



Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Měření prostorového rozložení a množství kapaliny při ostříku světlometu
automobilu

Autor práce: Bc. Andrea Daňková
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Blecha, Ph.D.

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Andrea DAŇKOVÁ**
Osobní číslo: **E13N0120P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Měření prostorového rozložení a množství kapaliny při ostřiku světlometu automobilu**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

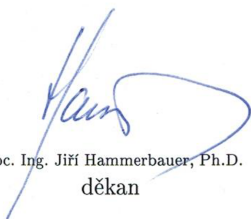
1. Seznamte se s problematikou ostřiku předního světlometu automobilu.
2. Popište možné metody měření množství a prostorového rozložení kapaliny při ostřiku světlometu.
3. Navrhněte a prakticky zrealizujte systém pro měření množství a prostorového rozložení kapaliny při ostřiku světlometu.
4. Kriticky zhodnoťte výsledky měření.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Erjavec, J: Automotive Technology
2. Ďaďo, S.; Bejček, L.; Platil, A.: Měření průtoku a výšky hladiny
3. Ďaďo, S.; Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Blecha, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá metodami pro zjištění prostorového rozložení a množství kapaliny při ostříku předního světlometu automobilu. Jsou zde uvedeny základní pojmy týkající se světlometů, popis čisticího systému světlometu a teorie věnující se problematice měření množství kapaliny a zpracování obrazu. Součástí práce je praktická realizace měření pomocí dvou metod, a to pomocí ultrazvukového senzoru a kamerového systému. Měření bylo prováděno v laboratorních podmínkách na rovinné ploše tvořené systémem kyvet k zachycení vody. Byly změřeny charakteristiky několika druhů trysek ostřikovače.

Klíčová slova

Světlo, světlomety, čisticí systém světlometu, ostřikovač, tryska, kyveta, hladinoměry, měření výšky hladiny, zpracování obrazu, strojové vidění, ultrazvukový senzor, NI Vision Builder for Automated Inspection.

Abstract

Daňková, Andrea. *Spatial liquid distribution and liquid volume measurement during car headlights washing* [Měření prostorového rozložení a množství kapaliny při ostržení světlo-*metu automobilu*]. Pilsen, 2015. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Tomáš Blecha

The master thesis presents spatial liquid distribution and liquid volume measurement during car headlamps washing. It describes basic terms concerning headlamps, headlamp washer system, liquid level measurement options and fundamentals of image processing systems. The master thesis includes a practical measurement using two methods, namely ultrasonic sensor and camera system. The measurement was realized in laboratory conditions on a plane surface formed by cuvettes to catch water. It was measured the characteristics of several types of headlamp washer noozles.

Keywords

Headlamps, headlamp washer system, nozzle, cuvette, liquid level measurement, image processing systems, machine vision, ultrasonic sensor, NI Vision Builder for Automated Inspection.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

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

V Plzni dne 11. května 2015

Bc. Andrea Daňková

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Blechovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Ráda bych také poděkovala společnosti Automotive Lighting, s.r.o. za poskytnuté materiály a spolupráci na prováděném měření, jmenovitě panu Ing. Jiřímu Ryškovi. Tato práce vznikla také s podporou společnosti ATEsystem s.r.o., která pro účely práce zapůjčila kameru a její příslušenství, jmenovitě děkuji panu Renému Fešárovi za cenné rady a věnovaný čas. Dále s podporou společnosti AJP-tech spol. s r.o., která zapůjčila pro účely práce ultrazvukový senzor s příslušenstvím. Poděkování patří také panu Jaroslavu Bartoňovi za výrobu konstrukčních prvků potřebných pro realizaci měření. Děkuji také Gabriele Šaškové za pečlivé přečtení celé práce a cenné připomínky. Na závěr je mou milou povinností poděkovat Bc. Janu Lodrovi za věnovaný čas a podporu při tvorbě této diplomové práce.

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam symbolů a zkratk	x
1 Úvod	1
2 Osvětlení vozidel	2
2.1 Historie	2
2.2 Základní pojmy	3
2.2.1 Světlo	3
2.2.2 Světelné veličiny	3
2.2.3 Světlomety	4
3 Čisticí systém světlometu	6
3.1 Legislativa	6
3.2 Provedení	7
4 Přehled senzorů pro měření hladiny	9
4.1 Plovákové	10
4.2 Elektromechanické a vážní systémy	11
4.3 Elektrické	11
4.4 Tlakové	12
4.5 Radarové	13
4.6 Ultrazvukové	13
5 Přehled problematiky zpracování obrazu a strojového vidění	16
5.1 Zpracování obrazu	16
5.1.1 Snímání a digitalizace	16
5.1.2 Předzpracování obrazu	17
5.1.3 Segmentace obrazu	18
5.1.4 Popis objektů	18
5.1.5 Klasifikace	18

5.2	Strojové vidění	18
5.3	Kamerové systémy	19
6	Návrh a výběr metod pro měření ostřikovače světlometů	20
6.1	Popis zadané úlohy	20
6.2	Metody měření	21
6.2.1	Ultrazvukový senzor	22
6.2.2	Kamerový systém	25
6.2.3	Rovinná plocha pro zachycení kapaliny	25
7	Praktická realizace systému pro měření množství a rozložení kapaliny při ostřiku světlometu	27
7.1	Realizace měření	28
7.2	Zpracování výsledků	30
7.3	Zhodnocení výsledků měření	34
8	Závěr	38
	Reference, použitá literatura	39
	Přílohy	41
A	Naměřené hodnoty a charakteristiky jednotlivých trysek	41
A.1	Statická tryska 1 vzorek A	42
A.2	Statická tryska 1 vzorek B	45
A.3	Statická tryska 1 vzorek C	48
A.4	Statická tryska 2 vzorek A	51
A.5	Statická tryska 2 vzorek B	54
A.6	Statická tryska 2 vzorek C	57
A.7	Statická tryska 2 vzorek C při změně výšky na 18 cm	60
A.8	Teleskopická tryska 1	63
A.9	Teleskopická tryska 2	66
A.10	Teleskopická tryska 3	69

Seznam obrázků

2.1	Elektromagnetické vlnění [1]	3
2.2	Tepnota chromatičnosti [1]	4
2.3	Srovnání viditelnosti na vozovce s použitím halogenových žárovek vs. xenonových výbojek [1]	5
3.1	Provedení trysek ostříkovače světlometu	7
4.1	Difúzní mód ultrazvukového senzoru [8]	14
4.2	Reflexní mód ultrazvukového senzoru [8]	14
4.3	Jednosměrný mód ultrazvukového senzoru [8]	15
6.1	Parametry ultrazvukového senzoru [9]	22
6.2	Hystereze senzoru v jednosměrném módu [9]	23
6.3	Typický profil ultrazvukového paprsku [9]	24
6.4	Materiály pro vytvoření rovinné plochy k zachycení kapaliny	26
6.5	Rovinná plocha (pláštěv) k zachycení kapaliny	26
7.1	Popis částí měřené trysky	27
7.2	Schéma měření	29
7.3	Měření pomocí ultrazvukového senzoru	30
7.4	Popis rozhraní programu NI Vision Builder AI	31
7.5	Stavový diagram celé inspekce	33
7.6	Charakteristiky statické trysky 1, vzorek A, naměřené senzorem	35
7.7	Vlastnosti kyvety ovlivňující měření	36
7.8	Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 1, vzorek A	37
7.9	Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek A, naměřené kamerou	37
A.1	Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek A	42
A.2	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 1, vzorek A	43
A.3	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	44
A.4	Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek B	45
A.5	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 1, vzorek B	46

A.6	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	47
A.7	Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek C	48
A.8	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 1, vzorek C . .	49
A.9	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	50
A.10	Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek A	51
A.11	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek A . .	52
A.12	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	53
A.13	Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek B	54
A.14	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek B . .	55
A.15	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	56
A.16	Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek C	57
A.17	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek C . .	58
A.18	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	59
A.19	Charakteristiky statické trysky 2, vzorek C 18 cm	60
A.20	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek C 18 cm	61
A.21	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	62
A.22	Charakteristiky Teleskopické trysky 1	63
A.23	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Teleskopickou trysku 1	64
A.24	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	65
A.25	Charakteristiky Teleskopické trysky 2	66
A.26	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Teleskopickou trysku 2	67
A.27	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	68
A.28	Charakteristiky Teleskopické trysky 3	69
A.29	Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Teleskopickou trysku 3	70
A.30	Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou	71

Seznam tabulek

6.1	Základní parametry ultrazvukového senzoru UNCK 09 [9]	24
6.2	Základní parametry kamery acA2500-14um [14]	25
7.1	Počty aplikovaných cyklů ostříkovače a pozice trysky vůči plástvi	35

Seznam symbolů a zkratek

AFS	Adaptive Front-lighting System. Adaptivní systém pro přední světlometry.
BMW	Bayerische Motoren Werke.
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Key. Azurová, purpurová, žlutá, černá.
DPI	Dots per inch. Počet bodů na palec.
EHK	Evropská hospodářská komise.
FFT	Fast Fourier Transform. Rychlá Fourierova transformace.
FM-CW	Frequency Modulated-Continous Wave. Radar se svouvisle frekvenčně modulovanými vlnami.
IP	Ingress Protection. Stupeň krytí.
LED	Light-Emitting Diode. Elektroluminiscenční dioda.
LVDT	Linear Variable Differential Transformer. Lineární proměnný rozdílový transformátor.
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Polem řízený tranzistor.
MS	Microsoft.
NI	National Instruments.
OSN	Organizace spojených národů.
PLC	Programmable Logic Controller. Programovatelný logický automat.
RGB	Red, Green, Blue. Červená, zelená, modrá.
ROI	Region Of Interest. Oblast zájmu.
USB	Universal Serial Bus. Univerzální sériová sběrnice.
VW	Volkswagen.

1

Úvod

Automobily se staly nedílnou součástí života drtivé většiny z nás, což s sebou ovšem přináší vyšší hustotu a složitost provozu. Moderním trendem a především nutností se v automobilu staly tzv. *safety systems*, tedy systémy se zaměřením na bezpečnost a ochranu osob. Mohou jimi být především asistenční systémy pro řidiče, jako jsou funkce sledování slepého bodu, schopnost vozidla rozpoznat nebezpečné situace, včas zareagovat či zavolat pomoc a mnoho dalších. Jedním z prvků aktivní bezpečnosti jsou i světlomety automobilu. Právě ony mají mimo jiné pomoci předejít nehodám. Důležitou bezpečnostní součástí, a v některých případech i povinností, je i čisticí systém světlometu.

Legislativa se zabývá podmínkami, při kterých je ostříkovač na vozidle vyžadován, a také parametry, které musí splňovat. Stejně jako každá součást automobilu musí být homologován. Aby byla jeho funkce optimální a zároveň splňoval přísné normy, je stejně jako světlomety vyvíjen a testován. Pro jeho vhodné použití pro různé typy světlometů je nutné znát charakteristiky trysek, které jsou součástí ostříkovače. Právě tímto problémem se zabývám ve své diplomové práci.

Cílem mé práce je zjistit rozložení a množství kapaliny při ostříku čelního světlometu automobilu. Tedy změřit charakteristiky několika různých druhů trysek. Obsahem samotné práce je seznámení se základními pojmy z oblasti světlometů, legislativa a popis čisticího systému světlometu, teorie vztahující se k možnostem měření hladiny, zpracování obrazu a především praktická realizace měření. Výstupem jsou dvě metody, které byly pro zjištění charakteristik trysek použity, a to metoda s použitím ultrazvukového senzoru a kamerového systému. Celá práce vznikla ve spolupráci se společností Automotive Lighting, s.r.o. a výsledky budou použity k dalšímu vývoji a optimalizaci funkce čisticího systému světlometu. Diplomová práce byla vytvořena v prostředí L^AT_EX.

2

Osvětlení vozidel

2.1 Historie

Počátky osvětlení automobilů sahají již hluboko do historie, od vynálezu žárovky v roce 1879 T.A. Edisonem, přes první vůz s osvětlovacím systémem z roku 1886, který byl sestaven G. Daimlerem, až k roku 1913, kdy byl vynalezen první plně elektrický osvětlovací systém s předními světlomety firmou Bosch.

Halogenové žárovky datují svoji historii k 60. letům 20. století, xenonové výbojky až k letům devadesátým. LED světlomety se nejprve objevují v podobě koncových světel v roce 1997, v roce 2000 byl udělen patent společnosti Automotive Lighting pro LED maticový paprsek s adaptivním charakterem světla. První kompletní LED čelní světla pro model Audi R8 tato společnost uvádí v roce 2007. Mercedes představil v roce 2011 čelní LED světlomety řízené kamerově.

V současnosti se stále v předních světlometech setkáváme s halogenovými žárovkami, xenonovými výbojkami, a to i v provedení Bi-Xenon, tak především LED světlomety. Ty se nejprve objevovaly jako brzdová světla pro svůj rychlý náběh do plného výkonu, dále jako denní svícení a dnes se nejen u automobilů vyšších tříd, ale také tříd středních, objevují FULL LED světlomety. FULL LED je označení pro světlomety, ve kterých jsou všechny světelné funkce realizovány právě pomocí LED.

Mezi moderní technologie, které jsou pro čelní světla implementována, patří především AFS, což je *Adaptive Front-lighting System*, neboli adaptivní světlomety, které umožňují automatické nastavení světel podle směru vozovky a parametrů prostředí, například funkce Corner Light, City Light, Fog Light a další.

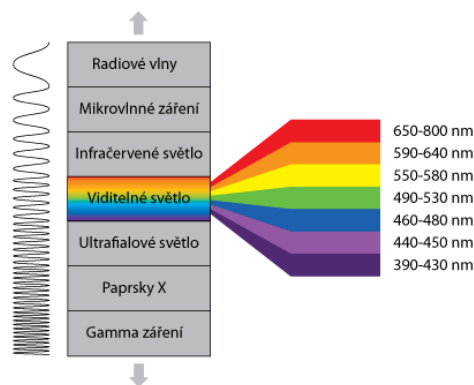
V oblasti LED světlometů je soustředěn na vývoj tzv. *LED Matrix Beam*. Tato funkce se řadí do skupiny inteligentních světlometů, kde je řízení diod prováděno v kombinaci s kamerovým systémem, díky kterému jsou detekována vozidla v okolí automobilu a LED jsou přepínány tak, aby neoslňovaly protijedoucí vozy a zároveň poskytovaly maximální osvětlení vozovky před sebou. To umožňuje například trvalé zapnutí dálkových světel. Světlo je vytvářeno individuálním spínáním buď samostatných chipů LED, nebo multichipů. Díky malým rozměrům diod se otevřel prostor pro nové designy předních světlometů, čehož

výrobci automobilů plně využívají při odlišení vzhledu svých značek. Využití LED také přináší menší spotřebu paliva a použití moderních technologií v oblasti osvětlení vozidel zvyšuje bezpečnost silničního provozu. [1], [4]

2.2 Základní pojmy

2.2.1 Světlo

Světlo je energie ve formě elektromagnetického záření, které má svou rychlost. Ve vakuu se šíří rychlostí $c = 299\,792\,458$ m/s. Vznikem světla a jeho využitím se zabývá světelná technika.



Obr. 2.1: Elektromagnetické vlnění [1]

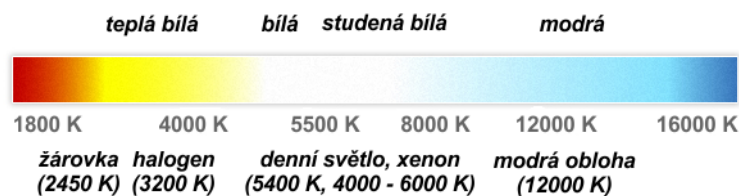
Spektrum světla je znázorněno na obr. 2.1. Část spektra, která vyvolá prostřednictvím zrakového orgánu zrakový vjem, se nazývá viditelné světlo. Elektromagnetické vlnění o frekvencích 385 až 790 THz vyvolává v lidském oku fyziologický proces označovaný vidění. Tomu odpovídají vlnové délky světla ve vakuu 380 až 780 nm. Vlnová délka tedy určuje barvu světla. Oko každého člověka má ovšem individuální vlastnosti, a proto jsou tato rozmezí přibližná. Sloučením všech barev viditelného spektra v určitém zastoupení vzniká světlo bílé, které představuje denní světlo a odpovídá tedy záření povrchu Slunce. Další informace jsou uvedeny v [1].

2.2.2 Světelné veličiny

Pro pochopení problematiky v oblasti světlometů je třeba uvést základní světelné veličiny.

- Světelný tok ϕ [lm] je světelný výkon, tedy množství světelné energie vydané zdrojem za 1 s. Můžeme ho chápat jako celkový světelný výstup ze světelného zdroje. Právě na základě hodnoty této veličiny legislativa určuje, pro které světlometry, tedy s jakým světelným zdrojem, je vyžadován čisticí systém.

- Měrný světelný výkon η [lm/W] je poměr výkonu světelného záření a elektrického příkonu. Vyjadřuje tedy účinnost, s jakou se elektrická energie přeměňuje na světelnou.
- Intenzita osvětlení E [lx] je podíl světelného toku a plochy, na kterou tok dopadá.
- Svítivost I [cd] je hustota světelného toku bodového zdroje v různých směrech.
- Jas L [cd/m²] je intenzita svítivosti zářivé plochy zdroje světla (primárního i sekundárního). Velký jas způsobuje oslnění.
- Teplota chromatičnosti T [K] (barevná teplota), charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité teploty chromatičnosti má barvu tepelného záření vydávaného černým tělesem zahřátým na tuto teplotu. Vypovídá tedy o tónu barvy světelného zdroje, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2: Teplota chromatičnosti [1]

Světelné zdroje můžeme rozdělit na primární, které světlo vytváří, a na sekundární, které jej odráží. Světelný zdroj je v podstatě tepelný zářič, který prostřednictvím tepelné energie produkuje světlo. To znamená, čím vyšší teplotu zdroj má, tím vyšší bude jeho svítivost. [1]

2.2.3 Světlometry

Základní funkcí světlometu je vidět a být viděn. Čelní světlometry automobilu sdružují hned několik světelných funkcí, jako jsou světla potkávací, dálková apod., v závislosti na provedení u konkrétního automobilu. Obecně se světlomet skládá ze světelného zdroje, reflektoru, pouzdra a krycího skla. Jako světelný zdroj se stále využívá jak halogenová žárovka, xenonová výbojka, tak především LED a nejnověji také laserová dioda, například u BMW i8. Standardem je i u vozů střední třídy využití moderních technologií, jako jsou adaptivní světlometry. Před rokem 1957 bylo světlo na vozovce rozloženo symetricky, po tomto roce je rozložení světla na vozovce nesymetrické.

Samotné zkonstruování světlometu se řídí návrhem zákazníka, tedy samotné automobilky. Nejprve je navrženo rozložení světelných funkcí, při návrhu jsou také prováděny mechanické simulace pro tepelné, vibrační a pevnostní namáhání světlometu, dále je uvolněna výrobní dokumentace pro schválení zákazníkem dříve, než dojde k samotné výrobě.

Samotné vyhovění zákazníkovi je jen polovinou úspěchu při procesu návrhu světlometu. Světlomet, stejně jako ostatní části automobilu, musí být především navržen a vyroben tak, aby splňoval přísné homologační podmínky automobilového průmyslu. Více informací je uvedeno v [1].

