplikované a v současné době je hlavní překážkou pro ponechání současné kontroly. Kontakt musí být stabilní, nezanášet se mastnotou a prachem během kontrol, musí mít velmi malou plochu tak, aby bylo možné mít několik kontaktů velmi blízko u sebe (až 4 na 10 mm) a nesmí potisk poškodit. Další nevýhodou kontaktní metody je, že není kontrolována optická celistvost antén. Kvůli těmto důvodům bude následné řešení navrženo pomocí nekontaktních metod.



## 2 Laboratorní měření

Kvůli ověření funkčnosti nekontaktní metody bylo třeba provést ověřovací experimenty a vybrat s jejich pomocí nejvhodnější variantu pro tuto aplikaci. Bylo použito tří metod, které se liší především v nasvícení snímané scény.

### 2.1 Příprava experimentu

Pro provedení experimentů bylo využito temného boxu, kde byl nainstalován držák osvětlení, osvětlení, kamera a podložka na sledovaný objekt (obr. 11). Temný box bylo třeba propojit s okolím přes zastíněné výstupy, skrz které byla kamera synchronizována se stolním počítačem pomocí LAN kabelu a byla připojena ke zdroji, stejně jako osvětlení.



Obr. 11 Kamera, osvětlení a snímaný objekt v temném boxu

### 2.2 Popis experimentu

Bylo využito všech 3 principů osvětlení tak, aby bylo možné analyzovat nejvhodnější metodu a tu použít v praxi.

Při osvětlení Bright-field a Dark-field bylo využito několik typů podložek pod sklo, aby simulovaly pozadí za snímaným objektem a bylo tak možné vyhodnotit, jaké pozadí je nejvhodnější.

Použitá pozadí (obr. 12):

- černý samet,
- šedý koberec,

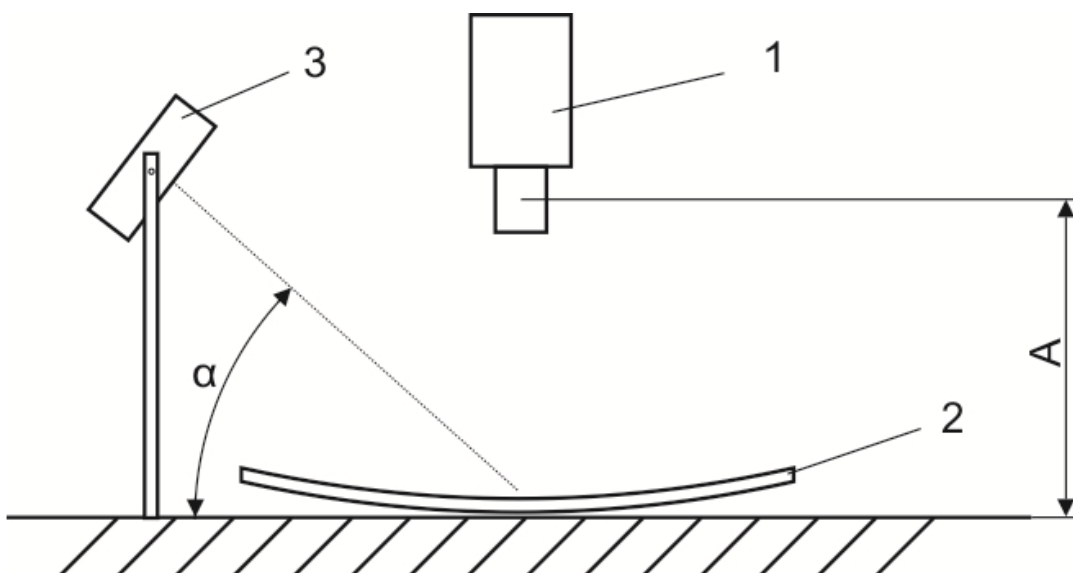
- šedá folie,
- stříbrná folie,
- fialová folie,
- šedý papír,
- bílý papír.



Obr. 12 Pozadí testovaná při zexperimentech

### 2.2.1 Bright-field light

Při této metodě je určující úhel  $\alpha$ , který je třeba nastavit dostatečně velký, aby se nejednalo o metodu Dark-field.

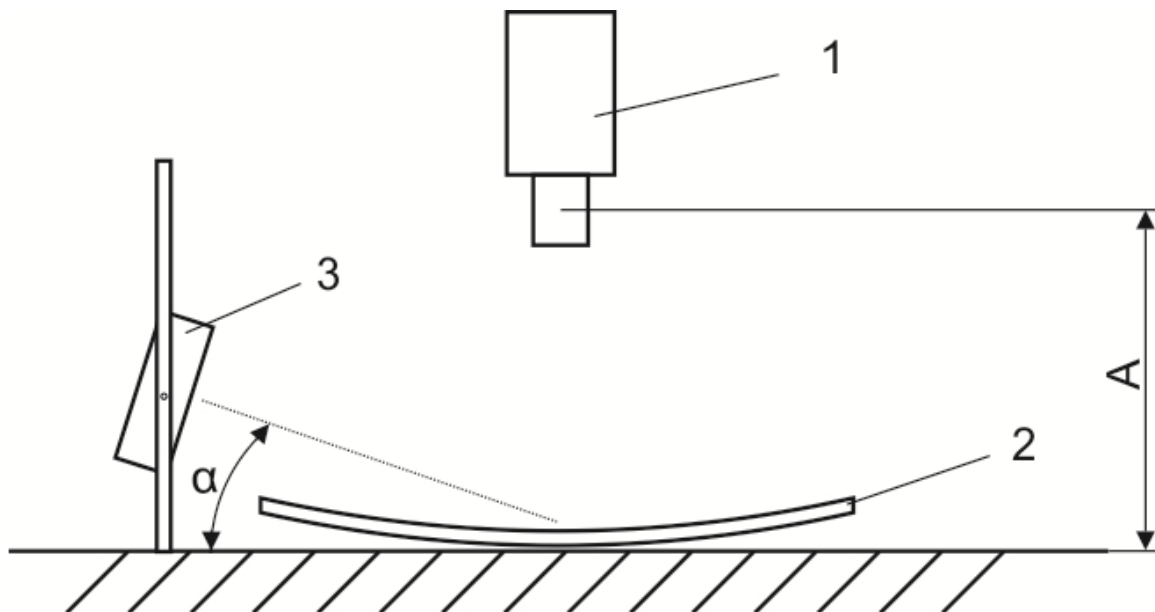


Obr. 13 Schéma metody bright-field

Popis obrázku: 1- kamera, 2- kontrolovaný objekt, 3- osvětlení,  
 $\alpha$ - úhel nasvětlení, A- vzdálenost mezi objektivem a podložkou

## 2.2.2 Dark-field light

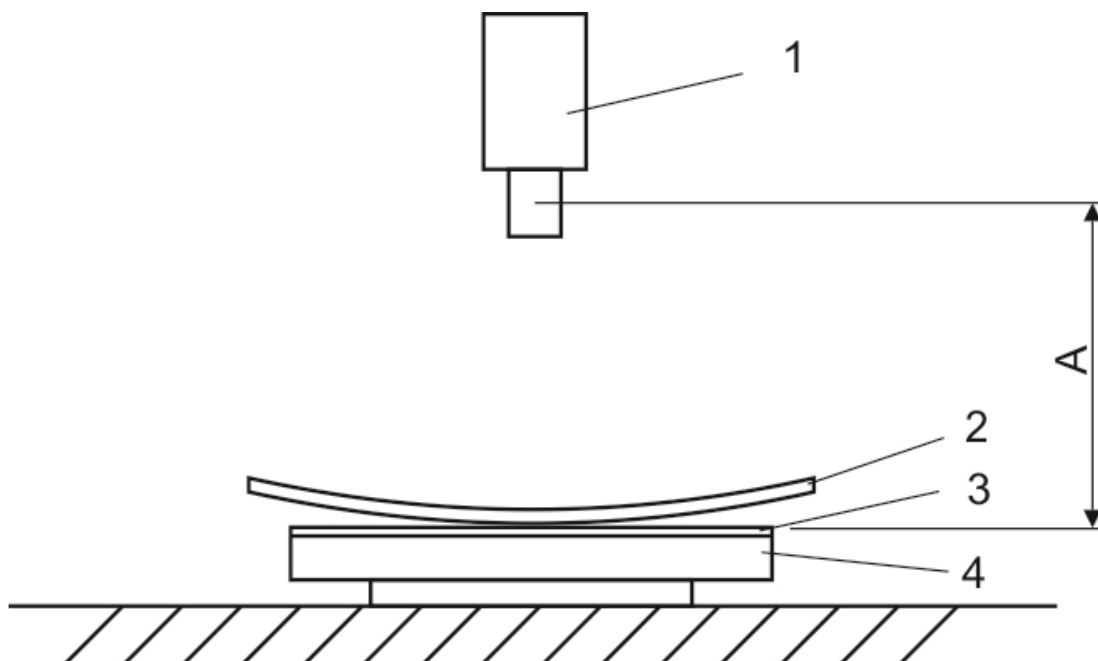
Stejně jako u předchozí metody je úhel  $\alpha$  určujícím faktorem této metody.



Obr. 14 Schéma metody dark-field

Popis obrázku: 1- kamera, 2- kontrolovaný objekt, 3- osvětlení,  
 $\alpha$ - úhel nasvětlení, A- vzdálenost mezi objektivem a podložkou