Legislativa se zabývá nejen technickou funkčností jednotlivých částí automobilu, ale také jejich bezpečností. Světlometry jsou aktivním bezpečnostním prvkem automobilu. K ohrožení bezpečnosti může dojít v případě nedostatečného osvětlení vozovky, stejně tak jako při oslnění protijedoucích řidičů. Z tohoto důvodu je u světlometů montován také jejich čisticí systém. Jeho nutnost je legislativně podmíněna velikostí celkového skutečného světelného toku, tedy ne výslovně typem použitého světelného zdroje. Světelný tok u halogenových žárovek dosahuje hodnoty přibližně 1550 lm, proto ostříkovač světel není legislativou vyžadován, i když se může objevovat u vyšších výbav jako komfortní prvek. Oproti tomu xenonová výbojka dosahuje hodnoty světelného toku cca 3200 lm, tím pádem je ostříkovač nutností. Porovnání hodnot světelného toku a následné viditelnosti na vozovce je možné vidět na obr. 2.3. Co se týče LED světlometů, diody jsou v nich používány v různých provedeních, s ohledem na konkrétní světelnou funkci. Pro realizaci funkcí LED Matrix Beam se využívá provedení s jednou diodou na čipu (single chip), nebo několika diod na čipu (multichip). Například diody od společnosti OSRAM dosahují hodnot světelného toku 100 či 220 lm pro single chip a typicky 800 lm pro multichip. V případě LED světlometů tedy nutnost ostříkovače závisí na konkrétním provedení světlometu. Světelný tok, barevná teplota, napětí v propustném směru a životnost jsou u diod závislé především na teplotě, proto je u LED světlometů kladen velký důraz na účinné chlazení. [4]



Obr. 2.3: Srovnání viditelnosti na vozovce s použitím halogenových žárovek vs. xenonových výbojek [1]

3

Čisticí systém světlometu

Čisticí systém světlometu, neboli ostříkovač, má dvě základní funkce. V první řadě je to funkce bezpečnosti. Pokud by na světlometu zůstávaly nečistoty, docházelo by jak k nechtěnému lomu světla, jehož následkem by bylo oslnění protijedoucích řidičů, tak k nedostatečnému osvětlení vozovky před samotným řidičem. Druhým účelem ostříkovače je spíše funkce komfortní, může být součástí vozů vyšších výbav, i když jsou ve světlometech použity světelné zdroje, pro které ostříkovač není legislativou vyžadován.

3.1 Legislativa

Pro veškeré komponenty automobilu platí jak na mezinárodní, tak národní úrovni předpisy, které stanovují pravidla pro homologaci částí automobilu. Tyto podmínky musí výrobci komponentů splňovat, aby jejich výrobky mohly být na vozech použity. Legislativou ohledně automobilů a jejich součástí se zabývá Evropská hospodářská komise při Organizaci spojených národů (EHK/OSN). Jedním z nejdůležitějších technických předpisů je předpis č. 48, což jsou *Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci*. Právě zde je stanoveno, že čistič světlometu musí být montován pro potkávací světlometry se zdrojem světla nebo modulem LED, které vytvářejí hlavní potkávací světlo a které mají celkový světelný tok překračující 2000 lm. Konkrétně ostříkovačem se zabývá předpis č. 45, což jsou *Jednotná ustanovení pro homologaci čističů světlometů a motorových vozidel z hlediska čističů světlometů*. Z tohoto předpisu vyplývají i následující skutečnosti.

Čistič světlometu je definován jako úplné zařízení, jímž může být očištěna celá plocha výstupu světla nebo část plochy výstupu světla světlometu nebo systému AFS. Na čističi musí být dobře čitelné a nesmazatelné označení obchodního názvu a značky, jmenovité napětí u elektricky ovládaných součástí a také na něm musí být dostatečně velké místo pro homologační značku. Samotná homologace typu čističe světlometu se vztahuje na funkční princip čištění daného čističe. Povinně musí čistič světlometu čistit plochu potkávacího světla, nepovinně dálkového. Je vyžadována účinnost čištění nejméně 70 % na světle, které je znečištěno až po stupeň, kdy je zbylý světelný tok 20 % z původního. V předpisu se

dále bere ohled i na klidovou polohu čističe tak, aby nezakrýval svítící plochy světlometu. Dále je zde specifikováno, že musí být účinný v rozsahu teplot od -10°C do $+35^{\circ}\text{C}$ a uspokojivě pracovat od 0 do 130 km/h, pokud není blokován sněhem či ledem, ovšem ani tyto vnější vlivy nesmějí porušit jeho funkci. Musí být dále odolný proti vibracím, zamrzlé kapalině i jejím chemickým účinkům a musí snést vystavení teplotě -35°C a nebo $+80^{\circ}\text{C}$ po dobu jedné hodiny. Jeho části nesmí bránit seřizování světlometů či výměně světelného zdroje, případně musí být jeho části částečně demontovatelné. Čistič nesmí mít špičaté nebo ostré části, které by mohly vést k poranění osob.

Dále jsou zmiňovány i požadavky na nádržku na kapalinu, která může být společná i pro omývače čelního či zadního skla, nicméně kapalina musí postačovat nejméně pro 25 či 50 period čištění, dle typu čističe, a musí se zvětšit její objem o 1 litr. Její plnicí otvor a hladina kapaliny musí být lehce kontrolovatelná. Jedna perioda trvá obvykle 0,8 až 1,2 s. Čistič při své činnosti nesmí způsobovat soustavné usazování nečistot na svítícím povrchu jiných osvětlovacích či signalizačních zařízení a zhoršovat jejich funkci. Jednou z komplikací čističe světla je spotřeba kapaliny. Pro jeden ostřík je spotřebováno až 100 ml kapaliny. To může být nepříjemnou skutečností především na dlouhých cestách za nepříznivého počasí. I to je jeden z důvodů, proč se výrobci čističů světlometů snaží o jeho optimální nastavení a důkladné testování. [6], [7]

3.2 Provedení

Celý čisticí systém se skládá z nádržky na kapalinu, systému hadiček pro její vedení, čerpadla a trysek. Obecnou funkcí ostříkovače je přeměnit elektrickou energii získávanou z palubní sítě vozu na hydraulické působení ostříkovacího systému tak, aby došlo k nejefektivnějšímu očištění světlometu od nečistot. K tomuto účelu jsou jeho jednotlivé komponenty dimenzovány. Ostříkovač je aktivován nejčastěji společně s funkcí omývače předního či zadního skla, a to buď automaticky, určitým počtem aktivací či přidržením ostříku čelního skla po určitou dobu. Tímto je přivedeno na motorek ostříkovače (čerpadlo) potřebné napětí pro jeho spuštění, čímž je vytvořen silný tlak, který způsobí skrze trysku ostřík světlometu.



(a) Statická tryška [19]



(b) Teleskopická tryška [20]

Obr. 3.1: Provedení trysek ostříkovače světlometu

Tryska ostřikovače má dvě provedení, a tím je statická nebo teleskopická tryska. Statická tryska je viditelně umístěna na nárazníku vozidla, teleskopická tryska je naopak v nárazníku skrytá. Teleskopická, tedy výsuvná, tryska je tvořena držákem trysky, krytkou a výsuvným zařízením. Při spuštění ostřiku je držák vysunut z klidové polohy do pracovní pouze hydraulicky, za pomoci vysokého tlaku. Tento systém se častěji používá pro aerodynamické tvary světel s větším zahnutím a sklonem. [1]

Čerpadla ostřikovačů se vyrábějí nejčastěji také ve dvou provedeních. Prvním je čerpadlo s jedním výstupem, které dodává kapalinu pouze pro čištění předního či zadního okna. Jsou tedy zapotřebí dvě čerpadla. Druhým typem je čerpadlo se dvěma výstupy, které umožňuje vhánět kapalinu do dvou okruhů, pro přední i zadní okno zvlášť. Lze tedy použít pouze jedno čerpadlo.

Pro ostřikovač světel se využívá tedy čerpadlo pouze s jedním výstupem, kterým je kapalina vedena v jednom okruhu pro oba světlometry a které je umístěno v nádrži kapaliny. Čerpadla jsou vyráběna s vysokým IP krytím a jejich elektromagnetická kompatibilita odpovídá požadavkům zákazníka. Čerpadla pro světlometry mají větší odběr elektrické energie, než čerpadla určená pro čištění skel. [5]

4

Přehled senzorů pro měření hladiny

Aby bylo možné úspěšně zjistit, kolik kapaliny je v různých částech světloometu při jeho ostříku, je třeba seznámit se s možnostmi, které připadají pro takovouto úlohu v úvahu. První metodou je zjišťování hladiny senzorem, tedy hladinoměrem. Druhou metodou je zpracování obrazu, a to kamerovým systémem. V této kapitole se budu dále věnovat hladinoměrům. Ke každé metodě bude uveden jen stručný princip funkce. Detailnější popis principů a funkce jednotlivých metod a senzorů je k nahlédnutí v [3].

Zjišťování hladiny je potřebné v mnoha aplikacích, například při kontrole úrovně hladiny proti přetečení, při optimalizaci stavu nádrže či detekci úniku látek a mnoho dalších. Měří se jak hladiny kapalin, tak i sypkých látek. Měřit hladinu lze bodově, kdy je pouze indikováno překročení určité úrovně hladiny, nebo spojitě, tedy pro zjištění libovolné úrovně hladiny. Právě spojitě měření je klíčové pro zjištění množství kapaliny při ostříku světloometu. Základní přehled, vycházející z toho rozdělení je následující:

1. Nespojité měření hladiny

- a) Plovákové
- b) Mechanické
- c) Elektrické
- d) Ultrazvukové
- e) Optické

2. Spojité měření hladiny

- a) Plovákové
- b) Elektromechanické
- c) Vážní systémy
- d) Elektrické
- e) Tlakové

f) Ultrazvukové

Dále budou podrobněji rozvedeny pouze metody pro spojitě měření, a to bez ohledu na vhodnost použití pro zadanou úlohu. [2]

4.1 Plovákové

Princip měření spočívá ve snímání polohy plováku, který mívá kulový či válcový tvar. To z toho důvodu, aby se na něm neusazovaly nečistoty nebo kapky vody a následnou změnou hmotnosti nedošlo k jeho ponoření. Může být vyroben z různých materiálů, pro nenáročné aplikace se používá pěnový polystyrén, pro náročné aplikace s agresivními kapalinami se používají ušlechtilé materiály a korozivzdorné oceli. Přesnost měření, která je reprezentována ponořením plováku, je ovlivněna hustotou kapaliny.

Mezi druhy plovákových hladinoměrů můžeme zařadit:

- a) Plovákové spínače: V plováku je umístěn permanentní magnet, který se při stoupnutí hladiny přiblíží k jazýčkovému kontaktu. Kontakty vlivem magnetického pole sepnou. Takovéto spínače mohou být i víceúrovňové, kdy se plovák pohybuje kolem vodící tyče a spíná několik oddělených spínačů hladiny. Pokud je kontaktů dostatečné množství nedaleko od sebe, může se toto měření blížit ke spojitému. Vyskytují se také pseudo-spojité spínače, které fungují na základě snímání napětí na kombinaci rezistorů, které mění svůj odpor v závislosti na postupném spínání jazýčkových spínačů.
- b) Odporové snímače: Tento typ snímače se používá v palivových nádržích automobilu. Plovák je umístěn na kyvném rameni, změnou hladiny je pak jeho výchylka přenášena na jezdec potenciometru. Ten je připojen k bimetalovému ručkovému indikátoru paliva. Se zvyšujícím se odporem klesá proud, čímž dochází k ochlazení bimetalového pásku, který se pomalu rovná a tím způsobuje pohyb ručičky na ukazateli paliva. Změna teploty není okamžitá, tím pádem je i rychlost odezvy systému delší, čímž je eliminován problém s rychlým přeléváním paliva během jízdy. Ukazatel paliva má na konci svého spodního rozsahu zvýšenou citlivost, které se dosahuje buď tvarem nádrže, nebo nelineární odporovou dráhou. Úhlová poloha kyvného plováku může být také snímána magneticky, a to Hallovou sondou.
- c) Snímače s LVDT: Plovák je tvořen feromagnetickým jádrem, plovákové komory jsou kostrou vinutí diferenčního transformátoru (LVDT). Změnou hladiny se mění poloha jádra, tím pádem i vzájemná indukčnost mezi primárním a dvěma sekundárními vinutími. Výška hladiny se vypočítá z obou sekundárních napětí.
- d) Magnetostrikční hladinoměry: Jsou založeny na vlastnosti feromagnetik měnit své rozměry působením magnetického pole, nebo při deformaci měnit své magnetické vlastnosti, tedy magnetostriktci. Magnetostrikční snímač se skládá z vlnovodu, permanentního magnetu a snímače. Vlnovod obsahuje vodící tyč plováku, magnet je zabudován do

plováku, který je prstencového tvaru a navlečený na vodičí tyči. Permanentní magnet vytváří podélnou magnetizaci vlnovodu právě v místě, kde se nachází. Do vlnovodu je přiveden krátký proudový impulz a tím je vytvořeno obvodové magnetické pole. Sloučením obou polí v místě magnetu dochází ke šroubovicové magnetizaci a tím dojde ke zkřutu vlnovodu, který je detekován snímačem, umístěným na jedné straně vlnovodu. Magnetostrikční snímače jsou používány jako snímače polohy. [3]

4.2 Elektromechanické a vážní systémy

Elektromechanické senzory jsou založeny na triviálním automatizovaném spouštění závaží na laně. Tvar závaží je závislý na skupenství měřené látky. Po dotyku s hladinou je navíjecí mechanismus odlehčen a je změřena délka odvinutého lana. Poté se plovák navine zpět a znovu se spustí. Tento postup se stále opakuje.

Pokud měříme množství kapaliny (nebo sypké látky), chceme zjistit její hmotnost. K tomu slouží vážní systémy. Vážící zařízení je umístěno pod nádobou s měřenou látkou a určuje celkovou hmotnost nádoby s danou látkou. Od této hodnoty je odečtena hmotnost prázdné nádoby, tím spočítáme hmotnost měřené látky. Vážící zařízení obsahuje pružné členy, jejichž deformace je snímána odporovými tenzometry. Deformace je typicky 0,025 až 0,25 mm. Jako vážní zařízení lze použít také hydraulické snímače s převodem na měření tlaku, a to pro větší hmotnosti. [3]

4.3 Elektrické

Mezi elektrické hladinoměry řadíme snímače potenciometrické, vodivostní, kapacitní, termální a odporové pásky.

Odporové pásky jsou založeny na principu zkratování odporové dráhy spirálovým vodičem, který se dráhy dotýká při ponoření do kapaliny vlivem hydrostatického tlaku a tím snižuje její odpor. Snímač je tvořen nosným ocelovým páskem s vodivým povrchem, izolační vrstvou a odporovou dráhou. Spirálový vodič je navinut kolem pásku a v klidovém stavu se odporové dráhy nedotýká. Všechny části jsou uloženy v neprodyšném pouzdře z teflonu.

Potenciometrické měření je založeno na ponoření tyčové sondy z nerezové oceli do kapaliny. Sonda je z nerezové oceli a tvoří potenciometrickou odporovou dráhu, kapalina se tím pádem stává jezdcem potenciometru. U hladiny se změří napětí, které odpovídá výsledné výšce hladiny. Podmínkou je kovová nádoba, případně spojení zemnicí elektrody s kostrou senzoru paralelně se sondou.

Vodivostní snímače pracují na principu uzavření elektrického obvodu mezi elektrodami, a to přes kapalinu, která musí být tím pádem vodivá. Jedna elektroda je tvořena hrotem senzoru, druhou elektrodou je stěna nádoby v případě nádoby kovové. Pokud nádoba kovová není, je třeba jako druhou elektrodu použít šroubení senzoru, které tvoří zemnicí

elektrodu, tím pádem musí být částečně ponořeno do kapaliny. Pro měření je nutné použít střídavý signál, aby nedocházelo ke zničení elektrod vlivem elektrolýzy. Protékající proud je velmi malý, a to v řádu mikroampér. Vodivá kapalina může být také nahrazena vlhkou sypkou látkou. Pro spojitě měření se kvůli teplotní závislosti příliš nepoužívají, jsou nahrazovány kapacitními snímači.

Kapacitní snímače lze použít k signalizaci jak mezních stavů hladiny, tak k realizaci spojitěho snímání hladiny kapalin a sypkých látek. Snímače jsou založeny na principu změny kapacity v závislosti na výšce hladiny. Celková kapacita je tvořena neměnnou kapacitou přívodů, kapacitou ponořené části a kapacitou vynořené části elektrod. Samotná konstrukce snímače je závislá na vodivosti měřené látky. Pro nevodivé kapaliny je konstrukce snímače jednodušší. Kapalina tvoří proměnné dielektrikum, které společně s vodivou střední elektrodou a stěnou nádoby vytváří kondenzátor. Pro vodivé kapaliny musí být přidána izolace, která tvoří dielektrikum a kapalina vytváří proměnnou plochu vnější elektrody.

Termální snímače jsou tvořeny dvěma odporovými teploměry, z nichž jeden je vyhříván. Princip snímání je založen na odvodu tepla do okolí, přičemž kapalina odvádí teplo výrazně lépe než vzduch, proto se vyhříváný odporový teploměr při styku s hladinou ochladí a změní se jeho odpor. Termální snímače jsou tedy využívány pro limitní měření hladiny. [3]

4.4 Tlakové

Snímání hladiny pomocí tlakových senzorů je založeno na principu hydrostatického tlaku, což je tlak, který vzniká v kapalině její vlastní tíhou. Je tedy úměrný výšce sloupce kapaliny, tedy hloubce pod hladinou, hustotě dané kapaliny a tíhovému zrychlení, tedy

$$P = h \cdot \rho \cdot g \quad [Pa] \quad (4.1)$$

Základní postupy měření se liší podle toho, zda hladinu měříme v atmosférických či tlakových nádobách. V prvním případě měříme hydrostatický tlak u dna nádoby oproti barometrickému tlaku. U uzavřených tlakových nádob měříme rozdíl tlaku u dna nádoby a prostorem par nad hladinou. Můžeme použít jak dva oddělené snímače, tak jeden diferenční snímač. Odlišnou metodou pro měření tlaku, která se používá spíše v agresivních prostředích, kde nemůžeme senzor vystavit přímo kapalině, je tzv. *bubbler*. Na dno nádoby je zavedena trubice, kterou proudí malé množství vzduchu. Vzduch musí překonat hydrostatický tlak kapaliny, který působí u ústí trubice. K probublání dojde v okamžiku, kdy tlak akumulovaného vzduchu přesáhne hydrostatický tlak kapaliny. Měření je tedy tlak potřebný k probublání vzduchu. [3]

4.5 Radarové

Radarové snímače fungují, podobně jako ultrazvukové, na základě vyslání a zpětném přijetí vlny. U radarů to není zvuková vlna, ale elektromagnetická, konkrétně to jsou vlny mikrovlnné. Mikrovlnné záření je takové, které má frekvenci vyšší než 2 GHz. V radarových hladinoměrech se využívají vlny o frekvencích 5,8 až 26 GHz. Vyslané mikrovlny se odrazí od hladiny a následně jsou zachyceny anténou radaru a dále zpracovány. Používají se dva typy radarů, a to FM-CW a pulzní radar.

FM-CW radar (frequency modulated-continuous wave) je typ, u kterého vysílač generuje frekvenčně modulovanou spojitou vlnu. Tvar modulačního průběhu je pilovitý a vysílaný signál je přeladován v pásmu frekvencí od 9 do 10 GHz. Čím větší vzdálenost je mezi vysílačem a cílem, tím je větší zpoždění mezi vysláním a přijetím signálu. Díky přeladování je tím pádem i rozdíl ve frekvencích přijatého a vyslaného signálu. Signál na této rozdílové frekvenci je dále zpracován pomocí FFT (Fast Fourier Transform), čímž je získáno frekvenční spektrum. Ideálně pak bude ve spektru jedna frekvence, která je úměrná vzdálenosti.

Druhým typem je pulzní radar. Mikrovlny jsou vysílány v podobě krátkých impulzů. Po každém impulzu následuje delší odmlka, která tvoří prostor pro příjem odražených vln. Doba této odmlky, tedy doba mezi vysílacími impulzy, určuje maximální vzdálenost pro detekování objektů. Pokud by tato doba byla kratší, než je maximální vzdálenost, docházelo by k zachycení předešlých odrazů během nové periody měření. Délka jednoho impulzu naopak omezuje minimální vzdálenost detekovaného objektu. Frekvence impulzů je v řádech GHz, opakovací frekvence impulzů je v řádech MHz. [3]

4.6 Ultrazvukové

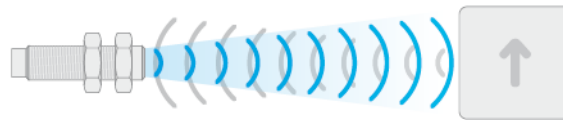
Ultrazvukovými snímači lze hladinu jak detekovat, tak spojitě měřit. Pracovní frekvence senzoru leží nad pásmem slyšitelným pro člověka, tj. nad 20 kHz, tedy frekvence ultrazvuku. Snímače využívají změnu útlumu signálu mezi vysílačem a přijímačem podle přítomnosti materiálu. Při spojitém měření je vyslán signál, který je odražen od hladiny zpět ke snímači. Z výsledné doby letu signálu je vypočítána výška hladiny. Takovéto měření je bezkontaktní a senzor je umístěn v určité vzdálenosti nad hladinou. Vyslaný signál je v podobě krátkého impulzu ultrazvuku o frekvencích několika desítek kHz. Po určité době je zachycen odražený signál a vzdálenost je vypočítána dle následujícího vzorce:

$$l = c \cdot \frac{t}{2} \quad [m] \quad (4.2)$$

kde $c [m/s]$ je rychlost šíření vzduchu, $t [s]$ je doba návratu signálu, $l [m]$ je výsledná vzdálenost. [3]

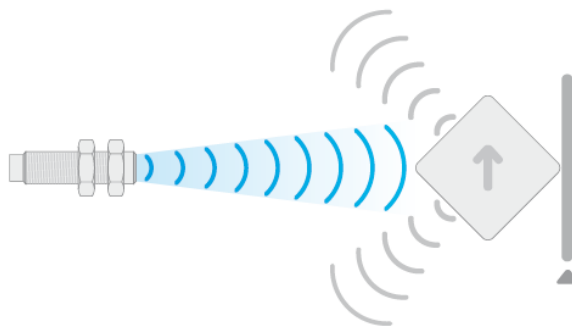
Senzor může pracovat v několika módech:

1. Difúzní mód: Senzor je umístěn proti objektu, jehož vzdálenost je měřena. Vyslaná ultrazvuková vlna se od objektu odrazí zpět k senzoru, který je zároveň vysílačem i přijímačem. Je zde tedy nutná určitá doba pro přepnutí těchto dvou pracovních režimů. Tento mód je vhodný zejména pro objekty s rovným povrchem, které jsou natočeny kolmo na senzor. [8]



Obr. 4.1: Difúzní mód ultrazvukového senzoru [8]

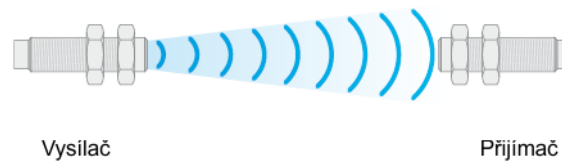
2. Reflexní mód: Snímač trvale detekuje pevně umístěné pozadí, tedy plochu s definovanou odrazivostí. Pokud se objeví před touto plochou detekovaný objekt, vysílaná vlna se přeruší a tím se změní výstupní stav senzoru. Senzor je tedy zároveň vysílačem i přijímačem. Tento režim je vhodný například pro povrchy s vysokou pohltivostí ultrazvukových vln, jako jsou výrobky z molitanu či textilu, objekty s porézním povrchem či nepravidelným tvarem, nebo objekty, které nejsou umístěny kolmo k senzoru. [8]



Obr. 4.2: Reflexní mód ultrazvukového senzoru [8]

3. Jednosměrný mód: Vysílač nepřetržitě vysílá ultrazvukové vlny k přijímači. V případě přítomnosti detekovaného objektu se vysílaná vlna přeruší a dojde ke změně výstupního stavu senzoru. Tento mód je vhodný pro detekci malých objektů, aplikace s vysokou přesností a vysokou frekvencí spínání. [8]

Ultrazvukové senzory se skládají z několika hlavních částí, a to z vysokonapěťového generátoru, převodníku, stupně pro zpracování signálu a výstupního stupně. Převodníky slouží ke generování, případně zachycení ultrazvuku. Nejčastěji používanými jsou převodníky piezoelektrické, ojediněle elektrostatické nebo magnetostrikční. Piezoelektrické převodníky jsou založeny na mechanické deformaci piezoelektrického materiálu přiložením elektrického napětí. Piezomateriálem bývá piezokeramika ve tvaru kotouče. Generátor,



Obr. 4.3: Jednosměrný mód ultrazvukového senzoru [8]

kterým je krátkodobě spínaný oscilátor, budí piezomateriál hodnotou 200 až 400 V. Oscilátor bývá pro optimální účinnost nalazen na rezonanční frekvenci převodníku. Velmi důležitým parametrem je vyzářovací charakteristika převodníku, na kterou má vliv frekvence a průměr převodníku. Čím větší je převodník či vyšší je jeho frekvence, tím vyzářuje užší paprsek. Pokud je ovšem paprsek příliš úzký, může docházet ke kolísání úrovně odrazu při zvlněné hladině. Pokud by byl naopak paprsek příliš široký, dochází k rozptýlení energie na větší ploše a tím i ke přijetí slabšího odrazu. [3]

Mezi největší výhody ultrazvukových senzorů patří možnost bezkontaktního měření jakéhokoli materiálu, dobrá odolnost vůči průmyslovému prostředí a dlouhá životnost, neboť se neskládají z žádných pohyblivých dílů. Pozor se však musí dát na závislost rychlosti šíření zvuku na teplotě prostředí, pěnu na hladině kapaliny či nechtěné odrazy. Je tedy nutné sensor umístit do optimální polohy pro dané měření.

Ultrazvukové senzory mohou mít analogový či digitální výstup dle zvolené aplikace. Jsou vhodné jak pro měření hladiny, tak pro detekci vzdálenosti, polohy či přítomnosti objektů. Jsou tedy často používané pro detekci nejen objektů na dopravníkových páslech, ale i v jiných dalších aplikacích, jako je hlídání odvíjení rolí či průhybu pásu apod.

5

Přehled problematiky zpracování obrazu a strojového vidění

5.1 Zpracování obrazu

Obraz můžeme chápat jako signál, je to dvojrozměrná funkce daná prostorovými souřadnicemi x a y , tedy $f(x,y)$. Spojitou obrazovou funkcí může být hodnota jasu, intenzity, či úrovně šedi v bodě, který je touto dvojicí souřadnic definován. Diskrétní, neboli digitální obraz, je tvořen maticí pixelů. Pixel (picture element) je nejmenší a dále nerozložitelný prvek obrazu. Samotné zpracování obrazu lze rozdělit do několika úrovní a kroků, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

5.1.1 Snímání a digitalizace

Snímání je základem pro získání obrazu reálného světa, kdy se převádí optická veličina na elektrický signál. Tento signál je v čase i amplitudě spojitý. Vstupními optickými veličinami mohou být intenzita rentgenového záření, tepelné záření, ultrazvuk, jas z kamery či scanneru apod. Dále budeme uvažovat jas z kamery jako vstupní veličinu.

Tento spojitý signál je nutné převést na signál digitální, aby mohl být obraz dále vhodně zpracováván. Takovýto obraz získáme vzorkováním obrazu do matice $M \times N$ bodů a kvantováním do K úrovní. Čím větší je matice bodů $M \times N$, tím jemnější vzorkování bude a tím lépe bude původní obrazový signál aproximovatelný. Dále je nutné určit vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze, tedy interval vzorkování. I u vzorkování obrazu je nutné dodržet vzorkovací teorém, tedy že vzorkovací interval musí být minimálně dvakrát menší, než nejmenší detail obrazu. Nejmenší obrazovým bodem je pixel. Rozlišení obrazu je pak uváděno v DPI (*dots per inch*), tedy v bodech/palec. Jeden palec je 2,54 cm. Pokud by bylo rozlišení příliš malé, docházelo by ke ztrátě informace. Při vysokém rozlišení by naopak stoupala výpočetní náročnost.

Vzorkování spočívá v uspořádání bodů do rastru, tedy ve volbě vzorkovací mřížky. Nejčastěji používané jsou mřížka čtvercová a hexagonální. Digitalizaci amplitudy u obrazu

chápeme jako kvantování spojitě jasové úrovně každého vzorku do několika úrovní. Čím větší počet kvantovacích úrovní zvolíme, tím lépe je možné původní signál rekonstruovat. U kvantování je třeba dát pozor na vznik falešných obrysů u obrazu. Tento jev vzniká, pokud máme nedostatečný počet jasových úrovní, konkrétně méně, než 50, neboť člověk v černobílém obraze rozliší právě 50 jasových úrovní. Počet úrovní nám udává počet barev, které může jeden pixel nabývat podle vztahu:

$$l = 2^{bit} \quad (5.1)$$

kde l je počet kvantovacích úrovní a bit je počet bitů na jeden obrazový element. Tento počet bitů je označován jako bitová, nebo barevná hloubka. Pokud je barevná hloubka například 24, pak: $2^{24}=16,7$ milionů barev. Výsledný obraz může být binární (černo-bílý), monochromatický (ve stupních šedi), nebo barevný. Výsledné barvy obrazu vznikají kombinací několika základních barev. Základní barvy a pravidla pro jejich míchání popisují barevné modely. Mezi dva základní barevné modely řadíme:

- Model RGB: používaný v zobrazovacích zařízeních (monitor), základními barvami jsou červená, zelená a modrá. Model je aditivní, tedy pro černou jsou všechny barevné složky na hodnotě 0. Barvy se přidávají zvyšováním hodnoty, pokud je pro všechny tři složky hodnota rovna jedné, vzniká barva bílá. Pokud jsou jednotlivé hodnoty barev stejné, jedná se o odstín šedi.
- CMY(K): používaný v reprodukčních zařízeních (tiskárna), které zobrazují barvy na papír. Základní barvy jsou azurová (C), purpurová (M), žlutá (Y) a černá (K). Model je substraktivní, tedy princip míchání je opačný, než u RGB. Barvy se odečítají od původní bílé. Bílá barva je v případě, kdy jsou všechny hodnoty základních barev nulové, černá barva naopak při jednotkových hodnotách.

Více informací k nalezení v [10] a [13].

5.1.2 Předzpracování obrazu

Obraz získaný snímáním nemusí být vždy ideální. Může obsahovat různá zkreslení způsobená nevhodnými podmínkami při snímání či způsobem snímání. Pokud známe charakter zkreslení, můžeme použít některou z metod předzpracování obrazu pro odstranění zkreslení a šumu. Základní metody jsou následující:

- geometrická transformace
- jasová transformace
- filtrace šumu
- prahování

- metody matematické morfologie

Musíme dbát na správné a vhodné použití metod, neboť bývají často protichůdné. Při ostření obrazu dochází ke zvýraznění šumu, při odstraňování šumu vyhlazováním se naopak ztrácí důležité hrany objektů. Právě přesné a rychlé nalezení a detekování objektů je cílem předzpracování obrazu. Více informací v [12].

5.1.3 Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je stěžejní, ale také nejtěžší krok zpracování obrazu. Cílem segmentace je oddělit sledované objekty od zbytku obrazu, tedy od pozadí či dalších objektů, tak, aby mohly být dále zpracovány. Existuje několik metod, které je v tomto kroku vhodné použít, a to metody založené na tzv. prahování (*thresholding*) vycházející z histogramu, na analýze rozdílu či shodnosti pixelu a jeho okolí. [10], [12]

5.1.4 Popis objektů

Detekujeme-li objekty v předešlém kroku úspěšně, můžeme přejít k jejich popisu. Popis slouží jako vstupní informace pro jejich následnou klasifikaci, tedy to, jakým způsobem mají být objekty popsány závisí na způsobu jejich klasifikace. Existují dva typy popisů. Prvním je popis kvantitativní, u kterého jsou objekty popsány pomocí číselných charakteristik, jako jsou jejich velikost, či kompaktnost. Druhým typem je popis kvalitativní, který popisuje vztahy mezi objekty a jejich tvarové vlastnosti. [10]

5.1.5 Klasifikace

Klasifikace je zařazení detekovaných objektů na základě určitého rozhodovacího algoritmu do předem definovaných tříd a je tedy konečným krokem při zpracování obrazu. Způsoby klasifikace jsou spjaty s popisem objektů. Pro kvantitativní popis se jedná o příznakovou metodu, která využívá soubor číselných charakteristik objektu. Strukturální metoda klasifikace využívá kvalitativní popis objektů, rozpoznávání probíhá na základě definování abecedy a gramatiky tříd, kdy poté probíhá syntaktická analýza nadefinované gramatiky. Klasifikátorem může být rozhodovací strom, support vector machines či neuronová síť. [12]

5.2 Strojové vidění

V mnoha aplikacích je nutné napodobit a zautomatizovat lidské vidění. V této souvislosti můžeme rozlišit pojem počítačové vidění (*computer vision*) a strojové vidění (*machine vision*). Za počítačové vidění lze obecně označit systémy, které provádějí automatizovanou činnost na základě obrazu. Strojové vidění je využití počítačového vidění pro automatizaci a řízení výrobního procesu v průmyslu. Systém strojového vidění zahrnuje snímání

zařízení (kameru) s příslušenstvím, systém zpracování obrazu, jeho vizualizaci, přičemž je vše současně propojeno s řídicím systémem a senzory pro výrobní proces. Systémy pro zpracování obrazu z kamery jsou buď průmyslové Vision systémy, obyčejné PC využívající vhodné kamerové rozhraní (framegrabber), nebo inteligentní kamery (Smart kamery). [11]

5.3 Kamerové systémy

Kamera je zařízení ke snímání obrazu, může být analogová či digitální. Digitální kamery mají několik typů rozhraní, a to Camera Link, FireWire IEEE 1394a/b, Gigabit Ethernet (GigE), Paralel Digital, či USB. Kameru vybíráme vždy podle konkrétní aplikace, pro kterou má být použita, a to s ohledem na podmínky, ve kterých bude kamera umístěna, na kvalitě požadovaného obrazu, vlastnostech detekovaných objektů, či jiné požadavky.

Pro výběr vhodné kamery je nejprve nutné určit požadavky na rozlišení a velikost senzoru kamery pro danou aplikaci. V klasické fotografii se rozlišením rozumí minimální vzdálenost dvou bodů nebo čar v reálném světě tak, že je možné je v obraze identifikovat. U kamery je skutečné rozlišení dáno celkovým systémem, složeným z kamery, čočky a geometrie, tedy vzdálenosti mezi objektem a fotoaparátem. Někdy je jako rozlišení udávána hodnota např. 2 megapixely, což ovšem udává pouze počet pixelů na senzoru. Vyšší rozlišení ovšem ve skutečnosti vyžaduje větší počet pixelů. Počet pixelů tedy udává maximální možné rozlišení za optimálních podmínek. Kvalita výsledného obrazu ovšem nezáleží jen na počtu pixelů, ale také na velikosti pixelu.

6

Návrh a výběr metod pro měření ostřikovače světlometů

Samotné měření vzniklo ve spolupráci se společností Automotive Lighting, s.r.o. v Jihlavě, konkrétně s oddělením vývoje, které se zabývá vývojem světlometu jako celku, tedy od designových studií, výpočtů a simulací, kompletního vývoje elektroniky, až po výrobu zkušebních vzorků a uvolňovací procesy. Firma Automotive Lighting, s.r.o. sídlí v jihlavské průmyslové zóně Pávov a je jedním z největších světových výrobců světlometů. Původně byla firma součástí společnosti Bosch a s výrobou světlometů začala v roce 1997. Pobočka v České republice byla založena roku 1999, a to za spolupráce německé firmy Robert Bosch GmbH a italské společnosti Magneti Marelli z koncernu Fiat, která se také stala po roce 2003 jejím jediným vlastníkem. Mezi zákazníky společnosti Automotive Lighting patří světoznámé automobilky, například Mercedes, BMW, Audi, VW, Škoda, Mitsubishi, Honda, Nissan, Hyundai, Opel, Renault. Společnost vyrábí ovšem také světlometry pro trh náhradních dílů, a to v závodě ve Střítěži. [17]

Nejen samotné světlometry, ale i jejich čisticí systémy, jsou předmětem vývoje společnosti. Pro celkovou funkčnost systému je důležité, aby pro vyrobený světlomet byl vybrán vhodný typ ostřikovače tak, aby byly očištěny především povinné, případně i dobrovolné části svítících ploch světlometu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, ostřikovač světlometu se skládá z několika komponent. Plochu, kterou ostřikovač pokryje při ostřiku světlometu, ovlivňuje především provedení a vzdálenost samotné trysky od světlometu. Právě výsledný tvar plochy je pro správné čištění zásadní. Při návrhu čisticího systému pro různé typy světlometů je důležité dobře znát ostřikovou charakteristiku trysky.

6.1 Popis zadané úlohy

Cílem měření bylo zjistit, jaký tvar ostřikového kužele mají trysky různých typů a tvarů a jaké množství kapaliny je v různých místech vytvořeného obrazce během ostřiku. Samotné měření nemělo být realizováno přímo na světlometu, ale na rovinné ploše v laboratorních

podmínkách. To z toho důvodu, že výsledky mohou být pak za použití vhodného softwaru přepočítány pro jakýkoli tvar světlometu a reálné podmínky provozu. K měření byly předloženy oba konstrukční typy trysek, konkrétně dva druhy statických trysek a tři druhy trysek teleskopických. Pro trysku bylo definováno umístění vzhledem k rovinné ploše a doba jednoho ostříku. Bylo tedy nutné nalézt jak vhodnou metodu měření, tak navrhnout a zkonstruovat rovinnou plochu, na které měl být ostřík realizován.

6.2 Metody měření

Výběr vhodné metody měření byl úzce spjat s výslednou konstrukcí rovinné plochy, obě tyto skutečnosti se navzájem ovlivňovaly, proto bylo nutné řešit je současně. Vstupní informací pro první kroky postupu byla velikost rovinné plochy. Rovinná plocha musela pokrýt minimální velikost světlometu, její minimální rozměr byl tedy definován 300 mm x 300 mm. Pro měření množství a rozložení kapaliny bylo nutné, aby byla plocha tvořena dutinkami. Do těchto dutinek se voda při ostříku zachytí, aby mohlo být následně možné změřit a vyhodnotit její množství a rozložení. Pro přesnost měření byla tedy zásadní velikost jedné dutinky. Její maximální rozměr byl definován na 10 mm x 10 mm.

Od těchto vstupních informací se odvíjel postup při výběru vlastních metod pro měření a zároveň i samotné materiály a výsledný vzhled rovinné plochy. Jako ovlivňující faktory jsem při výběru metod vybírala následující: jednoduchost měření a vyhodnocování, rychlost měření a vyhodnocování, co nejjednodušší provedení konstrukce systému, jeho vyrobitelnost, výslednou cenu celého systému i případnou snadnou opakovatelnost měření. Dále jsem si kladla za cíl vybrat dvě odlišné metody, jak pro ověření jejich použití pro měření, tak pro výsledné porovnání, co se týče správnosti a přesnosti výsledků. Právě pro použití dvou odlišných metod bylo nutné brát ohled na konstrukci rovinné plochy.