## 2.2.3 Back light

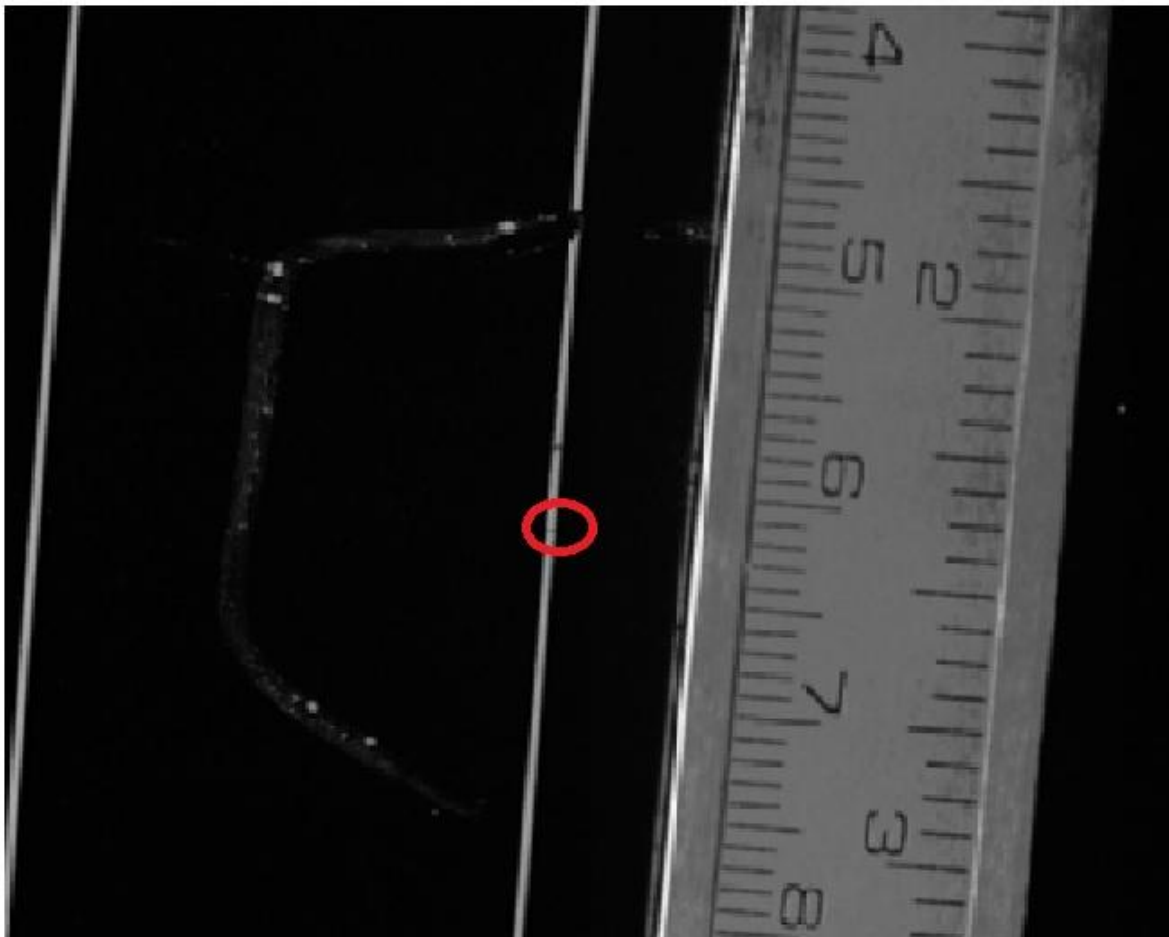


Obr. 15 Schéma metody back light

Popis obrázku: 1- kamera, 2- kontrolovaný objekt, 3- rozptylová deska 4-  
osvětlení, A- vzdálenost mezi objektivem a podložkou

### 2.3 Výpočet rozlišení a pracovní vzdálenosti

Byl proveden výpočet minimálního rozlišení kamery pro detekci vady, na které bylo provedeno testování (nejmenší vada ze všech vzorků). Pro výpočet byla pořízena fotka s objektivem  $f=50\text{mm}$  (ohnisková vzdálenost), na které je přiloženo posuvné měřítko (obr. 16).



Obr. 16 Snímek chyby a posuvného měřítka

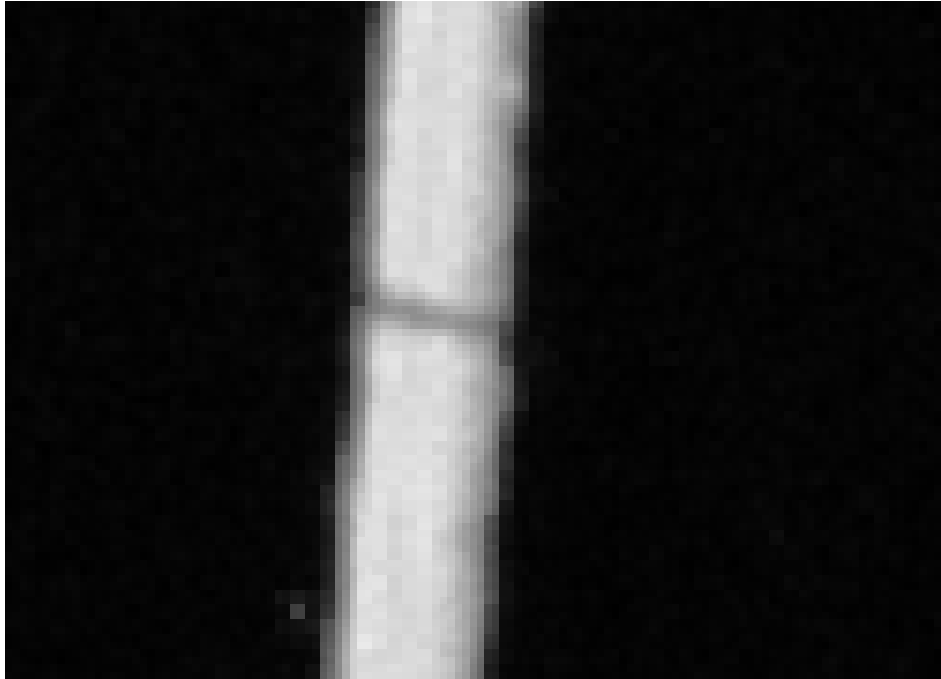
Následně byla změřena délka 40mm v pixelech a následoval výpočet.

$$40 \text{ mm odpovídá } 1886,4 \text{ px} \rightarrow 47,16 \frac{\text{px}}{\text{mm}}$$

Vada byla detekována na 2px (obr. 17), pak:

$$\frac{1 \text{ mm}}{47,16 \text{ px/mm}} \cdot 2\text{p} = 0,0424 \text{ mm}$$

Nejmenší detekovatelná chyba je tedy 0,0424mm, která bude pro potřeby zařízení nastavena na větší hranici kvůli spolehlivosti.



Obr. 17 Přiblížená (rozpixelovaná) vada

V případě výroby skla o maximálních rozměrech, které je možné na lince dosáhnout (1100 · 650mm) by bylo potřeba dosáhnout následujícího rozlišení:

$$\text{Hrana } 1100\text{mm: } 1100 \text{ mm} \cdot 47,16 \frac{\text{px}}{\text{mm}} = 51876 \text{ px}$$

$$\text{Hrana } 650\text{mm: } 650 \text{ mm} \cdot 47,16 \frac{\text{px}}{\text{mm}} = 30654 \text{ px}$$

Takové rozlišení čipů u kamer je daleko za hranicí dnes dostupných kamer (max. 6576 · 4384px) a bylo by tak třeba využít pro kontrolu matici kamer a takové zařízení by bylo několikanásobně dražší. To vylučuje použití např. inteligentních kamer a naopak vede k možnosti využití kamer řádkových (max. 16000px).

Pro rozlišení kratší hrany skla by bylo třeba využít 2 řádkové kamery 16 Mpx a vyřešit jejich kooperaci a možnosti snímání.

Pro následnou konstrukci zařízení je třeba vypočítat pracovní vzdálenost kamery od snímaného objektu. Zvolil jsem kameru Piranha 3 16k CL, 40 kHz u které jsem spočítal velikost čipu:

$$u_s = 3,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{px}} \cdot 16384 \text{ px} = 57,344 \text{ mm}$$

kde 3,5μm je velikost pixelu z datového listu a 16383px je počet pixelů (rozlišení kamery).

Základní zvětšení objektivu je pak:

$$M_{PMGA} = \frac{u_S}{U_S} = \frac{57,344 \text{ mm}}{330 \text{ mm}} = 0,1738$$

kde  $U_S$  je velikost snímané plochy kamerou.

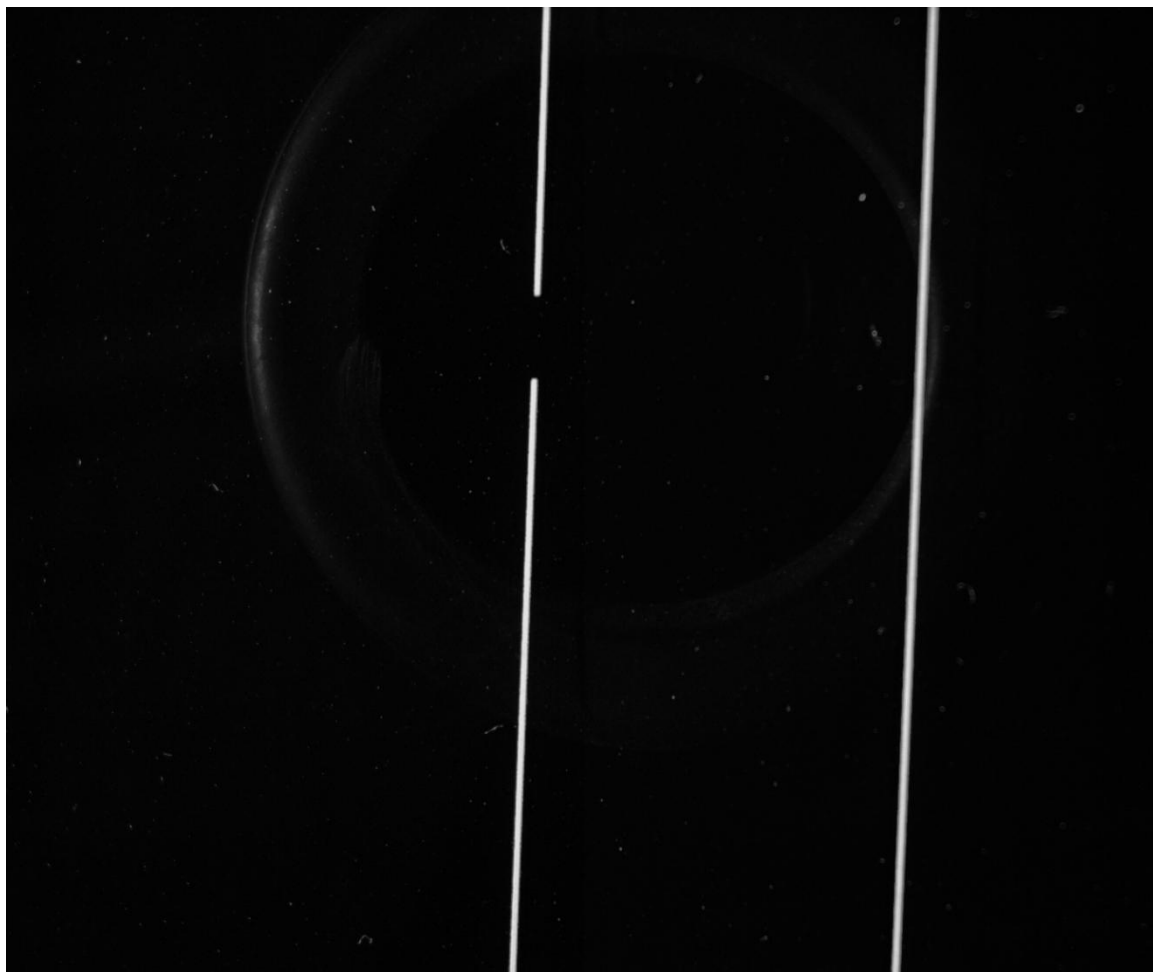
Dále pak byla vypočtena pracovní vzdálenost  $L_{WD}$  pro ohniskovou vzdálenost  $f=50\text{mm}$ :

$$f = L_{WD} \cdot M_{PMGA} \rightarrow L_{WD} = \frac{f}{M_{PMGA}} = \frac{50}{0,1738} = 287 \text{ mm}$$

a pro  $f=70\text{mm}$  je pracovní vzdálenost  $L_{WD}=402\text{mm}$ .

## 2.4 Měření s přísavkou

Kvůli možnosti kontroly ve stavu, kdy sklo drží manipulátor pomocí přísavek, byl proveden pomocný experiment. Na sklo byla přisáta přísavka a následně došlo k nasnímání skla i s přisátou přísavkou tak, aby byla co nejpřesněji simulována situace při kontrole (obr. 18).



Obr. 18 Sklo s přisátou přísavkou

Na obrázku 18 je patrné, že při snímání je v levé části obrázku vidět část přísavky. Samotné vyhodnocení by ale nemělo být problematické, protože je možné takové části obrazu softwarově upravit a zároveň by bylo možné přísavku v obraze eliminovat přesným nasvícením a správnou polohou skla vůči osvětlení, což nebylo možné v laboratorních podmínkách nastavit.