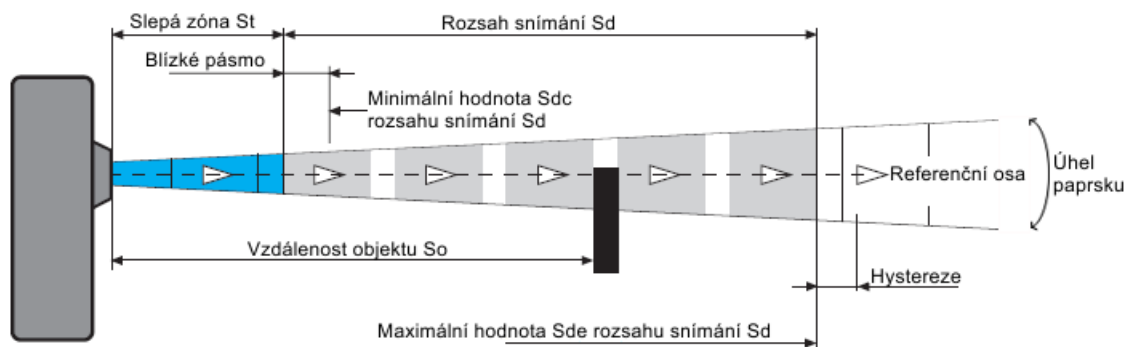
Pro zjišťování množství kapaliny se nabízí metody pro měření hladiny. Tyto metody jsou popsány v kapitole 4, na kterou se dále budu odkazovat. Cílem měření není hladinu signalizovat či pouze detekovat v určitém místě, ale spojitě měřit. Proto připadají v úvahu senzory pro měření hladiny pro spojitě měření.

Při výběru vhodného hladinoměru byla největším omezením především konstrukce samotné rovinné plochy. Plocha je matice dutin, kdy každá dutina má velmi malý rozměr. Proto lze ihned vyloučit možné použití plovákových i elektromechanických hladinoměrů. Dalším omezením je především množství samotné kapaliny. Jeden ostřík vytvoří na ploše jen malý poprašek kapaliny. I v případě cyklicky opakovaného ostříku vznikne vodní sloupec, který je v podstatě nedetekovatelný tlakovými či vážními systémy. I elektrické senzory jsou z mnoha hledisek pro měření nevhodné. Odporové pásky mají tzv. spínací hloubku, od které spirálový vodič teprve zkratuje část odporové dráhy, tato hloubka je u vody až 100 mm. Navíc dosažitelná přesnost měření bývá až 1 cm, což je pro ostřík nedostačující. Zbylé senzory jsou pro použití nevhodné ať už z hlediska zásahu do konstrukce, který by vedl k navýšení složitosti a tím i ceny, tak z hlediska detekovatelnosti množství kapaliny

či přesnosti měření. Nevhodné a nákladné je také množství senzorů. Z rozměrů rovinné plochy a jedné dutinky je patrné, že se plocha skládá z 900 dutin, není tedy únosné, aby byl v každé z nich umístěn snímač. Ideální by tedy bylo použít bezkontaktní měření hladiny, nejlépe s jedním senzorem, který by se po souřadnicích plochy přesouval. Pro svou aplikaci jsem zvolila ultrazvukový senzor. Problémem ovšem bylo, že drtivá většina hladinměřů je konstruována pro větší a objemnější nádrže, nikoli pro malé prostory, jakým je dutinka rovinné plochy pro toto měření.

6.2.1 Ultrazvukový senzor

Pro výběr vhodného ultrazvukového senzoru bylo nutné zaměřit se na jeho základní vlastnosti, které jsou znázorněny na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Parametry ultrazvukového senzoru [9]

Slepá zóna St je oblast mezi čelní plochou senzoru a začátkem snímacího rozsahu. Vzniká jako důsledek doby doznívání ultrazvukového převodníku. V této oblasti dochází k doznívání membrány měniče, senzor tedy ještě není přepnut do přijímacího režimu, a proto nemohou být objekty v této oblasti detekovány. Slepou zónu lze odstranit v případě oddělení vysílače a přijímače senzoru, což však znamená zesložnění jeho konstrukce.

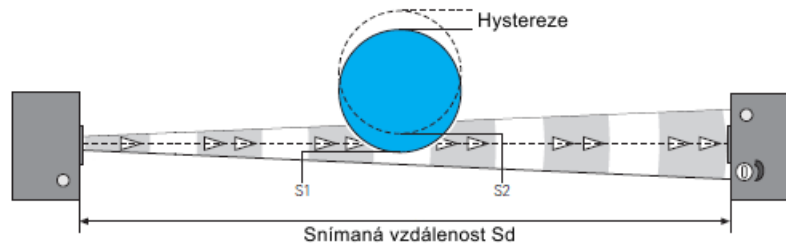
Vzdálenost objektu So je definována jako vzdálenost mezi čelní plochou senzoru a samotným objektem.

Rozsah snímání Sd je oblast, ve které je objekt detekován až do maximální vzdálenosti Sde . Tato maximální vzdálenost je uživatelem nastavována. Stejně tak je tomu u minimální hodnoty Sdc rozsahu snímání.

Blízké pásmo je oblast, která je součástí snímané vzdálenosti, ještě pod minimální hodnotou rozsahu snímání. Pokud se detekovaný objekt nachází v blízkém pásmu u senzorů využívaných v reflexním módu, měl by mít tento objekt definovaný minimální průměr určený typem senzoru, aby jím byl pokryt celý ultrazvukový kužel a nedocházelo k odrazu na reflektoru za objektem.

Hystereze je hodnota v axiálním směru, o kterou je snímaná vzdálenost Sd rozšířena po detekování objektu při jednosměrném módu senzoru. Reprezentuje vzdálenost mezi

pracovním bodem S1 a bodem uvolnění S2, jak je znázorněno na obr. 6.2. Pracovní bod reprezentuje pozici objektu, při které objekt přerušuje ultrazvukový paprsek. Aby byl výstupní signál vynulován, musí se úroveň signálu zvýšit o 75 %. Bod uvolnění je pozice objektu, ve které již daný objekt detekován není. Tímto způsobem mohou být tedy detekovány objekty, které za sebou následují v rychlém sledu.



Obr. 6.2: Hystereze senzoru v jednosměrném módu [9]

U senzorů je dále uveden čas, který je nutný pro zajištění výstupního signálu senzoru po připojení napájení, dále také doba odezvy a doba uvolnění (zotavení). Doba odezvy je čas mezi okamžikem zachycení objektu, který se tedy nachází v rozsahu snímání senzoru, a změnou výstupu. Doba uvolnění je čas mezi tím, kdy objekt opustí rozsah snímání senzoru a následnou změnou výstupu. [8]

Je třeba uvést ještě další vlastnosti senzoru, které je třeba brát v úvahu, neboť mohou ovlivnit výsledky měření. Přesnost opakování senzoru udává rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními, která jsou uskutečněna za stejných podmínek pro normovaný objekt. Senzor bývá odolný proti vnějšímu hluku, nicméně stlačený vzduch může narušovat jeho správnou funkci stejně tak, jako proud vzduchu přesahující rychlost 10 m/s. Bezchybnou detekci může tedy také ovlivnit tepelné záření horkých objektů, které může vytvářet silnou turbulenci vzduchu. Navíc je třeba brát v úvahu teplotní závislost rychlosti zvuku. Odchylka může být až 0,18 %/K. V samotném snímači ovšem bývají integrovány teplotní kompenzace. Na rozsah snímání vzdálenosti může mít také vliv přímá vlhkost či nečistoty.

Velmi důležitým parametrem pro výběr konkrétního senzoru byl také úhel paprsku, který představuje hranici vyzařovaného ultrazvukového kužele. Drtivá většina hladinoměřů je aplikována ve větších nádržích, bylo tedy nutné nalézt ultrazvukový senzor, který splňuje požadavky na miniaturní aplikaci, jakou je detekce výšky hladiny v dutince o velikosti 100 mm². [8], [9]

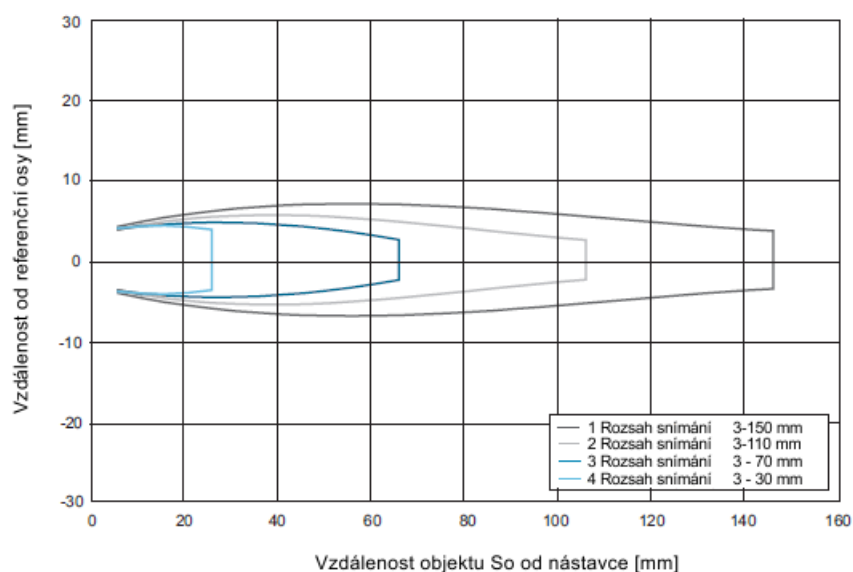
Pro měření jsem zvolila ultrazvukový senzor od společnosti Baumer Group, konkrétně senzor pro měření vzdálenosti UNCK 09. Tento senzor je vhodný pro měření ve velmi malých prostorech. V tab. 6.1 jsou uvedeny jeho základní parametry.

Senzor UNCK 09 je napájen stejnosměrným napětím o velikosti 15 až 30 V, má analogový napěťový výstup v rozsahu 0 až 10 V. Výstupní proud senzoru je menší než 15 mA, má ochranu proti zkratu i změně polarity napájení. Stupeň krytí senzoru je IP67. Na obr. 6.3 je znázorněna vyzařovací charakteristika senzoru, a to pro různé rozsahy snímání.

Název parametru	Hodnota	Jednotky
Snímaná vzdálenost S_d	3 až 150	mm
Max hodnota S_{de} snímané vzdálenosti	3 až 150	mm
Min hodnota S_{dc} snímané vzdálenosti	3 až 150	mm
Přesnost opakování	< 0.5	mm
Rozlišovací schopnost	< 0.3	mm
Napájecí napětí	15 - 30	V
Frekvence zvuku	380	kHz
Doba odezvy	< 35	ms
Doba uvolnění	< 35	ms

Tab. 6.1: Základní parametry ultrazvukového senzoru UNCK 09 [9]

Z toho je patrné, že díky nastavci, který je součástí senzoru, je možné snímat hladinu i v tak malém prostoru, jako je centimetrová dutinka rovinné plochy pro zachycení kapaliny.



Obr. 6.3: Typický profil ultrazvukového paprsku [9]

Pro správné měření se senzorem je nutné nastavit jeho výstupní signál tak, aby odpovídal požadovanému rozsahu snímání. Nastavení lze provést dle druhu senzoru potenciometrem, tlačítkem Teach-in, či externím Teach-in vstupem. Senzor UNCK 09 se nastavuje právě pomocí funkce Teach-in, jak externí, tak tlačítkem. Na senzoru jsou také umístěny LED, které indikují jak správnou činnost, tak různé možnosti nastavování rozsahu snímání. Další parametry senzoru jsou uvedeny v katalogu viz [9].

6.2.2 Kamerový systém

Jako druhou metodu pro měření ostřikovacích charakteristik trysek jsem zvolila použití kamerového systému, tedy cestu analýzy a zpracování obrazu. Kamerové systémy se používají také jako hladinoměry, například při snímání hladiny tekutého železa při automatickém odlévání, kdy kamera snímá hladinu v hrdle odlévací formy tak, jak je popsáno v [3]. Nicméně pro měření ostřikovacích charakteristik měla mít kamera odlišný způsob využití. Kameru jsem zvolila jak pro snímání množství kapaliny, tak i pro snímání jejího rozložení, a to obou dvou veličin zároveň. Vše je založeno na principu obarvení kapaliny pro ostřikovač. Čím větší množství obarvené kapaliny v dutince rovinné plochy bude, tím tmavší odstín bude kapalina mít. Celý snímek se vyhodnotí softwarem pro zpracování obrazu. Z jednoho snímku bude tedy patrné jak prostorové rozložení, tak množství kapaliny v každé dutince rovinné plochy.

Celková realizace měření tímto způsobem tedy zahrnuje výběr vhodné kamery, její optiky, podsvícení a softwaru pro zpracování obrazu. Vybrána byla kamera od společnosti Basler, typ acA2500-14um. V tabulce 6.2 je uveden přehled základních parametrů této kamery.

Název parametru	Hodnota
Rozlišení	2592 x 1944 px
Velikost pixelu	2.2 x 2.2 μm
Velikost senzoru	5.70 x 4.28 mm
Bitová hloubka	12 bitů
Snímková frekvence	14 fps
Rozhraní	USB 3.0

Tab. 6.2: Základní parametry kamery acA2500-14um [14]

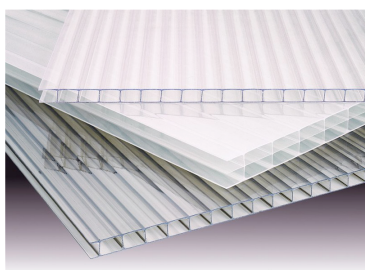
Pro kameru byl zvolen objektiv M3514-MP s megapixelovým rozlišením od společnosti Computar. Jeho ohnisková vzdálenost je 35 mm a minimální vzdálenost od objektu 300 mm. Dále bylo nutné vybrat vhodné podsvícení, a to s co možná největší osvětlenou plochou. Větší podsvícení jsou vyráběna pouze na zakázku, bylo tedy vybráno a zapůjčeno největší dostupné podsvícení s osvětlenou plochou 280 x 280 mm a bílou barvou LED.

6.2.3 Rovinná plocha pro zachycení kapaliny

Stěžejním bodem celého měření bylo sestavit rovinnou plochu, do které bude kapalina při ostřiku zachytávána. Konstrukce musela být vhodně vybrána s ohledem na obě metody měření, tedy s průhledným dnem pro podsvícení při snímání kamerou, tak s ohledem na cenu a samotnou vyrobiteľnost. Dále bylo nutné dodržet, aby mezi jednotlivými dutinkami nebylo příliš materiálu, aby bylo zachyceno co nejvíce vody a neutrpěla přesnost měření. Dalším kritériem byl rozměr jedné dutinky. Pro kameru by bylo vhodné použít

co nejmenší, naopak pro ultrazvukový senzor je s ohledem na vyzařovací charakteristiku minimum 100 mm^2 .

Prvním návrhem bylo vyvrtat potřebné dutiny do vhodného materiálu, to se však potýkalo s konstrukční a cenovou náročností a naráželo na podmínku průhledného dna. Dalším návrhem bylo použít komůrkové polykarbonátové desky, viz obr. 6.4 (a). Ty nabízejí různé tvary a velikosti průřezů, mají tenké okraje, jsou průhledné a cenově dostupné. Nicméně i tento návrh narazil na problém s konstrukcí, konkrétně s realizací dna pro celou plochu těchto dutin. Tento návrh však vedl ke konečnému řešení, a to použít jednoduché kyvety, která má požadovanou velikost, průhlednost, cenovou dostupnost i dno, viz obr. 6.4 (b).



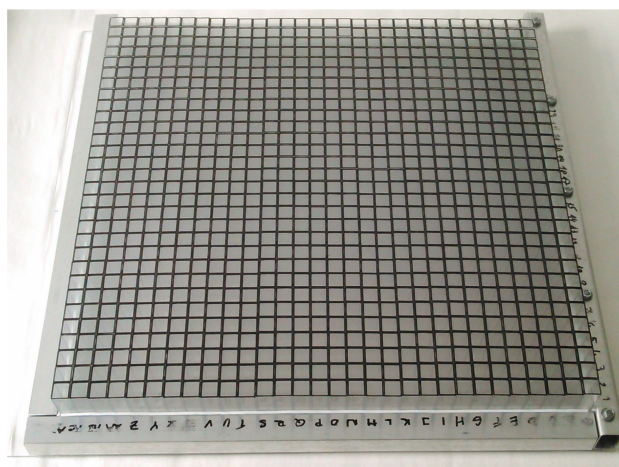
(a) Polykarbonát [21]



(b) Kyveta [22]

Obr. 6.4: Materiály pro vytvoření rovinné plochy k zachycení kapaliny

Výsledná rovinná plocha, dále jen plástev, byla tedy vytvořena z 900 ks kyvet zasazených v rámu na průhledném plexiskle, jak je vidět na obr. 6.5. Celá plocha plástve pro zachycení vody, bez ohledu na hrany zkumavek, má rozměr $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, celkový rozměr plástve s respektováním hran zkumavek je $377 \text{ mm} \times 377 \text{ mm}$. Použité kyvety navíc nejsou usazeny trvale, nýbrž je lze vyjmout a přeskládat, což umožňuje pozdější případné úpravy plástve k uzpůsobení dané metodě měření.



Obr. 6.5: Rovinná plocha (plástev) k zachycení kapaliny

7

Praktická realizace systému pro měření množství a rozložení kapaliny při ostříku světloometu

Měření bylo prováděno v laboratorních podmínkách, a to pro dva typy trysek. Byly měřeny charakteristiky dvou druhů statických trysek, které budou dále označeny jako **Statická tryska 1** a **2**. Od každé statické trysky byly k dispozici tři vzorky, aby bylo možné vytvořit částečnou statistiku a ověřit, že je charakteristika shodná pro všechny vzorky trysky jednoho typu v celé vyrobené sérii. Tyto výrobní vzorky jsou označeny písmeny **A, B, C**. Dále byly změřeny tři typy trysek teleskopických, které jsou označeny jako **Teleskopická tryska 1, 2** a **3**. Ostříkovač se skládá vždy ze dvou držáků trysek pro pravý a levý světlomet. V případě provedení statického ostříkovače má použitý držák dva otvory pro dvě trysky. Pro potřeby měření byl jeden otvor zaslepen a byla měřena vždy jen jedna tryska. U teleskopického ostříkovače byla použita jedna či dvě trysky, s ohledem na konstrukci a konkrétní provedení daného typu ostříkovače. Pro názornost jsou výše popsané části popsány a znázorněny na obr. 7.1.



Obr. 7.1: Popis částí měřené trysky

7.1 Realizace měření

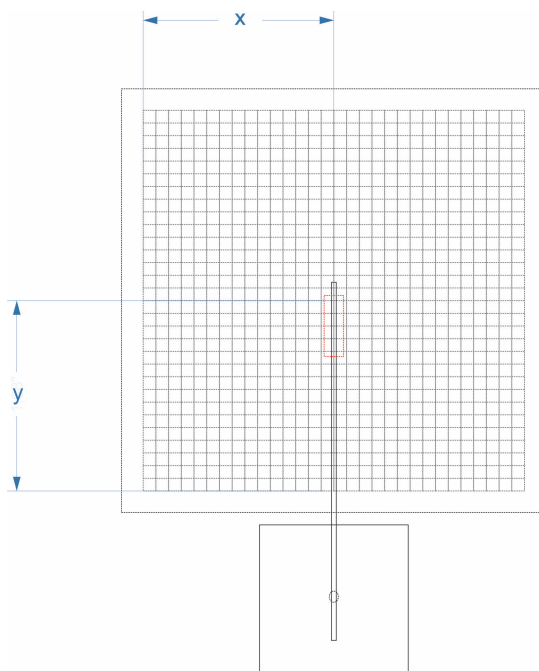
Před samotným měřením bylo nutné upravit povrch kyvet, které tvoří plástev. Polystyren, ze kterého jsou vyrobeny, má velmi nesmáčivý povrch, což způsobuje, že při ostřiku na stěnách kyvet zůstávají kapičky, které nestékají na dno, což může významně ovlivnit výsledek měření. Bylo tedy nutné každou dutinku vymazat olejem. Díky této úpravě stečou všechny kapky dolů a vytvářejí tak společně výslednou hladinu.