## **2.5 Závěr z měření**

Jako nejlepší metoda měření se jeví metoda Dark-field, protože díky odrazivosti natištěného stříbra dochází k odrazu světla do objektivu a je zabráněno odleskům od skla do objektivu. Nejlepší pozadí pro snímání je samet, který je černý, matný a je schopen pohltit světlo. Pro zařízení bude potřeba využít řádkových kamer. Snímání v případě je možné, pokud je sklo drženo pomocí přísavek.

### 3 Zpracování obrazu a specifika snímání transparentního materiálu

K dosažení potřebné kvality snímání a tedy následně i vyhodnocení je nutné splnit mnoho podmínek, které se navzájem ovlivňují. Specifickými požadavky pro aplikaci ve sklářském průmyslu jsou především tyto (obr. 19):

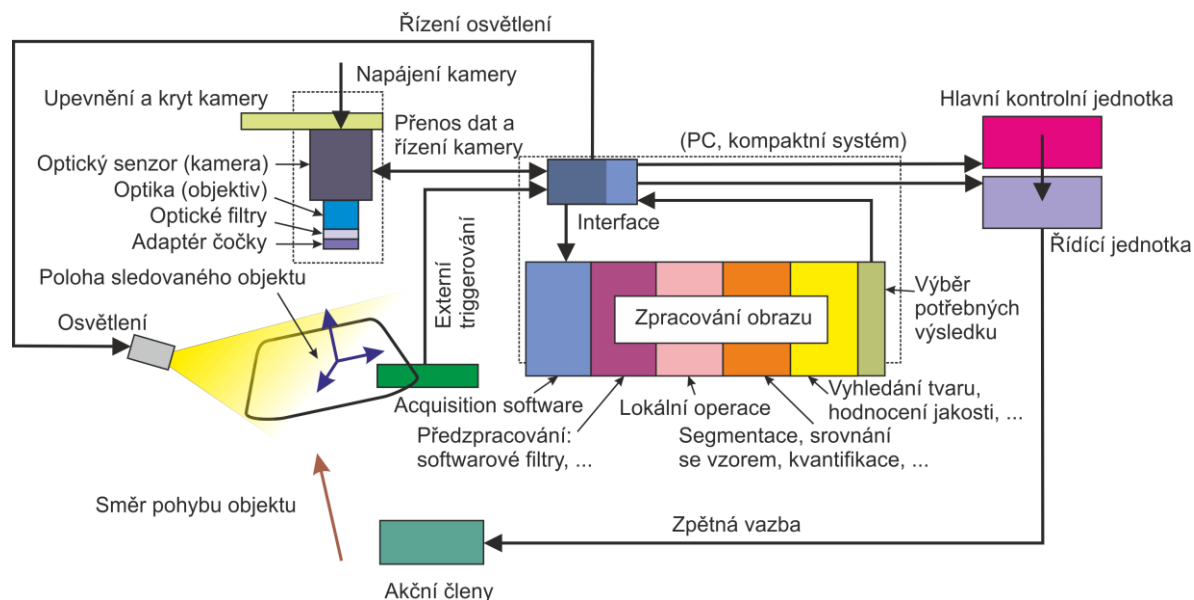
- a) osvětlení musí být vhodné pro snímání daného materiálu, v některých případech je nutné zvolit správnou kombinaci několika typů osvětlení;
- b) pozice sledovaného objektu musí být přizpůsobena osvětlení, nebo osvětlení musí být přizpůsobeno poloze objektu;
- c) adaptéry čoček mohou být použity místo (nebo spolu) s osvětlením pro lepší zobrazení objektu (adaptér polarizovaného osvětlení, souosé kolmé osvětlení, adaptér difúzního osvětlení);
- d) filtry mohou být užity pro separaci určité vlnové délky ze snímané scény;
- e) optika (objektiv) včetně clony;
- f) snímací prvek – čip včetně potřebné elektroniky (kamera) zvolený podle typu sledovaného objektu a jeho pohybu (lineární nebo plošná kamera) a požadovaného rozlišení, snímacím prvkem může být i digitální fotoaparát;
- g) upevnění kamery a případně její kryt, včetně izolace od nežádoucích vibrací, prachu, nízké nebo vysoké okolní teploty;
- h) požadované napájení kamery (podle výrobce a typu kamery);
- i) přenos dat do zařízení pro zpracování obrazu (kabely, A/D převodník) a řízení kamery;
- j) volitelné zařízení a kabely pro spouštění (triggerování) kamery;
- k) interface podle typu zvolené kamery (IEEE 1394, camera link, channel link, GigE Vision);
- l) acquisition software (software pro získávání snímků z kamery);
- m) zpracování obrazu, které musí být spolehlivé, výsledky musí být získány včas a ve vhodné formě:



- předzpracování: softwarové filtry, které mohou nahrazovat nebo doplňovat filtry fyzické na kameře a jsou důležité především pro následné zpracování obrazu;
  - lokální operace: oblasti, hrany, měřítko, textura
  - segmentace, srovnání se vzorem, kvantifikace povrchu
  - vyhledání tvaru, hodnocení jakosti
- n) výběr potřebných výsledků;
- o) přenos dat do hlavní vyhodnocovací jednotky a (nebo) řídicí jednotky (rozšířená o zpětné vazby na akční členy).

Kroky  $k$  až  $n$  jsou prováděny ve vyhodnocovací jednotce, což může být klasický počítač, ale i kompaktní a odolný systém uzpůsobený pro průmyslové aplikace. Jedná se o počítač, optimalizovaný pro zpracování obrazu s minimalizací mechanických prvků, které limitují významně užití klasických počítačů v průmyslové praxi.

Je samozřejmě možné provést i další rozdělení jednotlivých prvků systému a rozšířit je o jejich další důležité informace, jako je např. typ senzoru kamery. V současné době jsou to dva typy základních snímačů (senzorů) CCD a CMOS.



Obr. 19 Schéma systému pro obrazovou analýzu

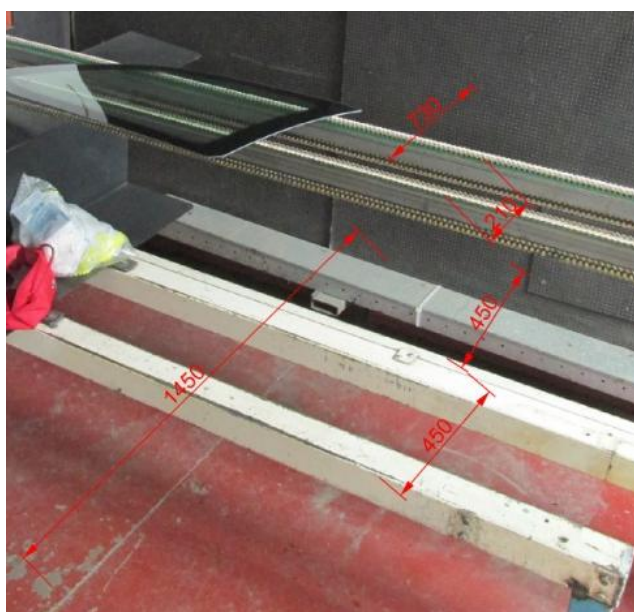
Při volbě standardní kamery je důležité přesně vědět, co je třeba snímat za technologickou scénou, jak ji snímat, znát hraniční podmínky kladené na kameru, respektovat cíle snímání a cíle následného vyhodnocení obrazovou analýzou. Mezi základní charakteristiky kamer patří: typ snímače, jeho velikost a rozlišení snímače, frekvence snímání, rozsah spektra, barevná škála, rozsah expozičních časů, interface, formát výstupních dat, možnosti řízení kamery (vstup), závit objektivu, způsob upevnění kamery, napájení, odolnost vůči okolním vlivům (krytí, odolnost proti vibracím, odolnost proti mechanickému namáhání, rozsah teplot a vlhkosti okolí kamery při provozu) a další jako výrobce kamery a senzoru.

## 4 Navržená koncepční řešení

Navrhované zařízení je třeba umístit do již existující linky a je tak třeba respektovat prostorová omezení (obr. 20 a 21). Je také třeba respektovat stanovený čas na kontrolu  $t=8$  s, který je dvojnásobný oproti taktu linky právě kvůli již zmíněnému rozdvojení linky v této části. Před samotnou konstrukcí bylo navrženo několik řešení.



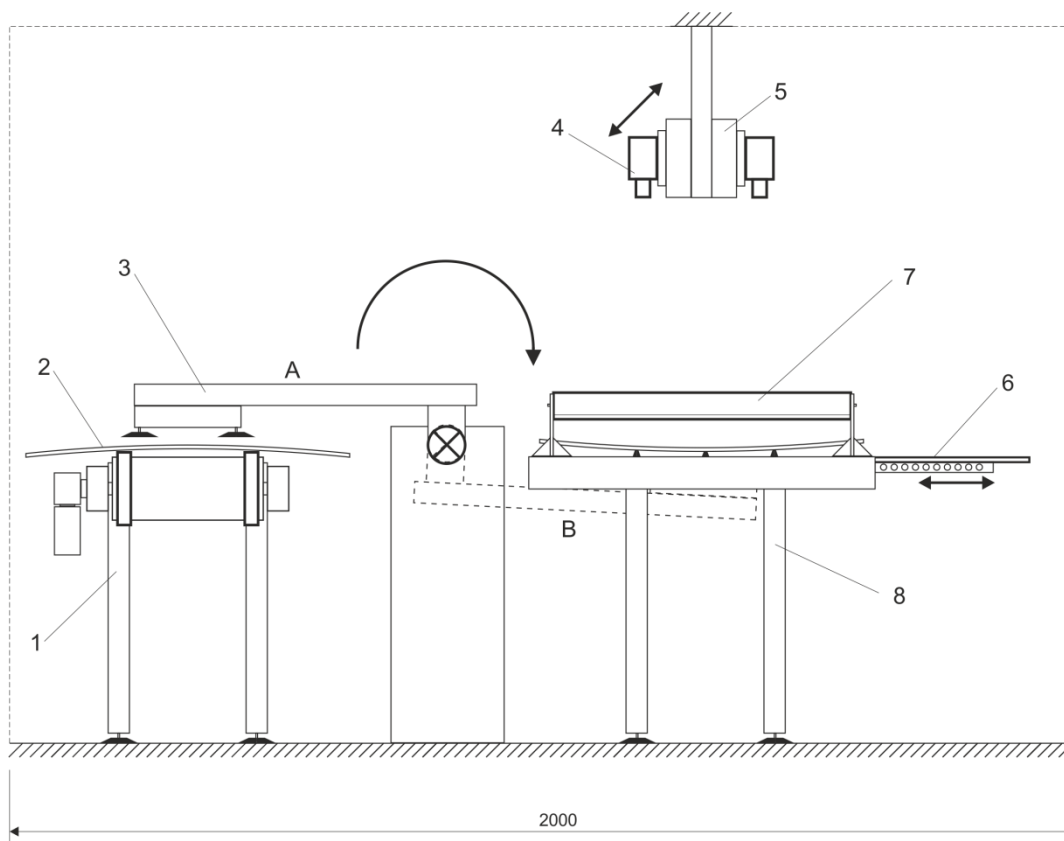
Obr. 20 Prostorové možnosti na zařízení v osách X a Z



Obr. 21 Prostorové možnosti na zařízení v ose Y

## 4.1 Varianta I

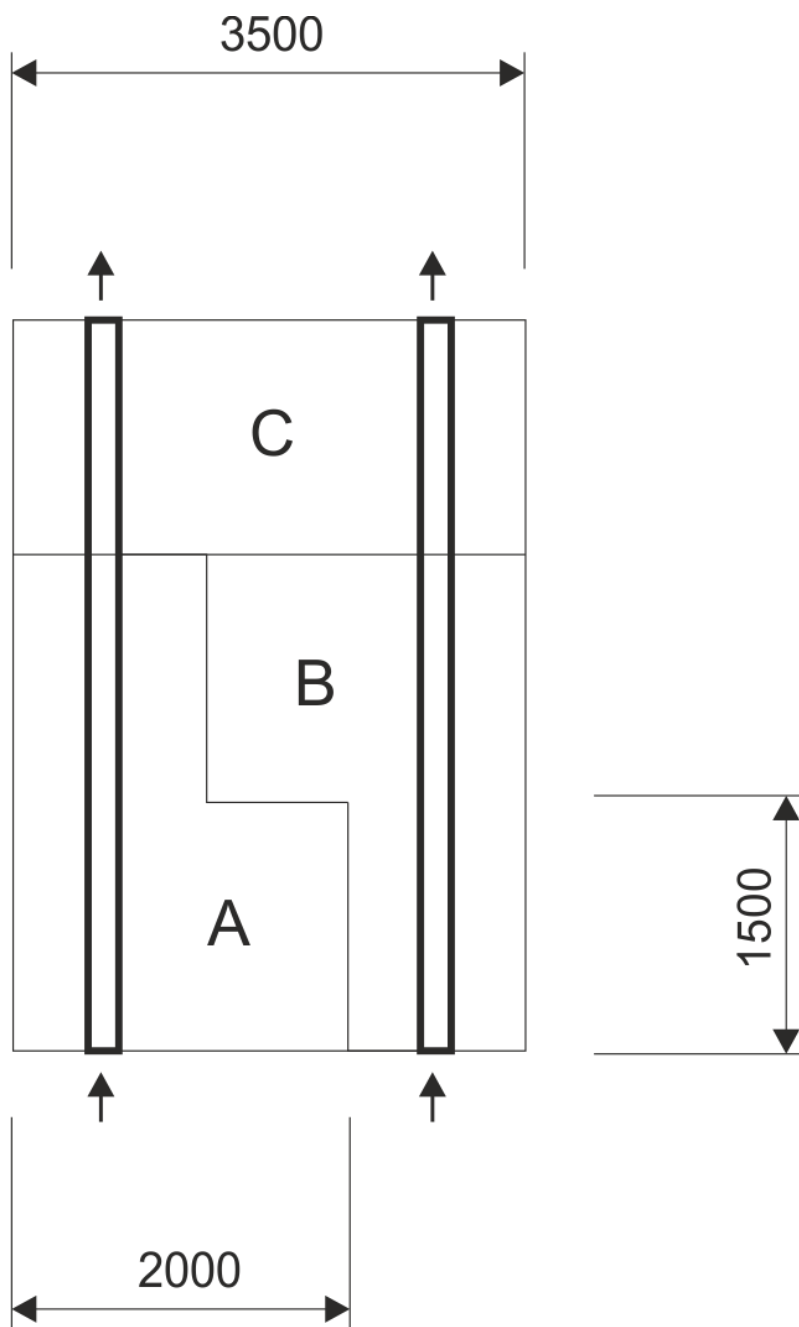
V této variantě (obr. 22) je sklo do základní polohy dovezeno dopravníkem, ten se zastaví v nastavené poloze, sklo uchopí manipulátor pomocí čtyř přísavek v poloze A, vytvoří se dostatečný podtlak pro manipulaci a sklo je převráceno na měřicí stanici. Sklo odloží a přejede do polohy B, tak aby uvolnil místo pohyblivému velurovému pozadí, které následně zajede pod měřicí stanici a vytvoří tak celistvé pozadí pro měření. Kontrolovaný kus je v měřicí stanici nasvětlen osvětlením, které je na bocích měřicí stanice (kolmo k pásovému dopravníku) a vytváří tak stabilní podmínky pro snímání. Snímání je provedeno dvojicí kamer, které na řízeném pojezdu přejedou nad odloženým kontrolovaným kusem a odešlou nasnímané informace do vyhodnocovací stanice-PC. Po snímání odjede pozadí, manipulátor opět uchopí kontrolovaný kus a převrátí ho zpět na dopravník, kde pokračuje dále po lince.



Obr. 22 Schéma varianty I

Popis obrázku: 1- dopravník, 2- kontrolovaný kus, 3- manipulátor, 4- kamera,  
5- pojezd kamer, 6- zasouvání pozadí, 7- osvětlení,  
8- odkládací plocha

Výhodou této varianty je především to, že kontrola probíhá na stálém jednotném pozadí a spolehlivost kontroly je tak vyšší než u varianty II. Nevýhodou je ovšem komplikovanost zařízení jako celku a komplikovanost manipulace se sklem. Další nevýhodou je velký zástavbový prostor (obr. 23) a v neposlední řadě je nutné brát jako nevýhodu rychlost měření (tab. 2).



Obr. 23 Půdorys kontrolní kabiny- Varianta I

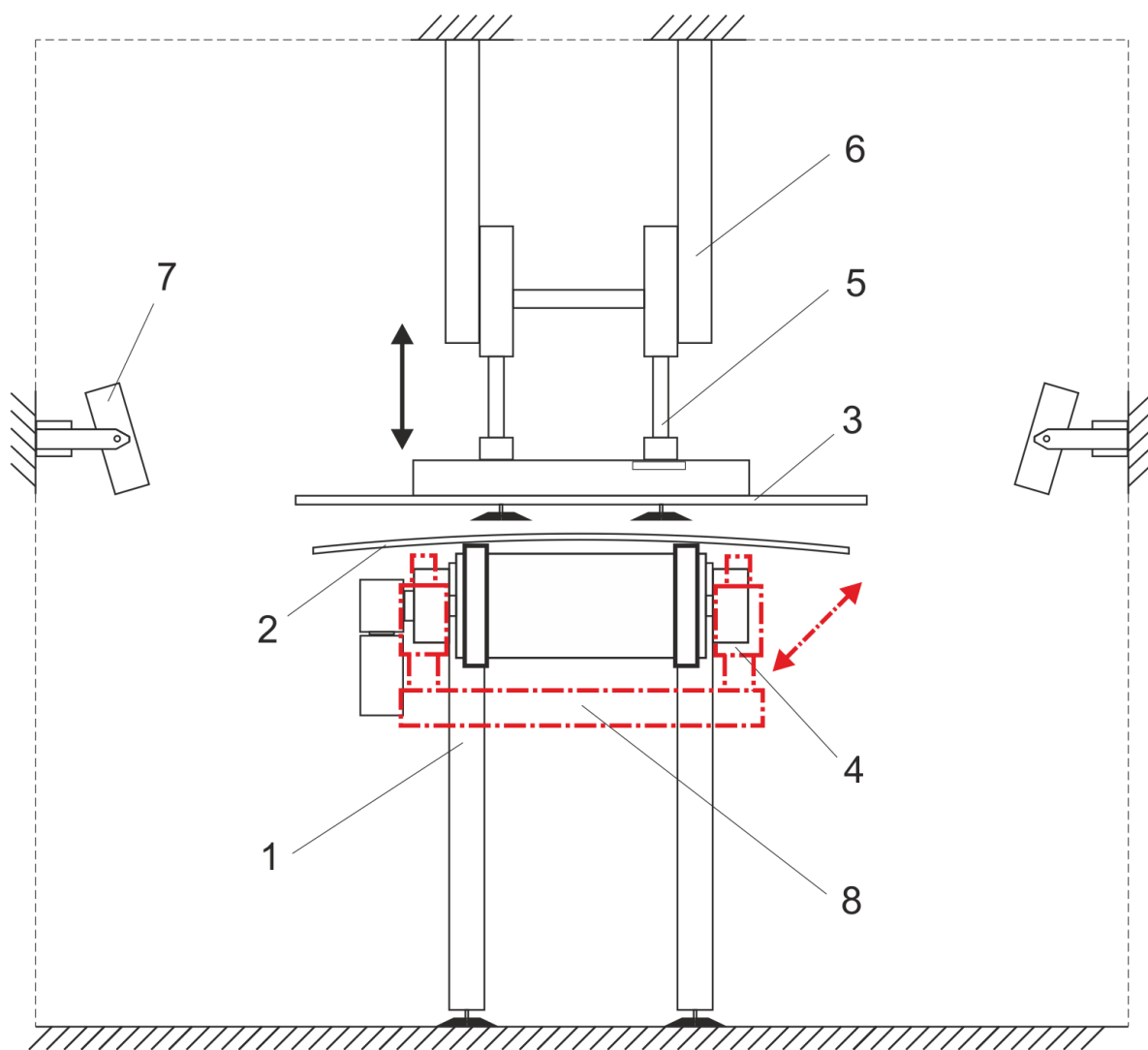
Popis obrázku: A- umístění kontrolního zařízení na levé straně linky  
B- umístění kontrolního zařízení na pravé straně linky  
C- volný prostor (následná kontrola)

Tabulka 2 Časový plán Varianty I

Proces	Čas [s]
Nájezd	0,5
Vakuování	0,5
Převrácení	2
Nasnímání	2
Vakuování	0,5
Převrácení	2
<b>Celkem</b>	<b>7,5</b>