Další úpravou bylo zvýraznění hran dutin, jak je vidět ze snímku plástve na obr. 6.5. Tato úprava byla provedena pro výrazné zjednodušení vyhodnocování pomocí softwaru NI Vision Builder. Každá dutinka může být tak snáze detekována pro další vyhodnocení.

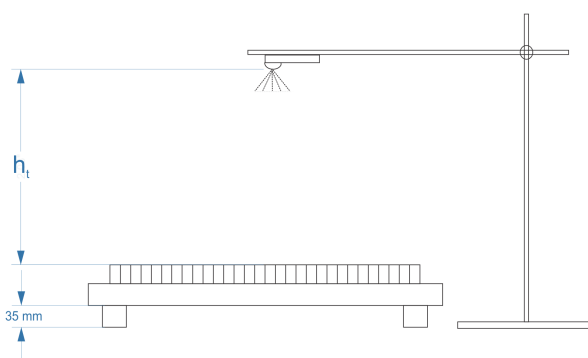
Plástev byla umístěna na rovné ploše podepřena čtyřmi podstavci tak, aby pod ni bylo možné umístit podsvícení. Každá tryska ostřikovače byla umístěna kolmo nad pláství v definované poloze, tedy výšce h_t , vzdálenosti od spodního okraje plástve y a stran plástve x . Držák trysky byl umístěn ve speciální výlisku pro zajištění stálé pozice celé trysky, který byl ukotven v držáku. Trysky byly také natočeny do požadovaného úhlu. Kamera pro snímání výsledného obrazu byla umístěna ve výšce 3000 mm. Schéma je znázorněno na obr. 7.2. Pro ostřik byla použita voda, která byla nejprve obarvena modrou barvou pro zvýšení kontrastu a poté nalita do nádrže ostřikovače. Jako barvivo byly použity modré tablety do koupele.

Nejprve jsem na plástvi vytvořila „barevnou škálu“ jako referenční zdroj hodnot. Tvoří ji čtyři dutinky, kterým odpovídá naplnění kapalinou ze 100 %, 75 %, 50 % a 25 %, tedy hladina o výšce 43 mm, 32,25 mm, 21,5 mm a 10,75 mm. Tyto hodnoty byly naměřeny přesným elektronickým digitálním posuvným měřidlem tak, že byla kapalina naplněna po odměřené rysku. Dále byla plástev podsvícena a kamerou nasnímána prázdná. Poté bylo aplikováno několik cyklů ostřikovače, aby byla v jednotlivých dutinkách dostatečně vysoká hladina vody, tím pádem tmavší odstín modré barvy. Jeden cyklus ostřiku trvá přibližně 0,8 až 1,2 s. Doba jednoho cyklu byla tedy definována jako 1 s. Přesný čas jednoho cyklu byl zajištěn elektronickým spínáním MOSFET tranzistoru, který byl řízen pomocí Discovery kitu s mikrokontrolérem STM32F407. Takto naplněná plástev byla opět podsvícena a nasnímána kamerou. Dále byl nad plástev umístěn ultrazvukový senzor, který byl uchycen ve speciálně zhotovené konstrukci. Tím byla zajištěna možnost posuvu senzoru nad každou dutinku, kde byla měřena hladina, jak je vidět na obr. 7.3. Výstupní signál senzoru byl uzpůsoben měřené hladině pomocí tlačítka Teach-in, kdy byla nastavena minimální hodnota S_{dc} rozsahu snímání jako 0 V, což odpovídá maximální hladině, tedy 43 mm. Maximální hodnota S_{de} rozsahu snímání byla nastavena jako 10 V, což odpovídá prázdné dutince, tedy 0 mm. Výsledné napětí úměrné hladině bylo zaznamenáváno do MS Excelu.

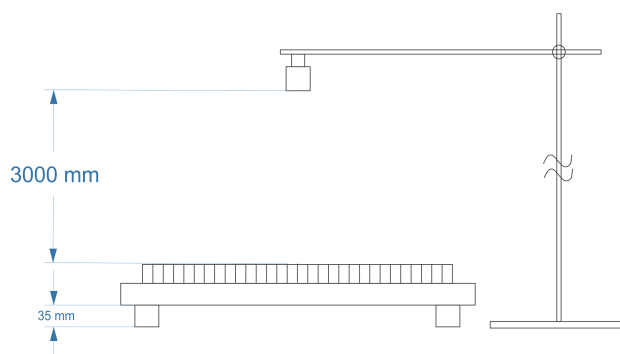
Po každém jednotlivém měření dané trysky byla kapalina z plástve vylita, prázdná plástev byla opět nasnímána kamerou a celý postup byl opakován. Prázdná plástev sloužící pro kalibraci byla vždy nasnímána pro každou trysku znovu před každým měřením, aby byly eliminovány měnící se světelné podmínky během měření.



(a) Pozice trysky vzhledem k plástvi

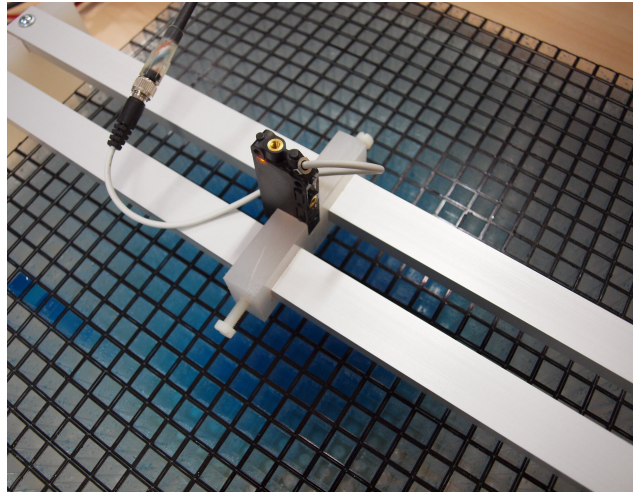


(b) Schéma měření: umístění trysky vzhledem k plástvi



(c) Schéma měření: umístění kamery vzhledem k plástvi

Obr. 7.2: Schéma měření



Obr. 7.3: Měření pomocí ultrazvukového senzoru

7.2 Zpracování výsledků

Ultrazvukový senzor má, jak již bylo napsáno výše, analogový výstup. Výstupní napětí bylo tedy při měření zapisováno do tabulky, kde každá buňka tabulky odpovídá dutince plástve. Maximální napětí, tedy 10 V, odpovídá prázdné dutince, naopak minimální hodnota napětí 0 V odpovídá dutince zcela zaplněné. Nejprve byl tedy vytvořen doplněk tak, aby maximální hodnota odpovídala plné dutince a minimální hodnota dutince prázdné. Na základě lineární závislosti a znalosti maximální a minimální hodnoty lze celou tabulku naměřených napětí přepočítat na výšku hladiny dle následujícího vzorce:

$$H = \frac{H_{MAX}(10 - U_{OUT})}{U_{MAX}} \quad [mm] \quad (7.1)$$

$$H = \frac{43(10 - U_{OUT})}{10} \quad [mm] \quad (7.2)$$

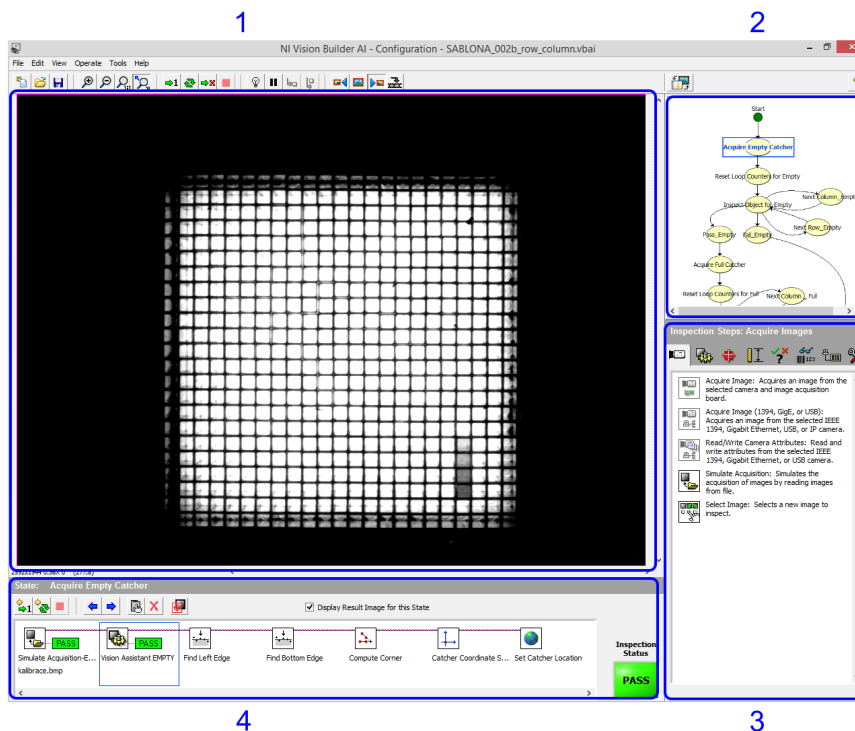
kde $H [mm]$ je výsledná výška hladiny v dutince, $H_{MAX} [mm]$ je maximální možná výška hladiny v milimetrech, $U_{OUT} [V]$ je výstupní napětí senzoru, tedy naměřená hodnota, a $U_{MAX} [V]$ je maximální možné výstupní napětí senzoru pro plnou dutinku. Závorka v čitateli $(10 - U_{OUT})$ je již výše zmíněný doplněk.

Z vypočtených hodnot byly vytvořeny 2D a 3D grafy, které odpovídají charakteristice trysky. Pro vytvoření grafů byl použit doplněk MS Excel, a to prostředí DPlot. Všechny výsledné tabulky a grafy pro každou trysku jsou k nahlednutí v příloze A.

Pro zpracování obrazu z kamery jsem zvolila prostředí Ni Vision Builder for Automated Inspection. Tento software se používá v mnoha aplikacích strojového vidění ke zpracování obrazu. Zde je možné vytvořit inspekci, tedy analýzu obrazu, ze které je možné získat požadovanou informaci o snímku. Pro konfiguraci a nasazení kamerového testu není třeba programování. Software je možné spustit jak na osobním PC, tak na real-time systémech, což může být Smart Camera nebo Vision Systems od NI. Slouží ke kompletnímu zpracování obrazu, což zahrnuje již snímání a získání obrazu či kamerové sekvence z různých

typů zařízení, nasazení kamerového testu, vytvoření stavového diagramu inspekce s větvením a rozhodováním na základě definovaných podmínek, nastavení rozhodovacích kritérií a limitů pro každý krok inspekce či celý systém, nastavení požadavků pro vyhodnocení testu, konfigurace systému na základě výsledků testu, které mohou být posílány k externím zařízením přes digitální I/O, sériový port či ethernet a mnoho dalšího. Mezi typické funkce zpracování obrazu patří detekce hran a tvaru, čtení písmen a znaků, hledání a porovnání vzorů, měření rozměrů a vzdáleností, kontrola barev, čtení čárových kódů apod. [15]. Problematice zpracování obrazu se věnuje kapitola 5.

Samotné rozhraní programu se skládá ze čtyř částí, a to z hlavního okna, přehledového okna, palety inspekčních kroků a okna stavové konfigurace. Tyto části jsou zobrazeny na obr. 7.4. V hlavním okně (č. 1) je zobrazována informace, se kterou aktuálně pracujeme. Takovou informací může být zpracovávaný obraz, nastavení vlastností kroku inspekce či stavový diagram. Přehledové okno (č. 2) zobrazuje náhled informace, se kterou se aktuálně nepracuje, tou může být zpracovávaný obraz či stavový diagram. Paleta inspekčních kroků (č. 3) obsahuje veškerou nabídku kroků s krátkým popisem, které mohou být použity pro vytvoření inspekce. V okně stavové konfigurace (č. 4) jsou zobrazeny všechny použité inspekční kroky pro vybraný stav ve stavovém diagramu. [15]



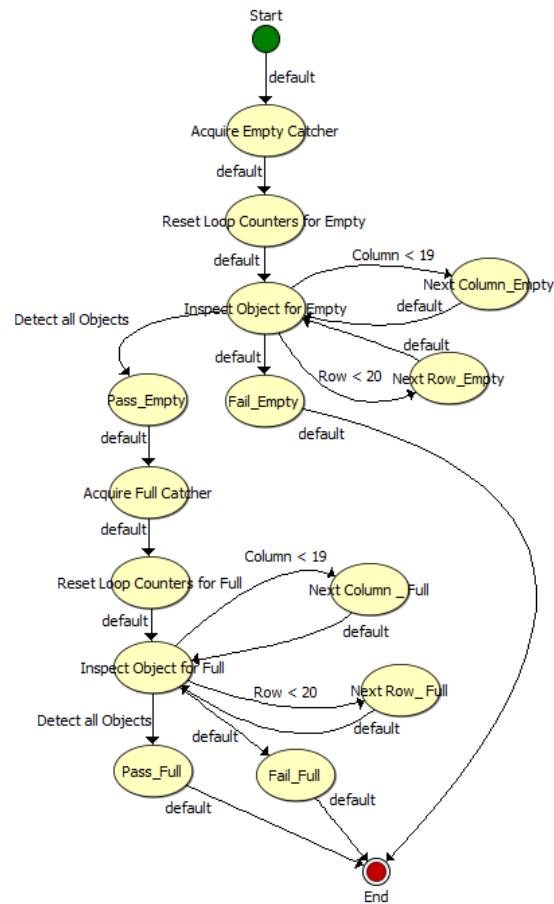
Obr. 7.4: Popis rozhraní programu NI Vision Builder AI

Co se týče samotné palety inspekčních kroků, sestává se z několika hlavních kategorií, a to z nástrojů pro získání obrazu, úpravy obrazu, lokalizaci vlastností obrazu, měření vlastností obrazu, kontrola na přítomnost, rozpoznání částí, možnosti komunikace a použití dodatečných nástrojů.

Postup při zpracování nasnímaných obrazů byl následující. V prvním kroku načíst zachycené snímky, a to jak plástve kalibrační, tedy prázdné, tak plástve naplněné. Poté případně provést úpravu snímku tak, aby byly zvýrazněny důležité informace a naopak odstraněny šумы. Dále detekovat všechny dutiny, odečíst v nich intenzitu a tuto informaci dále zpracovat. Snímek prázdné kalibrační plástve je v programu pojmenován jako *Empty Catcher*, obrázek plástve naplněné kapalinou po ostříku je označen jako *Full Catcher*. Jednotlivé stavy, které se vztahují k úpravě daného snímku, mají vždy v názvu uvedenou také příslušnost k jednotlivému snímku. Použité nástroje a inspekční kroky ponechávám v originálním znění tak, jak jsou pojmenovány v samotném prostředí NI Vision Builder.

Původně jsem chtěla pro detekci dutin použít nástroj *Detect Objects*, který se nachází v paletě nástrojů pro lokalizaci vlastností obrazu. Tento nástroj vyhledá objekty na základě stejné intenzity pixelů. Co se týče prázdných dutin, jsou detekovány bezchybně, ovšem problém nastává jak u referenční barevné škály, tak u naplněné plástve. Vzhledem k tomu, že každá buňka má jinou intenzitu, je velmi problematické nastavit treshold, tedy rozhodovací úroveň tak, aby byla bezchybně detekována každá buňka. Tedy jak ta nejsvětější, tak ta nejtmavší. Navíc pro každý snímek jsou hodnoty intenzity v dutinkách odlišné, což by znamenalo nastavit treshold pro každý snímek zvlášť. Dalším problémem bylo pořadí detekovaných objektů. Krajiní dutinky mají vlivem podsvícení velmi rozdílnou intenzitu a nebyly detekovány ve stejném pořadí v prázdné a plné plástvi, což velmi ztěžovalo další zpracování dat. Zvolila jsem tedy následující postup. Na obr. 7.5 je znázorněn stavový diagram inspekce, který jsem pro měření vytvořila. Jeho vrchní část odpovídá zpracování snímku prázdné plástve, spodní část diagramu se týká plástve plné.

V prvním kroku stavového diagramu bylo nutné získat obraz načíst a upravit, provést tedy předzpracování obrazu. K tomu jsem využila *Vision Assistant*, což je nástroj nacházející se v paletě pro úpravu obrazu. Pomocí tohoto nástroje jsem snímek mírně pootočila do roviny a upravila jas tak, aby byly eliminovány nechtěné defekty snímku a naopak zvýrazněny důležité informace. Bylo nutné brát ohled na to, aby byla zachována informace o intenzitě, tedy aby nebyl snímek příliš zesvětlen. Použila jsem tedy dvě transformace předzpracování obrazu, zmíněné v kapitole 5. Dále jsem z palety pro lokalizaci vlastností objektu použila nástroj *Find Edges*, který vyhledá a spočítá hraniční body podél rovné čáry na základě ostrého přechodu intenzit pixelů. Tímto nástrojem jsem detekovala levou stranu a dolní okraj plástve. Dále jsem využila v paletě pro měření nástroj *Geometry*, který dokáže vypočítat geometrické vlastnosti. Pomocí něho jsem zjistila hodnotu průniku dvou nalezených hran z předešlého kroku. Právě do tohoto průniku, kterým je levý spodní roh plástve, jsem umístila systém souřadnic. Tedy nástroj *Set Coordinate System*. Díky umístění systému souřadnic je možné použít další kroky pro zpracování obrazu pro různě pootočené snímky plástve. Posledním krokem v prvním inspekčním stavu bylo nastavení proměnných, tedy x a y souřadnic vypočteného spodního levého rohu plástve, nastavení čítače sloupců a řádků a počtu dutin. Celý postup prvního kroku stavového diagramu je vidět v okně stavové konfigurace z obr. 7.4.



Obr. 7.5: Stavový diagram celé inspekce

Druhý inspekční stav slouží k vyresetování proměnných, samozřejmě vyjma souřadnic průniku. Třetí inspekční stav, nazvaný *Inspect Object for Empty/Full Catcher*, obsahuje celý výpočet. Nejprve je nutné nastavit oblast zájmu, dále jen ROI (*Region of Interest*), ve které bude počítána intenzita. Protože nástroj *Detect Object* nebyl pro identifikaci všech dutin vhodný, stejně tak jako kterýkoli jiný nástroj, který by dutinu detekoval na základě intenzity jednotlivých pixelů, bylo nutné nastavit ROI výpočtem. K tomu slouží první krok třetího stavu inspekce, a to pomocí nástroje *Calculator*, který je součástí palety dodatečných nástrojů. Pomocí tohoto nástroje jsou vypočítány souřadnice horního levého a spodního pravého bodu ROI. Vzhledem k tomu, že bylo nutné s pláští před každým měřením manipulovat, nejsou její snímky totožné, především se mění pozice podsvícení. Je tedy nutné ručně doplnit hodnoty do kalkulátoru pro každý snímek. Ruční zadání by tedy v případě totožného umístění pláště nebylo nutné a celý vyhodnocovací proces by mohl být automatizován pro všechny snímky. V dalším kroku je použit nástroj pro vytvoření ROI, v jehož nastavení jsou použity souřadnice vypočítané v kalkulátoru. ROI se tedy nachází v první dutince. Je tedy možné nastavit měření intenzity. V nastavení samotného nástroje *Measure Intensity* je vybrána možnost měřit intenzitu právě v ROI, tedy ne v celém obrazu. Nástrojem lze měřit jak minimální či maximální hodnotu,

tak i intenzitu průměrnou, která bude ve výpočtech následně použita. Ihned v dalším kroku bylo nutné naměřenou hodnotu intenzity uložit. V paletě dodatečných nástrojů jsem využila možnost uložení dat ve formátu .csv. Pro přehlednost je vypočítaná hodnota průměrné intenzity také zobrazena přímo v příslušné dutince prostřednictvím nástroje *Custom Overlay*. Posledním krokem tohoto inspekčního stavu je opět použití kalkulátoru, tentokrát pro výpočet hodnoty čítače počtu dutin.

Celý třetí inspekční stav provádí výpočet vždy pro danou dutinku, je tedy nutné zařídit výpočet i pro dutinky zbylé. K tomu slouží smyčky inspekčních stavů *Next Column* a *Next Row*. V těchto stavech dochází k navýšení hodnoty příslušné proměnné pro sloupec či řádek na základě vhodné podmínky. Ve výsledku jsou nejprve změřeny dutinky jdoucí za sebou v jednom řádku, poté v řádku následujícím. Tedy v přesném pořadí pro všechny snímky. Takto je změřena intenzita ve všech dutinkách v celé plástvi, a to nejprve pro snímek prázdné kalibrační plástve, poté stejným způsobem pro snímek plástve naplněné. V celém inspekčním diagramu jsou také ošetřeny stavy, ve kterých by došlo k chybě a nebyla by například správně odečtena hodnota intenzity v některé dutince. V takovém případě je inspekce ihned ukončena a přejde do stavu FAIL.

Další zpracování dat bylo prováděno v MS Excel, aby bylo možné pro vykreslení grafu opět použít prostředí DPlot. Jelikož největší číslo odpovídá nejmenší intenzitě, bylo nutné vypočítat doplněk stejně tak, jak tomu bylo u vyhodnocení dat pro měření senzorem. Tedy otočit hodnoty, aby největší číslo odpovídalo maximální intenzitě. Dále byly od hodnot intenzit v plné plástvi odečteny hodnoty intenzit odpovídajících dutin v prázdné plástvi. Tím bylo zařízeno, že prázdná dutinka má hodnotu intenzity 0, plná dutinka intenzitu odpovídající zcela naplněné dutince v referenční barevné škále daného snímku. Ze znalosti těchto hodnot mohla být vypočítána výška hladiny dle obdobného vzorce, jako pro měření senzoru v 7.1, hodnotám napětí v případě použití kamery odpovídají hodnoty intenzity, doplněk je vytvořen z maximální možné hodnoty intenzity, tedy z čísla 255.

Pro každou trysku ostříkovače byl zvolen vhodný počet cyklů tak, aby byl vytvořený obrazec co nejlépe nasnímatelný kamerou. Výslednou tabulku hodnot dané trysky je tedy nutné podělit příslušným počtem ostříků pro získání výšky hladiny při jednom cyklu. V tabulce 7.1 jsou uvedeny počty ostříků pro všechna měření, dále také pozice trysky vůči plástvi. Značení koresponduje s obr. 7.2. U teleskopických trysek hodnoty odpovídají klidové poloze.

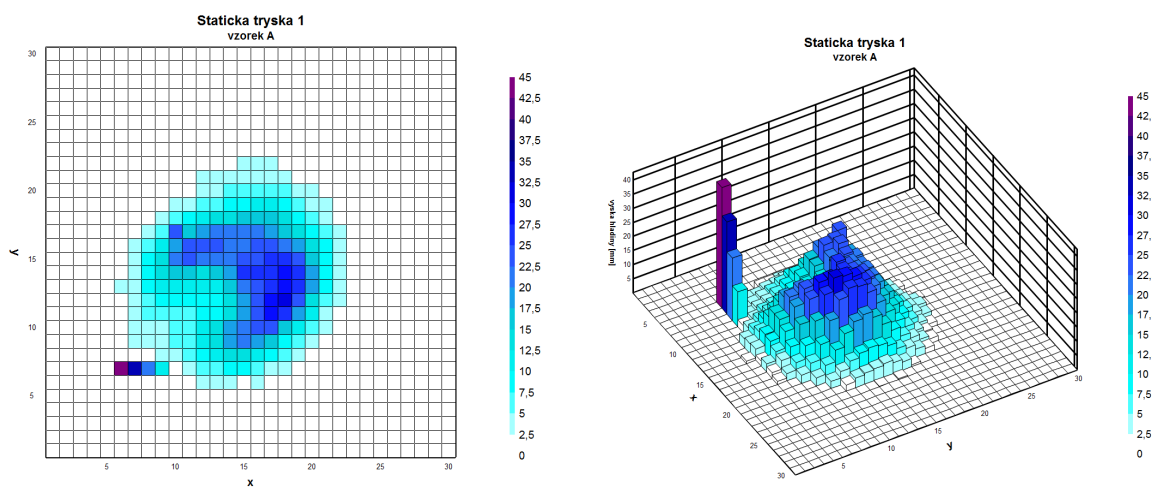
7.3 Zhodnocení výsledků měření

Všechny naměřené hodnoty a charakteristiky jsou uvedeny v příloze A. Jsou zde uvedeny tabulky naměřených hodnot výšky hladiny ultrazvukovým senzorem i kamerově, z nich vytvořené 2D a 3D grafy a porovnávací tabulka, kde je možné vidět rozdíl, ve kterém se lišily naměřené hodnoty senzorem a kamerou vůči přesně odměřené referenční barevné škále. Obě metody mají své klady i nedostatky.

TRYSKA	POČET CYKLŮ	h_t [cm]	x [cm]	y [cm]
Statická tryska 1, vzorek A	13	24	20	16
Statická tryska 1, vzorek B	13	24	20	16
Statická tryska 1, vzorek C	13	24	20	16
Statická tryska 2, vzorek A	10	24	20	16
Statická tryska 2, vzorek B	10	24	20	16
Statická tryska 2, vzorek C	13	24	20	16
Statická tryska 2, vzorek C (18 cm)	13	18	20	16
Teleskopická tryska 1	8	21,5	19	17
Teleskopická tryska 2	13	15	19	20
Teleskopická tryska 3	10	15	19	10,5

Tab. 7.1: Počty aplikovaných cyklů ostříkovače a pozice trysky vůči plástvi

Co se týče použití ultrazvukového senzoru, celé měření je ve výsledku velmi přesné. Bylo možné změřit hladinu ve všech kyvetách celé plástve, čemuž odpovídají rozměry 2D a 3D grafů, které jsou znázorněny na obr. 7.6. Jejich rozměr odpovídá rozměru plástve, tedy všech 900 ks kyvet.



(a) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení

(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení

Obr. 7.6: Charakteristiky statické trysky 1, vzorek A, naměřené senzorem

Ultrazvukový senzor lze vhodně nastavit pomocí tlačítka Teach-in na konkrétní rozsah měření. Samotný senzor má rozlišovací schopnost menší než 3 mm a přesnost opakování pod 0,5 mm. Výsledná přesnost měření byla ovlivněna hned několika skutečnostmi, mezi které patří například i rozlišení použitého digitálního multimetru (počet digitů) pro odečtení hodnot napětí výstupu senzoru. Jedním z problémů, které ovlivnilo přesnost měření

bylo dno kyvet. Z výroby není rovné, ale mírně vypouklé, jak je patrné z obr. 7.7. Tato skutečnost ovšem ovlivnila pouze přesnost při velmi malých hladinách. Tak malé množství kapaliny je ovšem při aplikaci několika cyklů ostřikovače zanedbatelné, výsledné hodnoty tedy nejsou touto skutečností téměř ovlivněny. Samotné stěny kyvet měly velmi nesmáčivý povrch, na kterém zůstávaly kapky vody. Bylo nutné je vymazat olejem, i přesto se mohlo stát, že drobné kapičky zůstaly na stěnách a mohly tak ovlivnit naměřenou hodnotu. Ve výsledku je ovšem zvolená metoda velice přesná a bylo díky ní možné změřit spolehlivě charakteristiky všech předložených trysek. V příloze A na obr. A.3 (b) je znázorněn rozdíl, o který se liší měření senzorem i kamerou vůči přesně odměřené referenční barevné škále. Pro případné časté použití této metody by bylo vhodné pohyb senzoru a archivaci hodnot zautomatizovat, a to například za pomoci plotteru a PLC (*Programmable Logic Controller*).



(a) Ukázka nesmáčivosti stěn a nerovného dna kyvety

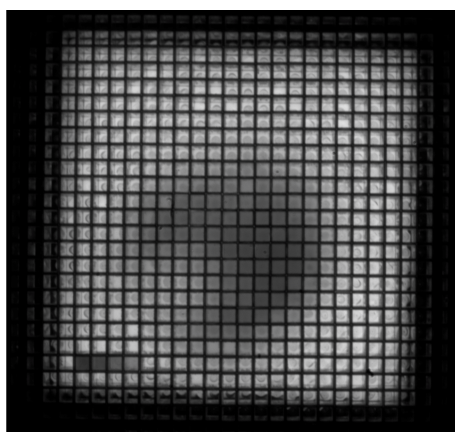


(b) Nerovné dno kyvety - pohled shora

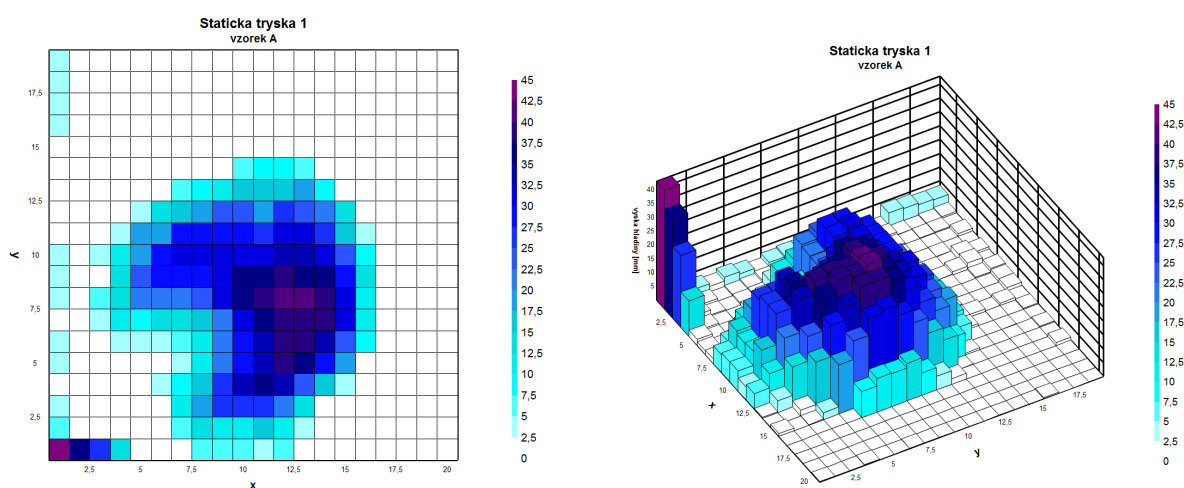
Obr. 7.7: Vlastnosti kyvety ovlivňující měření

Metoda použití kamerového systému měla daleko závažnější úskalí. Bylo jím především podsvícení, již zmíněné dno kyvet a zorný úhel kamery. Na obr. 7.8 je kamerou pořízený snímek, ze kterého jsou všechny tyto komplikace patrné. Kvůli velikosti podsvícení nebylo možné nasnímat celou plástev, tedy změřit hladinu ve všech kyvetách. Této skutečnosti pak odpovídá výsledný rozměr 2D a 3D grafů zobrazující výsledky naměřené právě kamerou. Velikost podsvícení radikálně ovlivnila výsledný obrazec. Jak je patrné ze samotného snímku, tak z výsledných grafů, kraje plástve vykazují hodnoty výšky hladiny i v místech, kde byly kyvety prázdné. Lze tedy říci, že jakákoli nehomogenita osvětlení měření výrazně ovlivňuje. Bylo by tedy vhodné použít podsvícení většího rozměru, než jsou krajní dutiny celé plástve. Nevhodné by bylo tedy i použití podsvícení menšího rozměru pro nasnímání dílčích částí plástve, které by následně tvořily celkový obraz. Do měření zanášejí chybu také stěny a dno kyvet. Bylo by vhodné stěny kyvet zatmavit, aby intenzita v jedné du-

tině nebyla ovlivněna sousedními. Na snímku zachyceném kamerou jsou patrné kroužky, které způsobuje nerovné dno kyvety. V kombinaci se zorným úhlem kamery, kdy nejsou kroužky totožné, je ovlivněna výsledná intenzita v dutině. V případě, že by bylo do všech dutin vidět naprosto stejně, byla by kalibrace s nasnímáním jak plné, tak prázdné plástve, účinnější. Problémem s touto změnou intenzity je částečně kompenzována použitím nástroje *Vision Assistant* v NI Vision Builderu. Tím je upraven jas a kontrast. Čím více se ovšem přidá jasu, tím více je znehodnocena informace o malém množství kapaliny, která je příliš světlá a může se zcela ztratit. Co se týče výsledného obrazce, je téměř zachován a podobá se obrazci naměřeného senzorem. Samotné výsledné hodnoty výšky hladiny jsou již ovšem od skutečnosti vzdálené, ať už méně či více. Dá se tedy říci, že metoda s použitím kamerového systému byla ověřena, tímto způsobem lze hladinu měřit. Pro zvýšení její přesnosti by bylo vhodné upravit podmínky měření, tedy dno a stěny kyvet, velikost podsvícení a zorný úhel kamery.



Obr. 7.8: Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 1, vzorek A



(a) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení

(b) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. 7.9: Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek A, naměřené kamerou

8

Závěr

Pro návrh a realizaci měření rozložení a množství kapaliny při ostřiku světlometu automobilu bylo nejprve nutné seznámit se s principem funkce celého čisticího systému světlometu a legislativou, která se k jeho použití vztahuje. Této problematice je věnována kapitola 3. Dále bylo nezbytné najít vhodnou metodu pro vlastní měření, tedy popsat a zhodnotit různé možnosti měření výšky hladiny, případně metody pro zjištění rozložení kapaliny. Tato teoretická část je popsána v kapitolách 4 a 5. Další části práce se věnují samotnému návrhu a realizaci měřicího systému.

Pro měření byly vybrány dvě metody, a to pomocí ultrazvukového senzoru a kamerového systému. Krokem, který byl realizován paralelně s výběrem měřicí metody, byl výběr materiálu a provedení konstrukce pro zachytávání vody. Tou se stala rovinná plocha tvořená z kyvet a průhledného dna, která je dále označována jako plástev. Samotné měření probíhalo oběma metodami souběžně. Kapalina pro ostřikovač byla obarvena modrou barvou, byla nasnímána prázdná plástev pro kalibraci, na ni bylo aplikováno několik cyklů ostřikovače a naplněná plástev byla opět nasnímána kamerou. Bezprostředně poté byla výška hladiny měřena ultrazvukovým senzorem.

Ultrazvukovým senzorem byla proměřena celá plocha plástve, výsledky jsou velmi přesné a z naměřených hodnot jsou vytvořeny 2D a 3D grafy. Snímky získané pomocí kamery jsem dále zpracovávala v softwaru pro zpracování obrazu, kterým byl NI Vision Builder. Byla vyhodnocována intenzita modré barvy v jednotlivých kyvetách plástve, která je úměrná výšce hladiny. Výsledné obrazce vytvořené tryskou jsou velmi podobným těm, které byly naměřeny ultrazvukovým senzorem. Naměřené hodnoty ovšem nejsou přesné, což je dáno podmínkami měření. Nepřesnosti jsou způsobeny nehomogenním a nerovným dnem kyvet, zorným úhlem kamery a především nedostatečným rozměrem podsvícení, které také neumožnilo nasnímat celou plochu plástve. Nicméně lze říci, že metoda s použitím kamery, stejně tak i metoda s použitím ultrazvukového senzoru, byly úspěšně ověřeny. Podařilo se změřit charakteristiky všech předložených typů trysek.

Všechny stanovené cíle diplomové práce, které jsou uvedeny v zadání, byly úspěšně dosaženy.

Literatura

- [1] Daňková, A. Osvětlovací systémy vozidel. Plzeň: ZČU, 2013.
- [2] Ďaďo, S., Kreidl, M. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02057-6.
- [3] Ďaďo, S., Bejček L., Platil A. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0156-X.
- [4] Společnost OSRAM OS. Opto compinents for automotive applications. [cit. 1.4.2015]. Dostupné z: <http://www.osram-os.com/media/resource/HIRES/541899/3469842/os-application-automotive-gb.pdf>
- [5] HELLA KGaA Hueck & Co. *Headlamp Cleaning System — HELLA*. [cit. 1.4.2015]. Dostupné z: <http://www.hella.com/microsite-electronics/122.html>
- [6] EHK 045. *Předpis 45- Jednotná ustanovení pro homologaci čističů světlometů a motorových vozidel z hlediska čističů světlometů*. Praha: TÚV SÚD Czech s.r.o, 2013.
- [7] EHK 048. *Předpis 48- Jednotná ustanovení pro schválení vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou siganlizaci*. Praha: TÚV SÚD Czech s.r.o, 2013.
- [8] Telemecanique Sensors. *Ultrasonic sensors OsiSense XX*. 2011. [cit. 6.4.2015] Dostupné z: <http://www.mouser.com/pdfdocs/schneiderelecxxsensorscatalog.pdf>
- [9] Baumer Group. *Ultrasonic sensors. Compact, multi-purpose, robust. Edition 2013*. 2013. [cit. 7.4.2015] Dostupné z: http://www.baumer.com/fileadmin/user_upload/international/Downloads/BR-CT/Baumer`Catalogue-Ultrasonic`CT`EN`1305`11106734.pdf
- [10] Fiřt J., Holota R. *Digitalizace a zpracování obrazu*. 2002. [cit. 5.4.2015] Dostupné z: <http://home.zcu.cz/holota5/publ/DigZprO.pdf>
- [11] Fiřt J., Holota R. *Podklady k přednáškám z předmětu Elektronika ve zpracování obrazu*. Plzeň: ZČU, 2013.