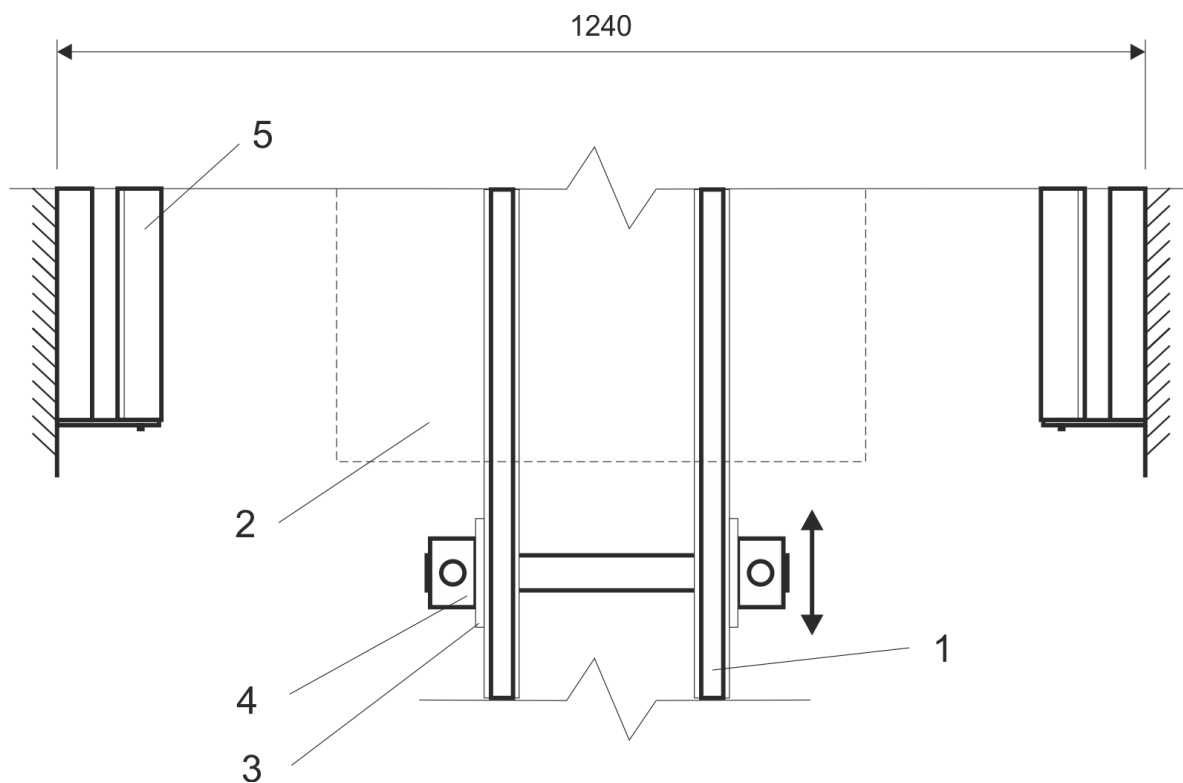
## 4.2 Varianta II

U druhé varianty (obr. 24 a 25) je sklo do základní polohy dopraveno také dopravníkem, ale následný proces kontroly se liší. Ke sklu najede manipulátor a zvedne kontrolovaný kus z dopravníku pomocí přísavek směrem vzhůru a setrvá s ním v této poloze. Přísavky jsou zasazeny v desce, která je potažena velurem a okolí přísavek je tak vhodné pro snímání, přísavky samotné nebudou na základě experimentu výrazně narušovat analýzu. Snímání je provedeno kamerami, které jsou na pojezdu v úrovni dopravníku a pohybují se ve směru dopravníku. Po nasnímání jsou data odeslána k vyhodnocení, kamery se vrací do výchozí polohy a manipulátor položí kontrolované sklo zpět na dopravník, na kterém pokračuje dále po lince. Na obou bocích je umístěno osvětlení po celé délce snímání kamer, aby byly zajištěny stabilní podmínky během celé kontroly.



Obr. 24 Schéma varianty II

Popis obrázku: 1- dopravník, 2- kontrolovaný kus, 3- pozadí manipulátoru,  
4- kamera, 5- manipulátor, 6- závěs manipulátoru, 7- osvětlení,  
8- pojezd kamer

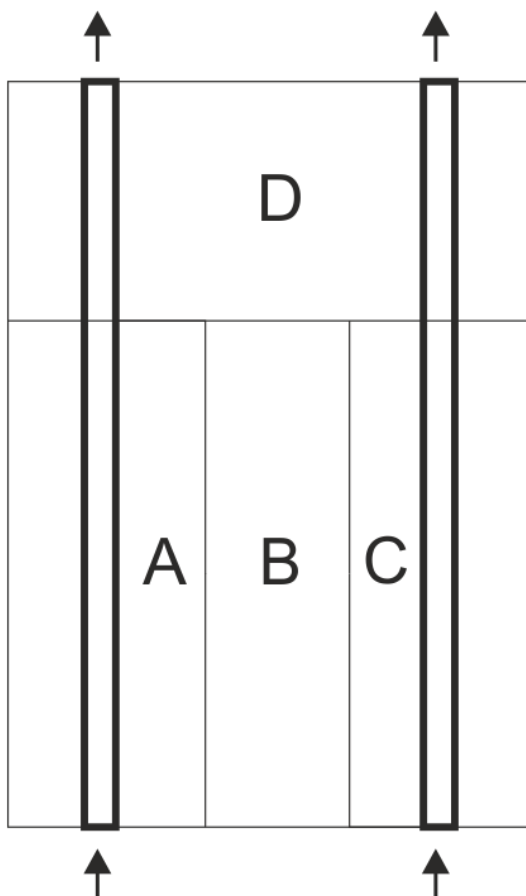


Obr. 25 Schéma varianty II - pohled shora

Popis obrázku: 1- dopravník, 2- kontrolovaný kus, 3- příruba kamery, 4- kamera, 5- osvětlení

Tato varianta má oproti předešlé několik výhod. První je rychlost provedení kontroly (tab. 3). Druhou je menší zástavbový prostor (obr. 26), z kterého vyplývá lepší dostupnost údržby a je umožněn vstup mezi obě části linky. Další výhodou je to, že sklo je při manipulaci stále ve vodorovné poloze a nejsou kladeny takové nároky na přísavky. Nevýhodou této varianty je, že při snímání tvoří část pozadí samotné přísavky a je tak možnost menší spolehlivosti právě kvůli necelistvosti pozadí.





Obr. 26 Půdorys kontrolní kabiny- Varianta II

Popis obrázku:

- A- umístění kontrolního zařízení na levé straně linky
- B- volný prostor mezi kontrolními pracovišti, vstup
- C- umístění kontrolního zařízení na pravé straně linky
- D- volný prostor (následná kontrola)

Tabulka 3 Časový plán varianty II

Proces	Čas [s]
Nájezd	1
Vakuování	0,5
Zdvih	1
Nasnímání	2
Odložení	1
<b>Celkem</b>	<b>5,5</b>

### 4.3 Varianta III

Další možností je varianta s přerušovaným dopravníkem a snímáním skla na několik částí právě v místech přerušování dopravníku. Tato metoda by byla nejrychlejší, zástavbový prostor by byl srovnatelný s variantou II a pozadí by bylo celistvé a tím by tato metoda byla optimální. Velkým problémem ale je přerušování dopravníku a eliminace pohybu skla při přechodech. Při přechodu mezi dopravníky dojde k posuvu objektů a změně polohy a to vede k problémům při obrazové analýze. Není možné provést takové experimenty v laboratoři. Je tedy nutné odzkoušet tuto metodu v praxi a nastalé problémy řešit operativně při fyzickém vývoji zařízení a proto není tato varianta zahrnuta v rozhodovací analýze.

### 4.4 Výběr varianty

Z uvedených koncepčních variant byla pomocí rozhodovací analýzy (tab. 4) vybrána varianta II. Tato varianta vyšla z analýzy jako vhodnější především díky tomu, že je kontrola rychlejší a celé stanoviště zabere méně prostoru. Celé zařízení je také konstrukčně jednodušší, než varianta I.

Tabulka 4 Rozhodovací analýza

Párové srovnání kritérií					Matice užítivosti alternativ					
Poř.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota X		Varianta I		Varianta II	
					P	V	P	V	P	V
1	čas na kontrolu	3	2	4	100	400	40	160	70	280
2	prostor k zástavbě	2	3	3	100	300	40	120	70	150
3	přesnost měření	4	1	5	100	500	90	450	85	425
4	investiční náklady	0	5	1	100	100	70	70	75	75
5	složitost zařízení	1	4	2	100	200	50	100	70	140
Celkem						1500		900		1070
Užitnost v relativním vyjádření						100%		60%		71%
Pořadí alternativ podle užítivosti								<b>2.</b>		<b>1.</b>

P- prostá

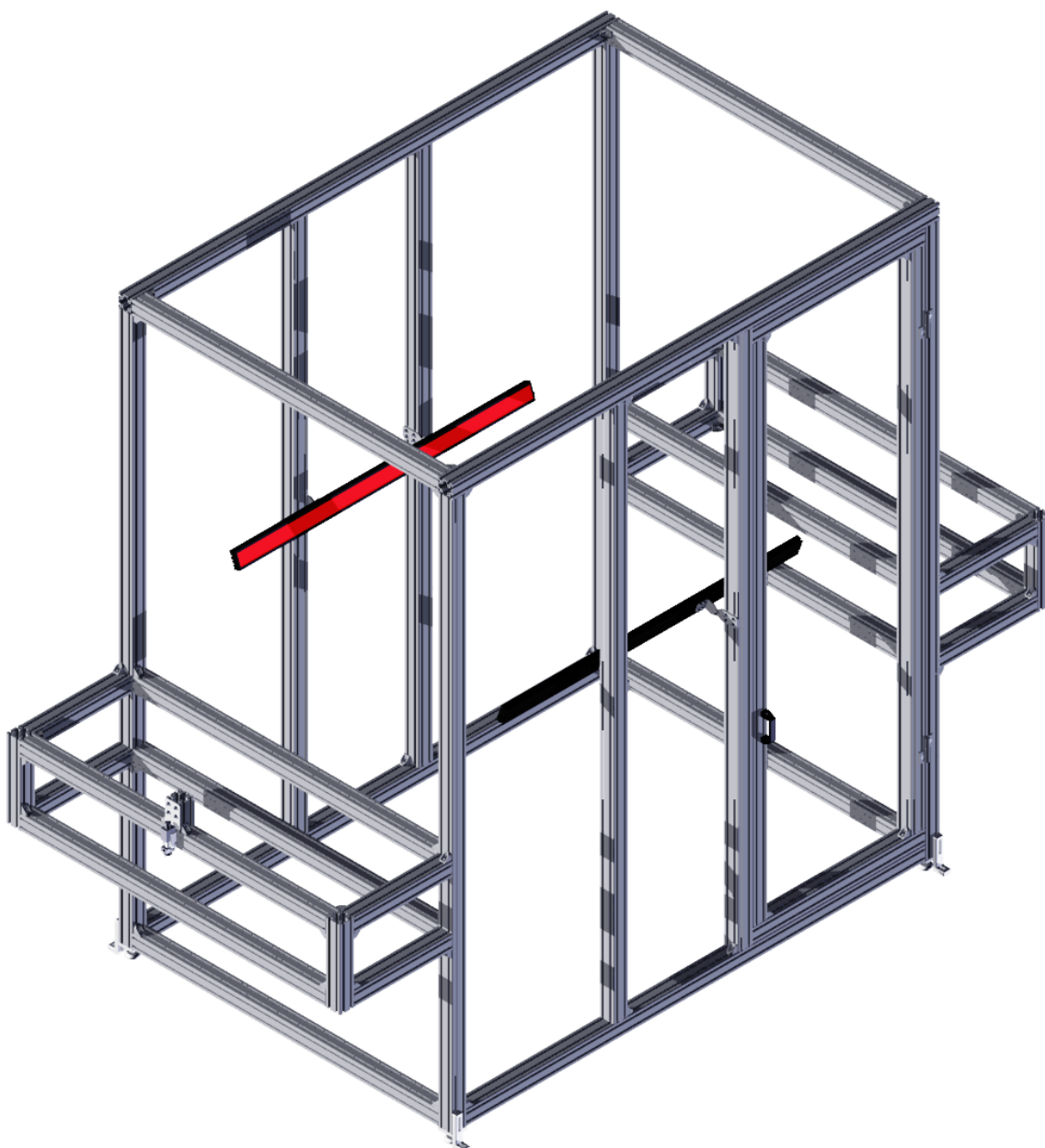
V- vážená

## 5 Konstrukční provedení vybrané varianty

U zvoleného řešení je třeba vyřešit několik dílčích podproblémů, jejichž popis je uveden v následující kapitole a výrobní výkresy vyráběných dílů jsou ve výkresové dokumentaci. Konstrukce byla volena s ohledem na požadavek flexibility, protože se jedná o první zařízení a má posloužit i k odladění funkce při změně nastavení. Box je přístupný přes dveře, nastavení kamery je možné ve směru pohybu pásu a manipulátor lze posunout ve svislém směru.