- [12] Mikšík, O. *Praktické využití metod digitálního zpracování obrazu*. 2007. [cit. 5.4.2015] Dostupné z: <http://soc.nidv.cz/data/2007/01-2.pdf>
- [13] Technická Univerzita v Liberci. *Úvod do zpracování a analýzy obrazu*. 2013. [cit. 5.4.2015] Dostupné z: <http://blade1.ft.tul.cz/elearning/Media/File/5/123/P1.pdf>
- [14] Basler AG. *Basler Industrial Cameras - ace Series - acA2500-14um*. 2015. [cit. 11.4.2015] Dostupné z: <http://www.baslerweb.com/en/products/area-scan-cameras/ace/aca2500-14um>
- [15] National Instruments. *Configurable Machine Vision Software- NI Vision Builder for Automated Inspection*. [cit. 15.4.2015] Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/products/us/vbai/datasheet.pdf>
- [16] National Instruments. *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial*. 2013.
- [17] Automotive Lighting, s.r.o. *Materiály společnosti*. 2015.
- [18] Roman Pihan photography page. *Vše o světle*. 2015. [cit. 1.4.2015] Dostupné z: <http://fotoroman.cz/techniques3/svetlo01zaklad.htm>
- [19] BMW UK. *Headlight washer system*. [cit. 1.4.2015]. Dostupné z: <http://www.bmw.co.uk/en/GB/topics/owners/accessories/accessoryDetail.accessoryId=1622.html>
- [20] BMW E90 3 Series Install/Disable Headlight Washers DIY. [cit. 1.4.2015]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/bmw-e90-3-series-install-disable-headlight-washers-diy-60820.html>
- [21] PolycarbonateSheeting.co.za. *Multiwall Polycarbonate*. [cit. 12.4.2015] Dostupné z: <http://polycarbonatesheeting.co.za/images/product-range/multiwall-polycarbonate/multiwall3.jpg>
- [22] VWR. *Kyvety, jednorázové*. [cit. 12.4.2015] Dostupné z: <https://cz.vwr.com/store/catalog/product.jsp?catalognumber=634-0678>

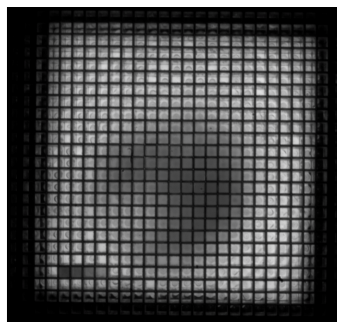
Příloha A

Naměřené hodnoty a charakteristiky jednotlivých trysek

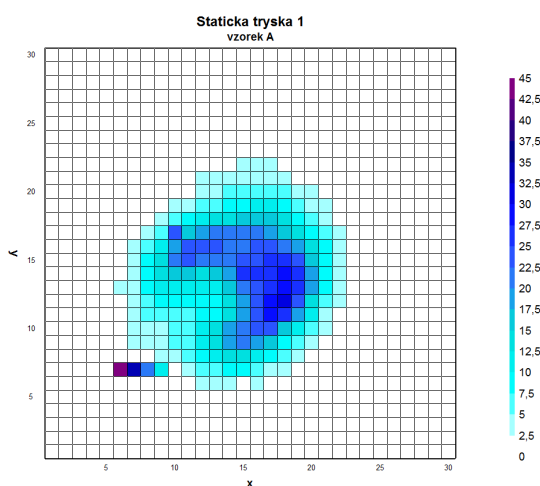
A.1 Statická tryska 1 vzorek A



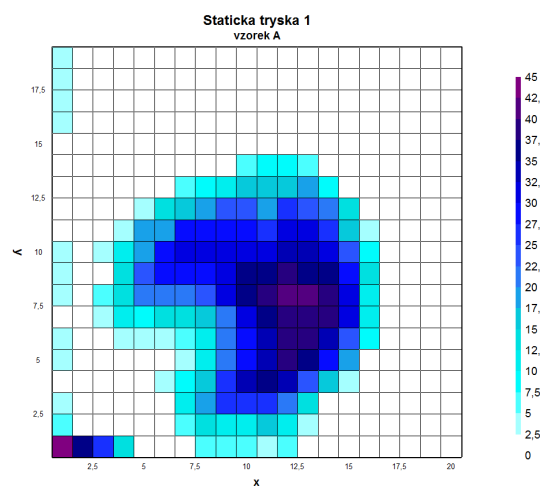
(a) Statická tryska 1



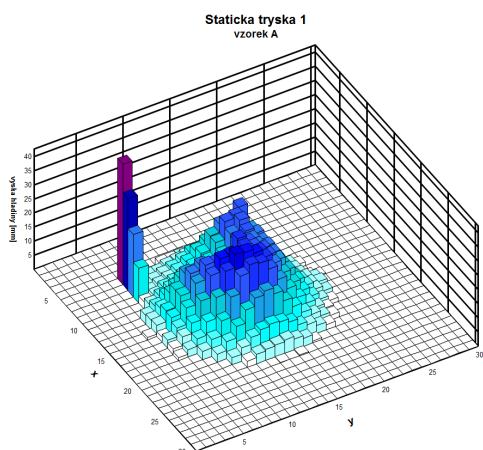
(b) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 1, vzorek A



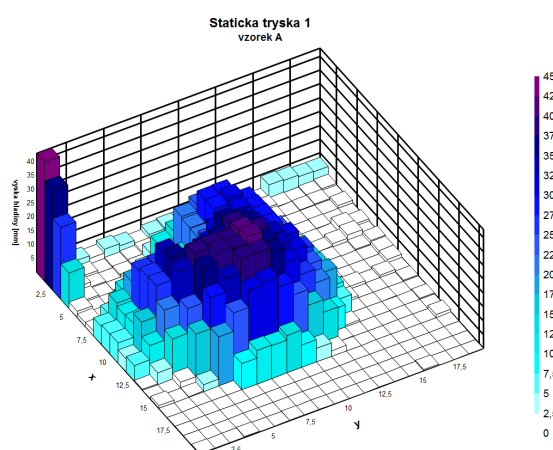
(c) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(f) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.1: Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek A

V/K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29	0	1,38	3,01	3,87	2,80	1,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,71	3,10	3,48	4,39	4,52	4,47	3,14	2,28	1,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,27	4,04	5,07	5,85	6,75	7,10	5,50	3,74	2,92	1,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
19	0	0	0	0	0	0	0	0	1,12	3,10	4,60	5,85	7,35	8,17	9,80	10,11	10,19	8,64	6,49	4,64	2,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
18	0	0	0	0	0	0	0	0	3,61	6,45	8,90	11,83	13,76	14,19	15,27	15,14	15,05	12,69	9,55	6,49	4,30	0,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
17	0	0	0	0	0	0	0	0	2,15	4,00	6,84	10,81	16,81	16,94	17,16	16,94	14,79	15,31	19,35	26,75	25,97	26,27	28,12	26,62	18,96	9,37	4,21	0,17	0	0	0	0				
16	0	0	0	0	0	0	0	0	3,18	6,19	10,88	16,53	23,69	24,51	22,75	22,02	22,06	22,92	22,70	21,97	18,49	13,03	7,61	3,83	0,34	0	0	0	0	0	0	0	0			
15	0	0	0	0	0	0	0	0	4,04	7,53	13,29	20,04	23,09	20,86	20,21	21,50	24,30	24,77	25,33	25,33	23,44	16,77	8,90	4,73	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1,72	4,90	8,13	13,03	17,16	16,94	14,79	15,31	19,35	26,75	25,97	26,27	28,12	26,62	18,96	9,37	4,21	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	0	0	2,67	4,99	8,21	10,92	12,21	11,61	10,36	11,27	15,35	20,25	24,30	26,40	29,54	27,26	17,67	8,64	3,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	2,49	4,34	6,67	8,13	8,86	8,17	8,08	9,29	12,51	17,67	23,01	27,74	30,10	24,60	14,79	7,18	3,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11	0	0	0	0	0	0	0	0	3,87	5,16	6,28	6,84	7,35	8,00	9,89	13,67	18,83	24,25	27,61	25,46	18,36	10,11	4,82	2,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	2,80	4,30	4,86	6,02	7,48	10,06	13,29	18,10	22,45	24,51	23,01	17,42	11,22	6,06	2,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	2,71	3,27	3,91	5,16	6,88	10,02	14,62	18,62	20,64	19,35	15,22	9,98	5,98	2,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	2,92	3,53	5,42	7,70	10,75	13,89	14,06	11,83	8,60	5,20	2,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	42,57	32,55	22,06	12,21	2,37	3,70	5,07	6,58	7,87	7,52	6,06	4,99	2,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,05	3,61	4,00	1,72	2,92	2,02	1,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. A.2: Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 1, vzorek A

V/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	3,46	0,65	0,07	1,04	0	0,91	0,15	1,57	1,25	1,24	0,13	0,37	0,01	0,43	0,01	1,16	0,02	0	0	0
18	3,59	0,35	0,37	0,01	0	2,06	2,31	0,46	0,02	0,01	0,95	0	0	0,03	0	0	0	0	0,00	0
17	4,22	0	0,20	0,01	0,13	0,00	1,21	0	0,01	0	0,03	0,05	0,09	0	0,03	0	0	0	0	0,01
16	4,63	0,08	0	0	0,03	0,05	0,29	0,11	0,13	0	0,96	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0,38
15	0,30	1,06	0,46	0	0,06	0,14	0,07	0	0,07	1,32	1,03	0,95	0,09	0	0	0	0	0	0	0
14	0,07	0	0,97	1,18	0	0,27	0,65	0,74	0,88	5,06	8,40	8,00	6,51	0,72	0	0	0	0	0	0
13	0,49	1,36	0,00	0,13	0,04	0,08	5,05	7,73	10,11	16,91	16,91	17,35	18,36	8,04	0,08	0	0	0	0	0
12	1,93	0,25	0,77	0,25	3,70	12,80	15,95	19,78	22,67	23,50	17,86	25,10	23,25	20,04	12,58	2,03	0	0,00	0	0
11	2,38	0,09	0,70	2,67	18,78	17,98	28,60	29,00	29,24	29,22	27,48	32,13	30,30	25,04	17,28	4,93	0	0	0,01	0
10	3,42	0,88	3,08	10,80	19,67	29,91	31,54	30,39	30,05	31,32	32,23	34,56	34,18	31,35	22,90	8,16	0,00	0	0	0
9	3,41	0,37	0,84	12,84	24,55	29,69	29,85	29,05	30,84	35,24	37,21	38,20	37,41	36,75	27,73	13,56	0	0	0	0
8	2,81	0,39	5,71	13,79	22,40	21,68	21,47	23,74	31,11	37,01	39,04	40,23	41,42	38,72	31,75	12,01	0	0	0	0
7	1,36	1,67	4,52	10,89	9,60	13,28	13,90	17,45	21,85	31,46	36,10	38,35	39,00	38,68	30,52	12,16	0	0	0	0,15
6	2,60	0,96	1,04	4,09	4,70	4,47	5,28	10,70	21,92	29,16	34,61	38,62	39,88	33,61	24,40	9,44	0	0,01	0	0
5	3,44	0,48	0,65	1,13	1,08	2,17	4,48	10,36	20,16	28,20	32,93	38,19	36,00	28,70	17,83	0,04	0	0,02	0	0
4	2,08	0,19	0,13	0,11	0,87	3,78	9,02	16,34	26,07	33,81	35,19	33,51	23,54	17,49	2,55	0	0	0	0	0,24
3	3,12	1,20	0,41	0,09	0,18	1,33	12,24	18,86	25,59	27,17	27,19	21,64	14,54	2,17	0,24	0	0	0	0	0
2	5,02	1,43	2,22	0,83	0,27	0,64	5,72	13,01	11,85	12,27	16,02	10,77	4,29	0	0	0	0	0	0	0,01
1	43,00	36,17	25,91	12,81	2,21	1,30	1,63	6,39	7,07	7,21	4,68	5,61	0,30	0	1,01	0	0	0	0	0,07

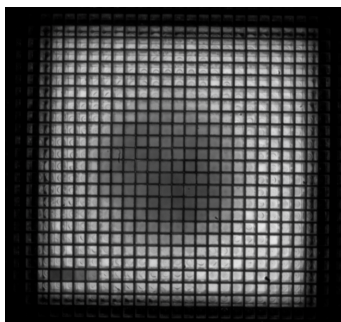
REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,43	-0,30	-0,56	-1,46
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-3,92	-4,41	-2,06

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 1, vzorek A

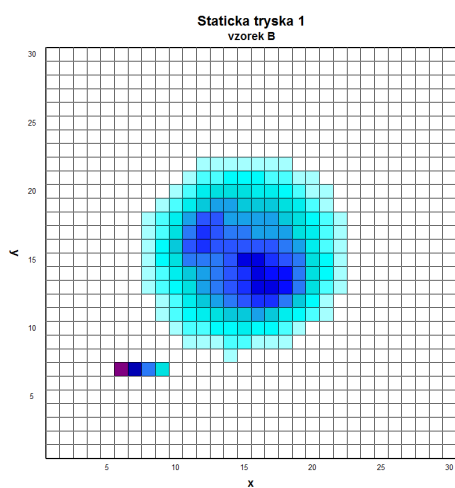
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.3: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

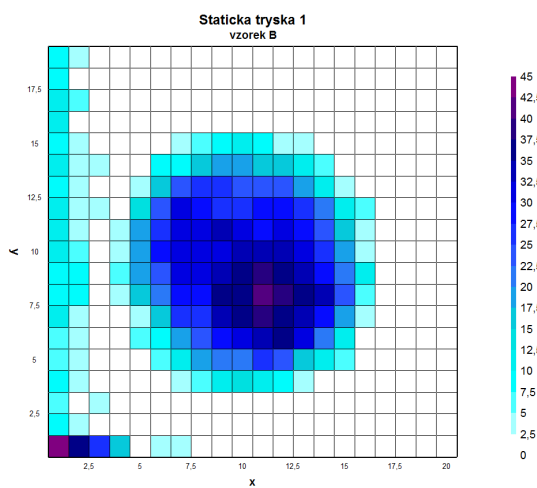
A.2 Statická tryska 1 vzorek B



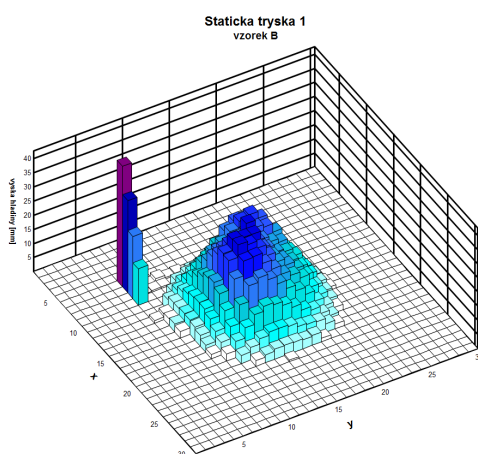
(a) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 1, vzorek B



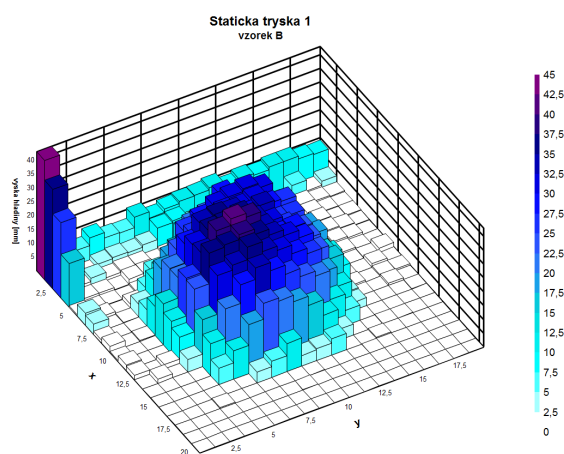
(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(c) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.4: Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek B

Y/X	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

V/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	9,10	2,85	0,64	0,36	0,41	0,13	0	0	1,62	0,07	0,56	0,07	0,18	0	0	0	0	0,00	0	0
18	9,53	1,32	0,90	0,47	0,30	0,99	0,81	0,19	0,21	1,26	0,45	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
17	10,66	5,17	1,64	1,64	2,04	1,87	1,37	0,72	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,13	0	0	0	0	0
16	10,70	0,96	0	0,12	1,19	0,22	0,81	0,16	0,05	0,16	0,63	0,03	0	0	0,11	0,01	0	0	0	0
15	9,75	2,75	1,23	0,76	0,11	0,66	3,68	5,74	8,63	10,55	8,91	3,31	2,92	0	0	0,39	0	0	0	0
14	10,32	3,05	2,78	1,14	0,13	8,40	9,04	16,04	19,29	19,95	16,46	17,43	10,99	5,59	0,01	0	0,05	0	0	0
13	9,26	3,94	0,97	0,70	3,25	16,42	22,98	27,31	25,66	23,90	23,50	22,51	18,09	11,56	3,85	0	0	0	0	0
12	11,16	2,90	2,52	2,16	12,71	23,44	30,69	28,01	25,64	26,73	29,40	29,27	26,69	22,04	11,17	5,84	0	0	0	0
11	10,37	3,02	0,69	4,44	18,93	25,67	32,48	32,16	33,00	30,29	28,94	31,93	28,85	23,72	16,71	4,35	0	0	0	0
10	10,15	5,49	1,00	4,34	17,92	29,21	31,53	30,91	31,85	33,19	33,43	34,13	31,91	26,69	19,94	3,86	0,06	0	0	0
9	9,45	8,53	1,70	6,02	18,57	24,03	30,53	31,58	34,85	36,91	39,38	36,35	33,54	29,91	22,30	10,22	0	0,11	0,04	0
8	8,23	7,89	1,25	3,25	16,41	22,48	27,72	28,60	35,27	35,90	40,80	38,47	37,21	32,88	23,41	5,89	0	0,00	0	0
7	10,60	3,69	0,53	1,33	4,49	15,62	25,35	27,27	34,66	35,43	38,52	36,60	32,68	28,91	17,81	3,92	0	0	0	0
6	6,81	2,96	1,88	2,16	6,10	9,47	17,95	23,80	29,25	32,13	32,68	35,81	30,98	22,11	10,21	0,02	0	0,01	0	0
5	7,07	3,30	1,79	2,02	0,51	5,50	11,70	18,70	22,29	22,18	25,29	24,72	16,98	11,63	5,94	0	0	0	0	0
4	9,07	2,85	1,25	0,18	0,01	1,55	4,85	6,05	10,55	14,90	11,75	9,36	4,49	0,02	0	0	0,39	0	0	0
3	6,36	1,18	3,15	0,95	0,19	0	0,25	0,12	0,37	0,00	0,00	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7,59	2,71	1,93	0,97	0,23	0,89	0	0	0	0	0,00	0	1,51	0	0,01	0	0	0	0	0
1	43,00	35,94	27,12	15,72	0,50	4,25	3,60	1,06	2,26	0,42	2,04	1,63	0	0	0	0	0	0	0	0

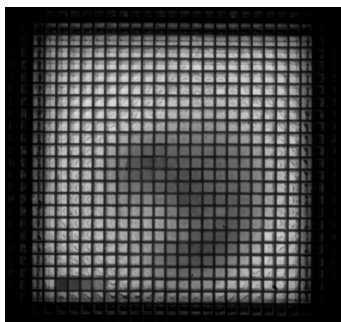
REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,26	-0,52	-0,69	-2,15
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-3,69	-5,62	-4,97

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 1, vzorek B

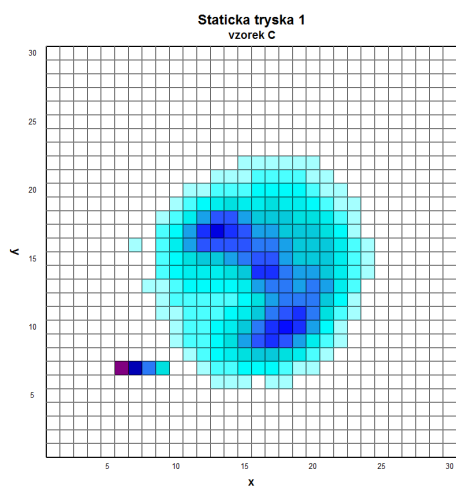
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.6: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladiny reference, naměřené senzorem a kamerou

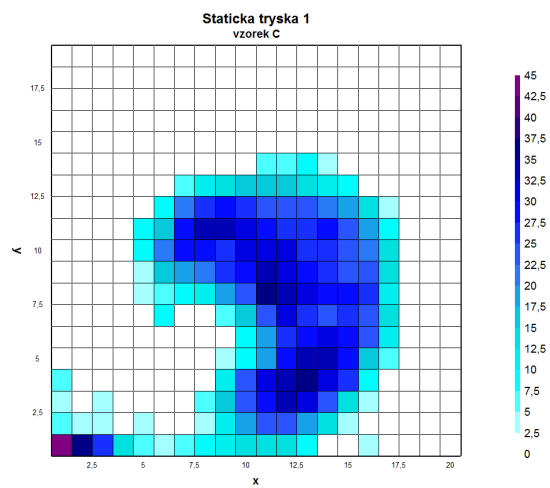
A.3 Statická tryska 1 vzorek C



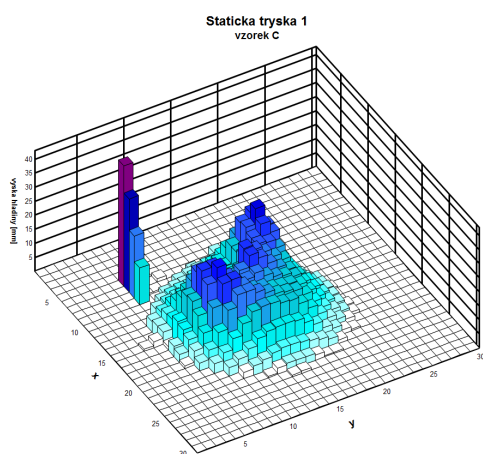
(a) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 1, vzorek C