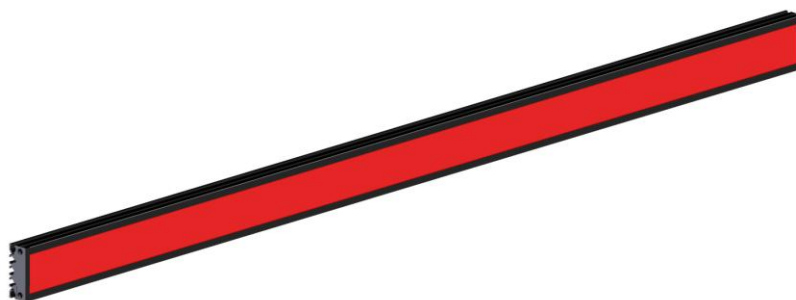
### 5.1 Základní rám

Základní rám je složen z hliníkových profilů Ulmer Haberkorn profil 6 o rozměrech 60x60 mm s dvěma drážkami. Tento systém profilů je volen především pro vysokou přesnost, pevnost a životnost jednotlivých dílů při zachování nízké hmotnosti konstrukčního celku a pro jednoduchost montáže. Profily jsou vzájemně propojeny rohovými spojkami, které jsou do profilu upevněny pomocí kamenů a šrouby M6x. Kameny se vloží do drážky v hliníkovém profilu a spojky jsou do nich uchyceny šrouby. Celý box je k podlaze ukotven kotvami, které jsou dostupné jako příslušenství k hliníkovým profilům. Profil se dvěma drážkami je zvolen proto, aby v jedné drážce mohl být spojovací kámen a vloženy sololitové desky. Výplň ploch boxu je ze sololitových desek o tloušťce 4 mm, potažených samolepícím textilním materiálem Velur. Velur je černá, matná tkanina, která se vlastnostmi blíží k ideálnímu difuznímu povrchu a je schopná pohltit světlo, které je v boxu (koeficient odrazivosti je uváděn na hodnotě až 0,004). To je žádoucí z toho důvodu, že snímání je třeba uskutečnit s co nejmenším množstvím odraženého světla v boxu a je také třeba box co nejlépe světelně izolovat. Tato koncepce je volena pro svoji jednoduchost a cenovou dostupnost. Všechny profily jsou opatřeny povrchovou úpravou. Je na ně nanesen černý nástřík barvou RAL 9005 (tmavě černá), v provedení mat, metodou práškového lakování.



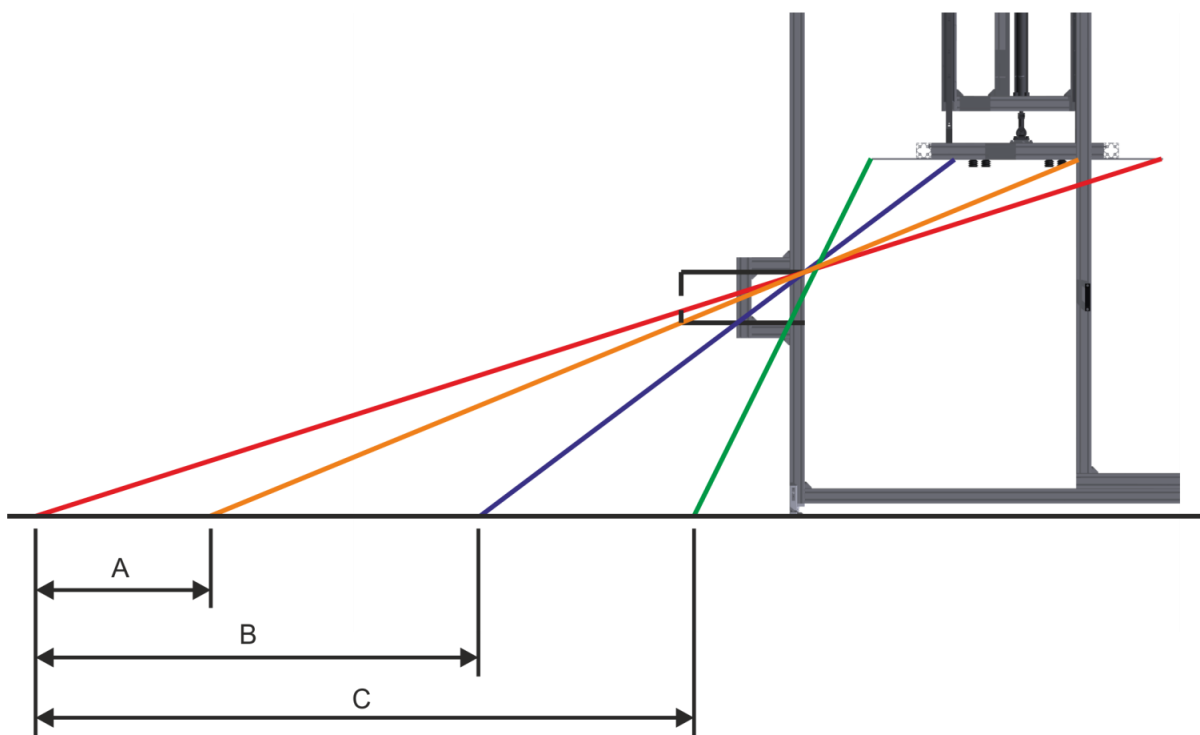
Obr. 27 Základní rám

Celý rám je navržen tak, aby bylo možné k němu připevnit manipulátor a osvětlení. Manipulátor je připevněn mezi horními profily pomocí rohových spojek a je tak zavěšen směrem dolů. Osvětlení je připevněno ke svislým profilům pomocí dvou přírub tak, aby bylo možné nastavit úhel osvětlení a odladit tak zařízení, svislé profily zároveň slouží pro možný posun manipulátoru směrem ke kamerám. Jako osvětlení je zvoleno osvětlení od firmy CCS typu HDLD2 o délce 1200 mm tak, aby bylo možné spolehlivě nasvítit celou délku snímané scény (obr. 28). Z profilů jsou rovněž sestaveny dveře, které slouží jako vstup do boxu, pro kontrolu, údržbu a odladění chodu stroje.



Obr. 28 Lineární osvětlení CCS

Vstup a výstup kontrolovaných kusů do boxu je proveden pomocí dopravníku, který je instalován v současné době na lince. Box je opatřen vstupním a výstupním tunelem, aby množství odraženého světla do boxu z okolí bylo potlačeno na minimální možnou úroveň (obr. 29).



Obr. 29 *Princip funkce vstupního tunelu*

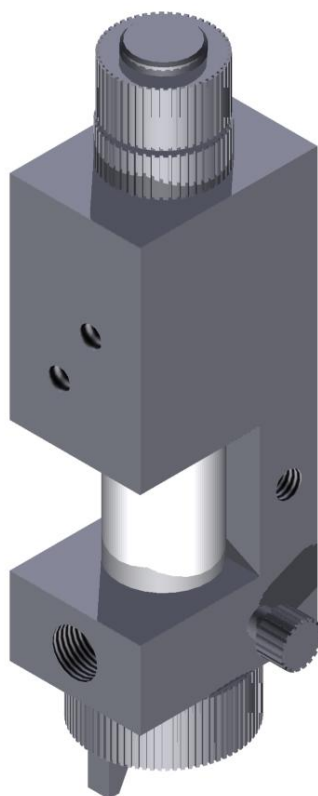
Popis obrázku:

A- oblast, kde délka tunelu zmenšuje plochu, od které se může světlo odrazit na snímanou plochu na minimum (délka tunelu 400 mm)

B- oblast, kde délka tunelu zmenšuje plochu, od které se světlo může odrazit na snímanou plochu, ale délka není dostatečná (délka tunelu 150 mm)

C- oblast, od které by se mohlo odrážet světlo na snímanou plochu, pokud by box nebyl opatřen tunely

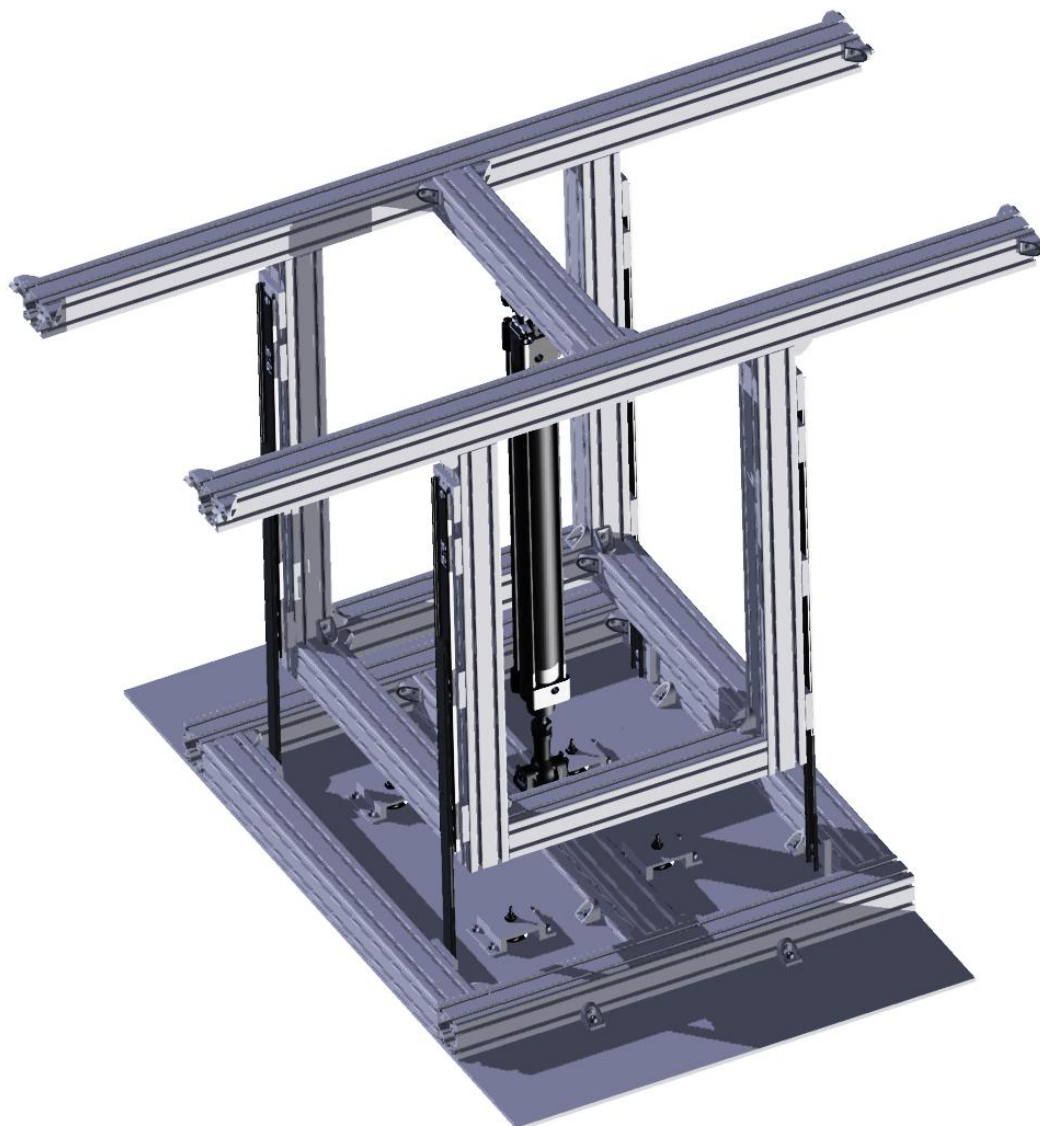
Na konci výstupního tunelu je umístěna automatická stříkáč pistol DSA-LM od firmy Dürr (obr. 30), která označí kusy, které nevyhovují při kontrole a budou označeny a následně odebrány z linky. Pistole je k rámu připojena pomocí příruby z ohýbaného plechu. Označování bude nutné využít především při záběhu zařízení, protože až bude stroj odladěn, bude možné realizovat propojení s manipulátorem, který bude vadné kusy odebírat automaticky. Zásobník barvy na označení vadných kusů je umístěn pod dopravníkem a je možné ho dle potřeby přesunout na jiné místo.



Obr. 30 *Automatická stříkáč pistol*

## **5.2 Manipulátor**

Základ konstrukce manipulátoru (obr. 31) se skládá ze dvou částí z hliníkových profilů, které jsou propojeny rohovými spojkami. Horní část slouží pro připojení k rámu, k upevnění pneumotoru a upevnění čtyř vedení. Teleskopická lehká vedení Rollon, která slouží ke stabilitě spodní části zařízení, drží spodní desku v požadovaném směru, jsou k horní a dolní části manipulátoru přišroubovány pomocí přírub. Pneumotor DSBG je k oběma částem připojen přes kyvné příruby tak, aby mohli být kompenzovány lehké náklony a tyto příruby k rámu přes další pomocnou přírubu.



Obr. 31 Manipulátor

Průměr pneumotoru byl navržen pomocí online systému FESTO ze zadaných vstupních parametrů.

Vstupní parametry:

- požadovaný čas polohování 1 s
- zdvih válce 500 mm
- úhel montáže  $-90^\circ$
- provozní tlak 6 bar
- délka hadic 3 m
- pohybovaná hmotnost 25 kg

Jako vhodný motor byl navržen motor DSBG s průměrem  $d=50$  mm.



Obr. 32 Pneumotor DSBG

Spodní část hliníkových profilů slouží k přichycení dřevotřískové desky, která je použita jako pozadí při snímání a její spodní část je tedy potažena velurovým potahem. Přísavky jsou k desce připojeny pomocí vyráběných přírub, které jsou k desce připevněny pomocí závitových pouzder, která jsou nainstalována v desce i pro připojení k profilům.

Sklo je pomocí přísavek odebráno z dopravníku a je tedy třeba vypočítat minimální průměr přísavek. Sklo o maximálních rozměrech je uchopováno čtyřmi přísavkami, v případě kontroly menších kusů pouze dvěma.

Objem:  $V = 1,1 \cdot 0,65 \cdot 0,005 = 0,003575 \text{ m}^3$

Hmotnost:  $m = \rho \cdot V = 2500 \cdot 0,003575 = 8,94 \text{ kg}$

$\rho$ - hustota skla [2500 kg/m<sup>3</sup>]

Činný průměr přísavky:

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot g \cdot k \cdot 1000}{\pi \cdot p \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot 1000}{\pi \cdot 60 \cdot 4}} = 34,2 \text{ mm}$$

$g$ - gravitační zrychlení [9,81 m·s<sup>-2</sup>]

$k$ - součinitel bezpečnosti

$p$ - podtlak [60 kPa]

$n$ - počet přísavek [4 ks]

Je tedy zvolena přísavka s průměrem  $d=40\text{mm}$ .



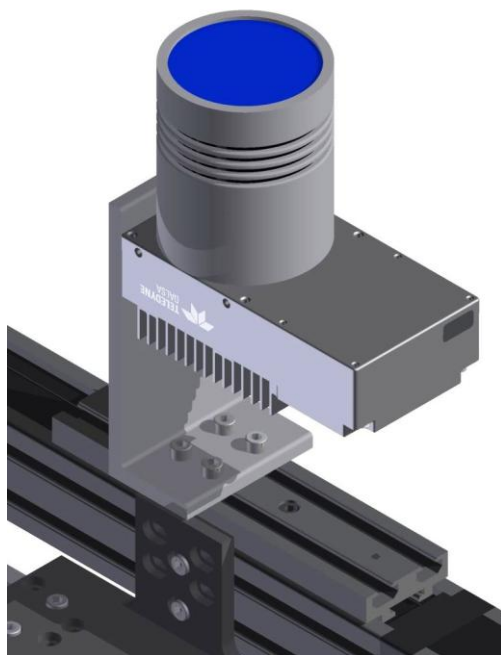
### 5.3 Pojezd kamery

Základ pojezdu kamery je konstrukce z hliníkových profilů, stejných jako jsou použity na konstrukci rámu. Jeho poloha je zafixována pomocí kotvy k podlaze. K profilu je připojena kompaktní jednotka pro lineární pohyb ROLLON A55 o délce pojezdu  $l=1220$  mm. Jednotka je k profilu připevněna pomocí tří L přírub, které lze objednat jako příslušenství k vedení. Na jezdce vedení je připojena lineární kamera Teledyne Dalsa s rozlišením 16000 px, která je opatřena objektivem Schneider Kreuznach se závitem M 72, který je proti poškrábání čočky chráněn čirým filtrem, ten je vložen před objektiv. Propojení je provedeno pomocí hliníkového L profilu, ke kterému je přišroubována kamera. Připojení přes L profil je voleno tak, aby pod kamerou zůstal dostatek místa na připojení konektorů (obr. 34).



Obr. 33 Pojezd kamery

Kamera slouží zároveň jako optický snímač, který detekuje přítomnost skla na kontrolu. Pokud kamera detekuje sklo, dojde k zastavení dopravníku, manipulátor nadzvedne kontrolovaný kus a kamera nasnímá sklo po celé své délce. Data jsou odeslána do PC k vyhodnocení a manipulátor vrátí sklo zpět na dopravník.



Obr. 34 Detail propojení kamery a jezdce

Lineární jednotka je poháněna bezkartáčovým servomotorem Lenze MCS, který je připojen a centrován pomocí příruby. Tento motor je zvolen proto, že je vhodný pro aplikace s vysokou přesností a je svými rozměry (70 · 70 · 200 mm) vhodný pro tuto aplikaci.

Základní parametry použité kamery:

- Rozlišení: 16 384 px
- Typ senzoru: CMOS
- Komunikační rozhraní: Camera Link
- Barevná škála: mono
- Velikost pixelu: 3,5  $\mu\text{m}$

Kabeláž ke kamerám bude upevněna k zařízení dle potřeby při zprovoznění tak, aby vyhovovala aplikaci.

## **5.4 Informace o softwarovém zpracování dat a řízení**

Softwarové řešení a komunikace zařízení nebyly v rámci diplomové práce řešeny, neboť přesahují rozsah zadání práce. Samotné softwarové řešení je otázkou dalšího vývoje. V následujícím textu jsou jen krátce shrnuty principy a požadavky řešení.

Celý proces začíná, když do boxu vstoupí na dopravníku sklo. Ve chvíli, kdy kamera, která slouží zároveň jako optický snímač, zaregistruje sklo, dojde k zastavení dopravníku a sepnutí pneumatického okruhu. Vysune se pneumotor manipulátoru a přísavkami uchopí sklo. Motor se zasune a drží sklo, které je pomocí přejezdu kamer nasnímáno. Dojde k nasnímání obrazu kamerami a data jsou předána do monitorovací jednotky (PC) k analýze obrazu, která je popsána níže. Sklo je manipulátorem vráceno zpět na dopravník. Pokud je kontrolovaný kus v pořádku, pokračuje dále po lince a pokud je detekován chybný potisk, sklo může být označeno nástřikem a z řídicí jednotky je dán pokyn k odebrání skla z dopravníku, které realizuje manipulátor, který je na lince umístěn za kontrolní kabinou. Celý tento cyklus je řízen pomocí PLC.

V monitorovací jednotce dojde ke složení obrazu z obou kamer. Analýza obrazu bude probíhat na základě porovnání získaného obrazu s digitálním vzorem (virtuálním etalonem), vyhodnocena celistvost, případné místa přerušení a nalezení odchylek obrazu od vzoru, jejich kvantifikace a vyhodnocení.

Postup obrazové analýzy:

- sejmutí snímku,
- převod snímku do binárního obrazu (černobílý obraz) na základě prahování,
- nalezení tzv. vlícovacích bodů na obraze (vlícovací body jsou místa na obraze, které odpovídají digitálnímu vzoru a získanému obrazu a lze je snadno najít, budou to místa na okrajích potisku, rohy potisku, případně další, které budou specifikovány spolu se vzorem pro každý typ výrobku),
- provedení geometrických transformací (pootočení a posunutí obrazu) do pozice k porovnání s digitálním vzorem,
- zlepšení obrazu pomocí morfologických operací otevření a uzavření,

- porovnání obrazu se vzorem a kvantifikace odchylek – celistvost potisku, tvar, šířka linií,
- vyhodnocení jakosti a rozhodnutí: vyhovující/nevhovující.

Prahování je metoda segmentace obrazu založená na tom, že se hodnotí jas každého pixelu. V případě 8 bitového monochromatického snímku je nastaven práh ve stupních šedi od 0 do 255 a každému pixelu je přiřazena hodnota. Pixely s vyšší hodnotou, než je nastavený práh, jsou bílé a s hodnotou nižší než je nastavený práh černé. Vznikne tak obraz, na kterém jsou pouze černé a bílé body a je tak jasně odlišena oblast objektu (antény) a pozadí.

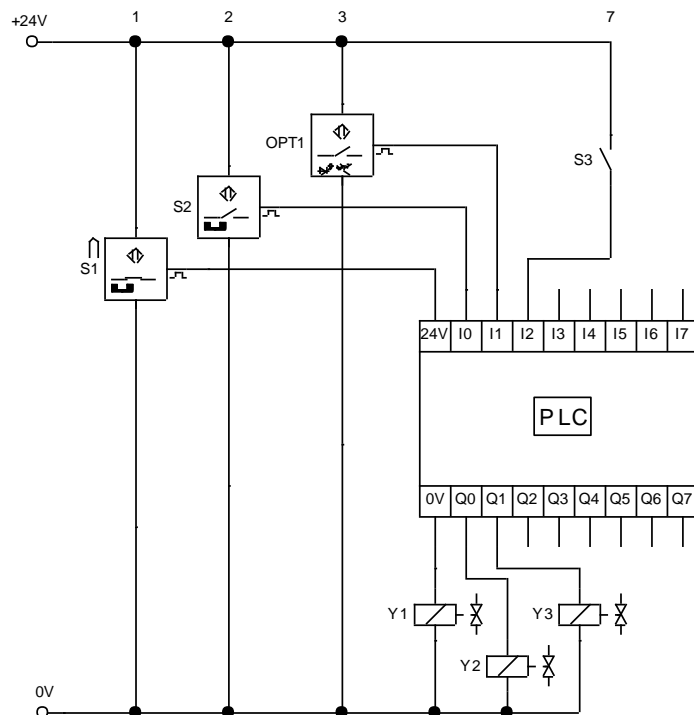
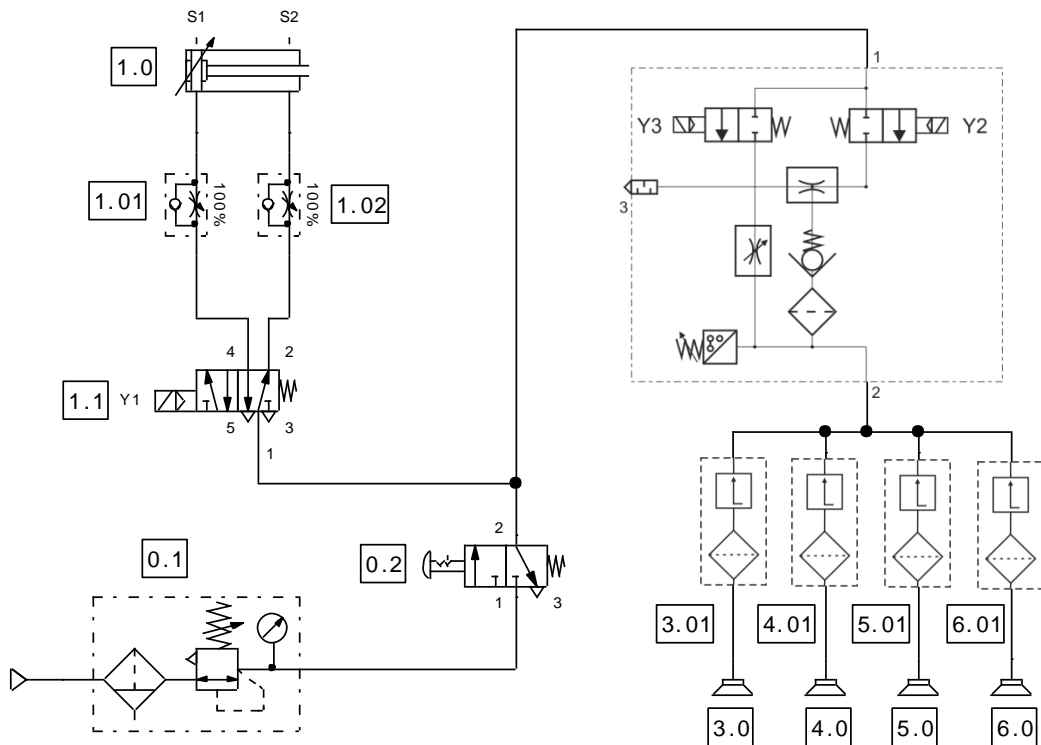
Otevření zjednodušuje strukturu, odstraňuje tenké spojnice a odděluje objekty spojené úzkými liniemi. Uzavření zaplní malé díry, vyhladí obrys tím, že zaplní úzké závitky a spojí objekty, které jsou blízko sebe. Výsledkem obou procesů je zjednodušený obraz, obsahující méně detailů.

Obrazová analýza může jakost potisku hodnotit spojitě, nemusí se tedy jednat o informaci vyhovující/nevhovující, ale škála může být širší. Vedle spojitosti antény bude hodnocena i šířka linií a tvar. Lze do kontroly zahrnout i případně další prvky a místa kontroly na autoskle.

Vedle uvedených operací v rámci zpracování obrazu, mohou být provedeny i další, jako je například nalezení hran rozhraní mezi pozadím a potiskem pomocí gradientního operátoru a další morfologické operace. K vývoji analýzy bude potřeba zpracovat laboratorně velké množství různých výrobků (50 a více) a na základě ověření funkčnosti instalovat software na lince. Je také nutné zvládnout následné vkládání vzorů (virtuálních etalonů) pro nové výrobky. Software na lince bude mít tyto požadavky:

- sdílení výsledků přes ethernet popřípadě sběrnici,
- možnost vkládání nových vzorů (zachovat možnost vložení i přes ethernet z jiného počítače),
- možnost ovládání software vzdáleně přes ethernet,
- ukládání výsledků a export do dalších formátů,
- jednoduchou statistiku výsledků hodnocení jakosti,
- ukládání specifikovaných snímků s přístupem přes ethernet,
- praktické grafické rozhraní,
- další specifikované požadavky.

Následující schéma může sloužit jako návrh základního zapojení pneumatického obvodu a jeho řízení. U použitého PLC budou volné vstupy a výstupy použít pro komunikaci s motorem pojezdu kamer a motorem dopravníku.



Obr. 35 Pneumatický obvod s řízením

## 6 Technickoekonomické zhodnocení

Celkové náklady na zařízení (tab. 4) se pohybují pod hranicí 1 500 000 Kč. Předpokládá se nahrazení jednoho pracovníka, který kontroluje optickou celistvost na lince a snížení přímých a nepřímých nákladů na výrobu maket, což je ale těžko odhadnutelné. Pokud by byly uvažovány pouze náklady na pracovníka, je návratnost zařízení přibližně do 2 let od zavedení do provozu, pokud uvažují náklady 750 000 Kč na pracovníka za rok. Pokud by bylo zařízení umístěno na obě části linky, cena by byla dvojnásobná, ale nahrazení by byli pracovníci dva.

Tabulka 5 *Finanční rozpočet zařízení*

<b>Položka</b>	<b>Cena</b>
Kamery	400 000,00 Kč
Objektivy	80 000,00 Kč
Software	200 000,00 Kč
Lineární jednotky	50 000,00 Kč
Motory	70 000,00 Kč
Osvětlení	140 000,00 Kč
PC	60 000,00 Kč
Al profily + příslušenství	200 000,00 Kč
Teleskopická vedení	20 000,00 Kč
Pneumatické komponenty	35 000,00 Kč
Sololitové desky	4 000,00 Kč
Velur	10 000,00 Kč
Automatická stříkací pistole	15 000,00 Kč
Externě vyráběné díly	15 000,00 Kč
Spojovací materiál	5 000,00 Kč
Práškové lakování	25 000,00 Kč
Montáž a uvedení do provozu	50 000,00 Kč
Režijní náklady	20 000,00 Kč
Ostatní	15 000,00 Kč
<b>Celková cena</b>	<b>1 414 000,00 Kč</b>

Navržené řešení je schopno vyhodnotit celistvost potisku za dobu kratší než 8 s a je tedy možné jej implementovat do výrobní linky. Realizace uvedeného zařízení povede k tomu, že bude možné zefektivnit celý proces kontroly, bude možné kontrolovat 100 % výrobků a zvýšit tak kvalitu výroby a snížit počet reklamací. Odpadnou problémy, které při kontrole potisku jsou na lince v současné chvíli, jako je opotřebenění měděných kartáčků, kontrola uzavřených smyček potisku a kontrola dvou linií, které jsou natištěny s malými rozestupy. Zařízení vyžaduje pouze minimální zásahy obsluhy a to především při přenastavení celého zařízení. Při vhodném nastavení systému a správném softwarovém nastavení není obsluha nutná pro maximální rozměry skla 1100 · 650 mm.

Obsluha zařízení:

- vkládání nových digitálních vzorů,
- týdenní a měsíční kontrola a údržba,
- roční servisní prohlídka.

Požadavky na údržbu zařízení:

- každý den vizuální kontrola zařízení,
- týdně kompletní kontrola funkčnosti, odborné čištění objektivů kamer, úklid v prostoru temného boxu,
- měsíčně odborné čištění osvětlení,
- ročně servisní prohlídka.

Náklady na obsluhu a údržbu jsou odhadnuty na 5 % úvazku pracovníka a činí tak 37 000 Kč. I s těmito náklady je cena stále pod hranicí 1 500 000 Kč.

## Závěr

Cílem řešení diplomové práce byl návrh a konstrukční řešení zařízení pro kontrolu antény nanesené pomocí Ag potisku na bočních autosklech. Toto zařízení bylo postupně navrženo v souladu se zadáním práce.

V práci byl proveden rozbor současného stavu kontroly tištěných antén a popsána jejich výroba. Dále byly analyzovány metody, pomocí nichž je možné tuto kontrolu provést a to kontaktní i bezkontaktní. Byly provedeny experimenty za účelem testování snímacích povrchů a byly prověřeny různé metody nasvícení objektu. Z těchto experimentů vyplynula jako nejvhodnější varianta pro inspekci potisku skla bezkontaktní metoda bright-field. Dále byla diskutována specifika snímání transparentního materiálu a zpracování obrazu. Pro zvolenou metodu kontroly byly navrženy koncepční varianty konstrukce. Vybraná varianta byla podrobněji zpracována. Toto řešení je doloženo výkresovou dokumentací formou sestavných výkresů, podsestav hlavních konstrukčních uzlů a dílenských výkresů. Na závěr byl proveden finanční rozbor předkládaného řešení a zhodnocen technický přínos zařízení.



## Seznam použité literatury

- [1] Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Pacific Grove: Books/Cole Publishing Company, 1998. 770 s.
- [2] Hecht, E. Optics. 4th Edition. San Francisco: Pearson Education, Inc., 2002. ISBN 0-8053-8566-5
- [3] Hotař, V. Úvod do problematiky strojového vidění, část 1, Základní principy a hardware. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. 132 s. ISBN 978-80-7494-156-6
- [4] Hotař, V. Úvod do problematiky strojového vidění, část 2, Základy zpracování obrazu. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. 114 s. ISBN 978-80-7494-202-0
- [5] Pešík, L. Části strojů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. 226 s. ISBN 987-80-7372-573-0
- [6] Pustka, Z. Základy konstruování. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 218 s. ISBN 978-80-7372-456-6
- [7] HLAVÁČ, V., SEDLÁČEK, M. Zpracování signálu a obrazu. 2. vydání. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03110-0.
- [8] HLAVÁČ, V. *Hledání hran*. [online]. ČVUT: Centrum strojového vnímání. [cit. 2015-03-17] Dostupné z:  
<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/22EdgeDetectionCz.pdf>
- [9] HOLST, G.C., LOMHEIM, T.S. CMOS/CCD Sensors and Camera Systems. J C D Publishing, 2011.

- [10] HLAVÁČ, V. Matematická morfologie [online]. ČVUT: Centrum strojového vnímání. [cit. 2015-04-03] Dostupné z:  
<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/BinMatMorfolCesky.pdf>
- [11] FISCHER, J. *Plošné snímače CCD*. [online]. © 2010 Praha: ČVUT. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z:  
[http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3M38VBM/Pred\\_VBM\\_CCD\\_Plos.pdf](http://measure.feld.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3M38VBM/Pred_VBM_CCD_Plos.pdf)
- [12] ELESA GANTER [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.elesa-ganter.com/>
- [13] FORTEL INTERIER [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.fototapety.cz/42817-velur/59821-samolepici-velur-odstin-/>
- [14] ROLLON [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.rollon.com/CZ/cs/produkty/actuator-line/13-uniline-system/>
- [15] FERONA [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>
- [16] CCS Inc. [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_item/1/1/3/138/1530/e.html](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_item/1/1/3/138/1530/e.html)
- [16] LENZE [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.lenze.com/cs-cz/vyrobky/motory/servomotory/synchronni-servomotory-mcs/>
- [16] TELEDYNE DALSA [online], [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:  
<https://www.teledynedalsa.com/imaging/products/cameras/line-scan/piranha3/P3-80-16K40/>