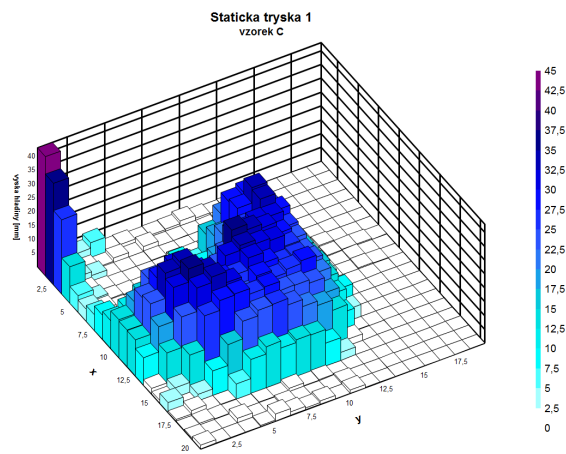
(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(c) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.7: Charakteristiky Statické trysky 1, vzorek C

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0,00	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0,01	0,12	0	0,00	0,01	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0,02	0,45	0,39	0,35	0	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0,53	0,27	0,04	0	0	0,00	0,00	0	0	0,01	0	0	0	0
15	0	0,00	0	0,01	0	0,15	0,06	0,02	0	0,04	0,10	0	0,07	0	0	0	0	0	0,01	0
14	0	0,34	0	0,01	0	0,72	0,28	0,06	0,44	1,69	7,20	6,10	8,54	4,37	0,09	0	0,01	0,01	0,05	0,07
13	0,33	0,61	0,00	0	0,32	0,90	5,69	11,59	14,92	15,74	15,55	15,91	14,47	11,97	8,20	2,25	0	0	0	0
12	0,15	0,55	0,68	0,08	1,47	8,63	22,12	25,72	27,79	25,07	24,12	22,60	22,99	21,71	17,73	14,84	2,81	0	0	0,04
11	0,70	0,03	0,00	0,55	9,45	16,59	29,76	34,88	33,96	30,85	28,01	26,83	26,42	28,17	23,33	18,53	8,23	0,00	0,69	1,08
10	1,83	0	0,02	1,06	8,43	20,69	28,40	29,32	26,48	31,07	32,19	30,88	25,89	27,07	24,56	20,18	13,12	0,34	0	0
9	0,84	0,06	0,02	0,96	2,78	15,36	18,05	21,87	25,50	29,75	33,49	31,59	28,06	25,89	24,67	22,78	13,45	0,13	0	1,24
8	0,66	0	0,06	1,09	3,48	7,20	9,36	10,29	18,87	23,76	35,41	33,01	31,79	28,62	27,97	25,02	12,46	1,12	0	0,57
7	0,60	1,77	0,17	0	0,32	9,72	1,36	2,14	5,62	15,80	24,82	31,39	27,45	23,72	27,33	24,70	14,94	0,09	0,56	1,21
6	1,32	0,10	0	0,00	0,04	0,31	0,10	0,00	1,46	9,48	17,70	25,36	28,23	30,30	29,45	22,92	12,25	0,17	0,00	2,45
5	1,09	1,59	0,05	0,04	0,07	0,37	0,01	0,01	2,62	10,00	18,07	29,47	33,00	34,25	29,09	16,46	5,51	0	0,05	0,41
4	5,88	0,50	0,12	0,22	0,29	0,13	1,60	2,16	11,99	22,78	30,54	34,89	35,87	32,32	25,49	8,92	0,11	0	1,69	0,02
3	3,86	1,64	2,73	0,70	0,65	0,39	1,13	6,65	15,67	24,24	28,06	33,16	31,14	23,87	13,35	2,50	0	0,09	0	0
2	6,35	4,45	4,04	2,11	2,65	2,15	0,96	4,21	12,47	18,19	22,98	23,99	19,08	12,77	3,45	0,02	1,91	0,52	0	0,02
1	43,00	36,72	26,87	13,04	6,05	4,42	5,72	8,75	10,07	13,67	13,24	13,05	9,88	2,01	0,92	3,55	0,60	0,12	0,32	1,23

REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,04	-1,12	-0,82	-2,41
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-4,47	-5,37	-2,29

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 1, vzorek C

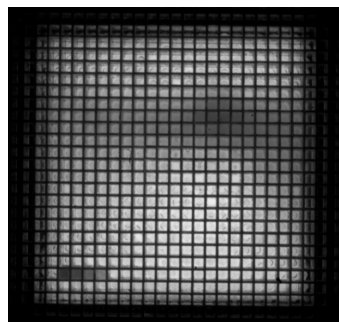
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.9: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladiny reference, naměřené senzorem a kamerou

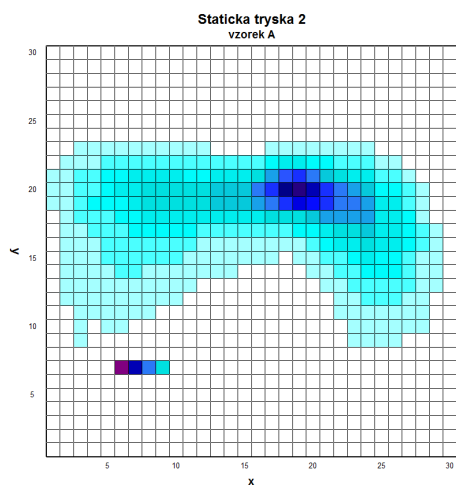
A.4 Statická tryska 2 vzorek A



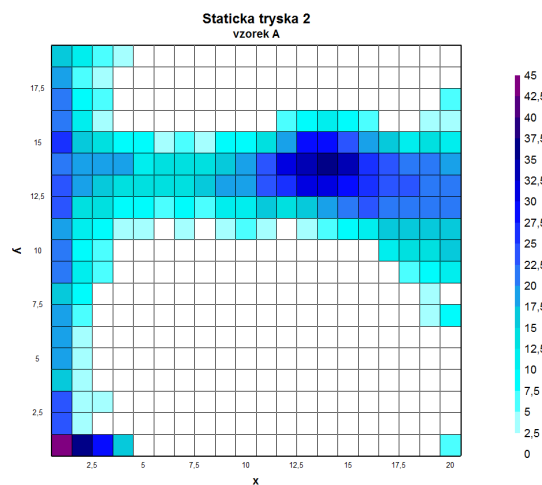
(a) Statická tryska 2



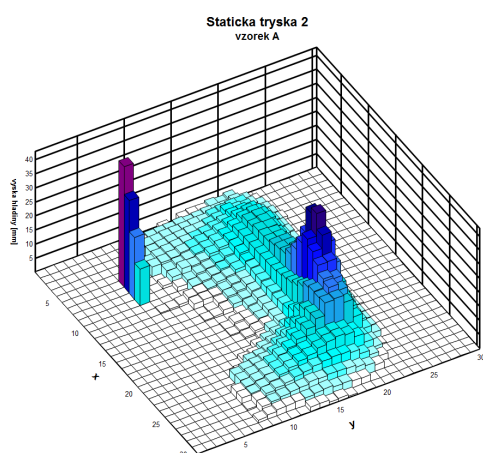
(b) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 2, vzorek A



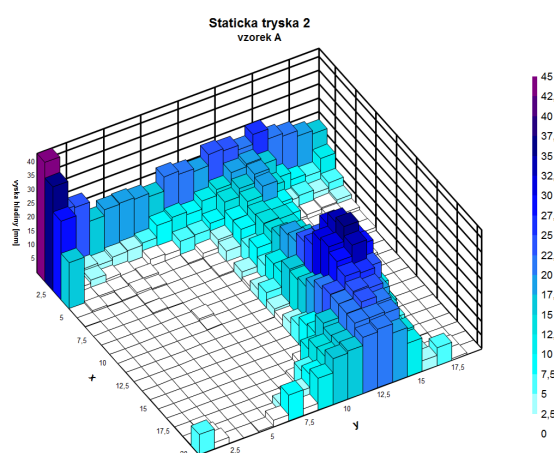
(c) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(f) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.10: Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek A

V/K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
24	0	0	0	0	1,03	0	0	0	0,60	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
23	0	1,76	2,62	3,23	3,91	3,74	3,74	3,83	3,53	3,05	2,92	2,62	2,15	1,55	0,86	0,26	2,80	3,35	3,74	3,31	3,01	2,88	2,75	2,58	0,43	0	0	0	0	0	0					
22	0	3,48	4,21	3,91	5,63	6,36	6,92	6,71	6,24	5,55	5,33	5,16	5,16	5,20	5,38	6,11	8,21	10,11	10,71	8,99	7,57	6,49	6,02	5,38	3,14	3,14	2,06	0	0	0	0					
21	3,35	4,39	5,76	6,58	8,08	9,20	10,32	11,05	10,32	10,06	9,68	9,59	10,11	10,66	11,22	13,42	18,66	24,68	26,45	20,98	16,13	13,24	11,95	10,75	6,06	3,70	2,32	0	0	0	0					
20	2,67	3,44	5,85	6,97	8,60	10,58	12,26	13,24	13,67	13,76	13,63	14,23	15,01	15,82	16,90	20,08	27,00	36,16	38,01	32,51	25,33	21,29	19,39	17,20	9,25	9,29	5,38	3,23	0	0	0					
19	3,14	3,40	5,46	7,70	8,43	9,98	11,61	12,90	13,03	13,89	13,93	14,10	15,01	15,82	16,30	18,28	22,23	26,70	30,23	27,86	25,20	22,49	21,59	19,78	11,09	11,14	7,01	4,00	2,28	0	0					
18	2,45	3,61	5,03	5,89	7,10	8,39	9,80	10,66	10,88	10,88	10,88	11,05	11,09	11,22	11,40	11,95	12,73	13,55	14,79	16,64	18,40	19,35	19,01	19,44	11,70	11,70	7,74	4,73	2,45	0	0					
17	2,19	2,92	4,21	4,86	5,63	6,32	7,10	7,27	6,41	5,89	5,89	4,77	4,86	4,82	4,43	4,34	4,30	4,26	4,34	5,03	5,12	10,06	11,87	12,64	10,06	10,19	7,96	5,03	2,88	0,43	0,43					
16	0	3,35	4,04	4,77	5,12	6,02	6,06	6,19	5,25	5,12	4,64	4,13	3,74	3,18	2,97	2,54	2,71	2,49	3,10	3,53	5,16	7,10	9,16	10,23	8,73	8,77	7,14	4,82	3,31	0,77	0,77					
15	0	2,80	3,78	4,09	4,86	5,42	5,42	4,95	4,47	4,21	3,91	3,14	3,10	2,54	1,03	1,76	1,89	1,68	0,95	2,62	3,66	5,29	7,10	8,30	7,96	6,28	4,95	3,05	1,59	1,59	1,59					
14	0	2,71	3,35	3,57	4,09	4,13	3,87	4,69	2,80	2,71	2,49	2,24	0,43	0,65	0	0,34	0,43	0	0	0	1,76	3,35	4,34	5,55	5,68	4,90	3,96	2,45	0	0	0					
13	0	2,80	3,78	4,09	4,52	4,90	4,56	4,39	3,87	3,35	2,84	2,37	1,98	1,68	0	1,55	0,89	0,60	0	1,55	2,84	3,96	5,50	7,01	6,79	6,88	5,76	4,21	2,62	1,55	1,55					
12	0	2,71	3,35	3,57	4,09	4,13	3,87	4,69	2,80	2,71	2,49	2,24	0,43	0,65	0	0,34	0,43	0	0	0	1,76	3,35	4,34	5,55	5,68	4,90	3,96	2,45	0	0	0					
11	1,38	2,28	3,31	3,23	3,57	3,78	3,10	2,92	1,55	0	2,15	1,89	0	0,43	0	0	0	0	0	0	1,29	3,01	3,87	4,52	4,69	4,60	4,26	3,44	2,32	0	0	0				
10	1,55	2,06	3,01	0	2,62	3,53	0	0,95	0	0	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	3,44	3,87	3,66	3,57	3,84	2,15	0	0	0	0				
9	0	0	3,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,62	3,01	2,97	2,80	2,41	2,28	1,59	0	0	0				
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,41	2,37	0,43	0	0,99	0	0	0			
7	0	0	0	0	0	0	42,91	33,11	22,10	12,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. A.11: Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek A

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	17,25	11,61	6,14	3,29	1,91	1,00	1,21	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	18,47	7,17	4,28	2,45	2,04	2,37	2,38	0,57	0,73	0	0	0	0	0,02	0	0,03	0	0,01	0,60	0,57
17	20,46	7,89	5,52	1,99	0,44	1,06	0,60	0,14	0,41	0	1,09	1,65	0,02	0,00	0,10	0,00	0,07	0	1,19	6,48
16	21,51	10,61	4,97	1,63	0,78	0,05	1,31	0,14	0,01	0,10	1,42	7,14	8,41	11,15	7,83	5,55	1,64	0,66	2,90	3,66
15	25,01	17,39	12,68	9,84	8,76	4,49	6,81	4,68	7,77	8,21	13,75	19,89	27,52	27,77	23,22	17,58	15,01	11,23	12,92	12,06
14	21,48	19,68	19,26	18,16	12,39	12,93	12,98	14,07	15,77	18,05	23,36	30,71	34,82	36,53	33,11	26,26	24,04	22,21	21,53	17,77
13	23,18	18,64	16,12	14,78	13,13	13,47	13,27	15,15	18,93	19,79	23,03	25,35	30,15	31,21	29,20	27,15	24,99	24,51	22,12	21,15
12	23,85	14,36	13,19	9,99	9,88	6,45	9,79	6,66	10,60	10,72	15,23	14,68	15,53	18,48	21,14	22,56	22,47	22,36	22,08	20,23
11	19,74	12,23	7,56	4,86	4,07	0,35	3,12	1,14	3,22	5,49	2,97	2,10	4,28	6,55	9,89	10,74	17,44	15,96	16,53	17,34
10	20,74	9,45	5,42	1,94	0,38	0,44	0	0	0,00	0	0,03	0	0	0	0	1,84	10,09	13,70	14,03	16,48
9	21,79	10,38	5,01	0,34	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,14	7,38	9,49	11,50
8	16,59	9,40	2,15	0,00	0,02	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,00	0,47	4,81	2,48
7	17,72	5,15	2,45	0	0	0	0	0	0,74	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0,08	2,59	9,41
6	18,29	4,42	0	1,15	0,53	0,00	0,06	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,28
5	17,93	4,12	0,66	0,71	1,07	0,37	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
4	15,77	3,09	1,34	0,42	0,34	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
3	22,68	3,80	3,08	0,55	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0
2	23,37	4,94	1,93	0,42	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	1,11	2,17
1	43,00	37,45	28,35	16,71	0,04	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	7,13

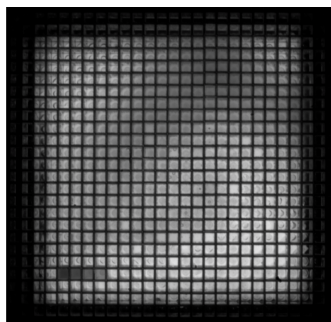
REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,09	-0,86	-0,60	-2,24
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-5,20	-6,85	-5,96

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 2, vzorek A

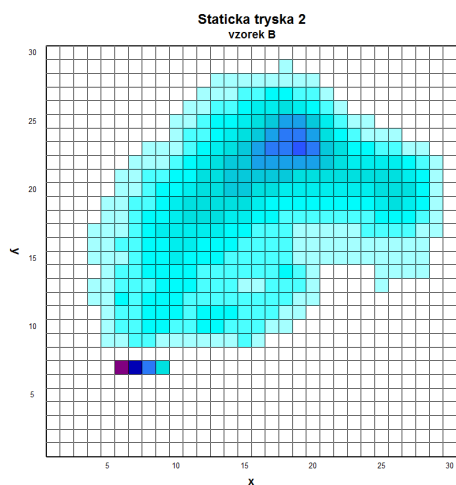
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.12: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

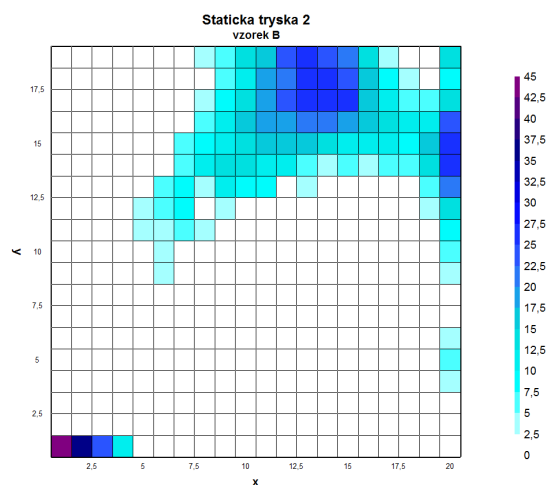
A.5 Statická tryska 2 vzorek B



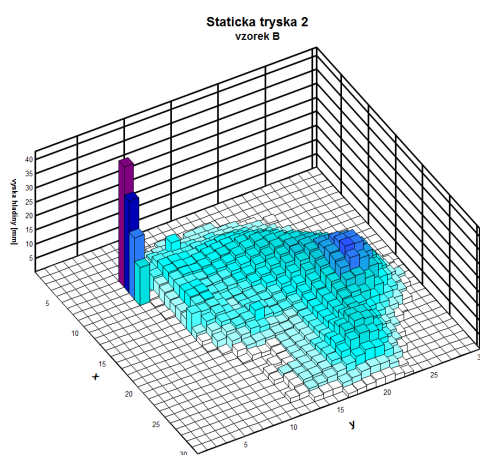
(a) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 2, vzorek B



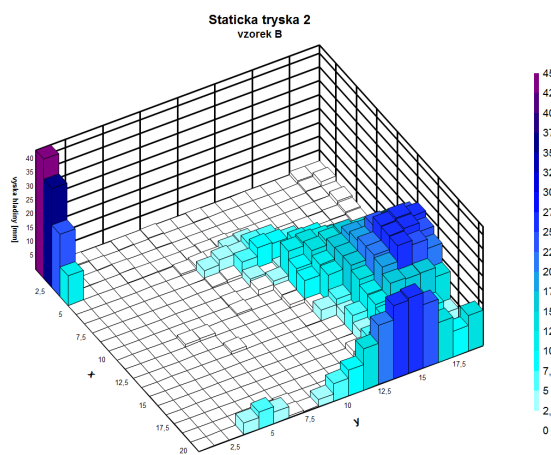
(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(c) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.13: Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek B

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	1,14	2,08	0,46	1,71	1,03	0,61	1,10	2,91	6,21	14,01	17,40	22,51	25,65	23,55	20,76	13,68	3,86	0,52	1,11	12,95
18	1,08	0,67	0,43	0,28	0,31	0,02	0,22	1,86	7,16	12,41	18,06	22,20	27,16	26,74	24,05	17,12	8,19	2,58	0,71	9,25
17	0	0,04	0	0,14	0	0,05	0,49	4,27	9,76	14,35	17,88	23,24	26,32	26,03	25,76	16,96	11,59	6,50	5,32	14,31
16	0	0	0	0	0,17	0,01	2,12	7,21	11,38	15,57	18,21	19,71	21,01	21,02	20,00	17,37	12,58	11,68	12,23	22,85
15	0	0	0	0,01	0,02	0,13	5,29	9,77	12,16	14,88	15,86	16,01	16,07	14,21	12,18	11,78	10,60	9,72	15,82	27,18
14	0,00	0	0,01	0,10	0,03	1,63	7,36	10,09	12,77	13,55	11,73	11,29	5,83	3,63	6,48	3,91	5,06	7,19	13,98	26,42
13	0	0	0	0,20	1,82	6,45	8,14	2,55	12,07	8,98	7,93	1,35	3,79	0,01	0,10	0,01	2,00	1,38	6,91	21,29
12	0	0	0,05	0,44	3,89	6,48	8,57	1,53	3,13	1,57	1,30	0	0,10	0	0	0	0	0	2,84	14,87
11	0,15	0	0,11	0,88	3,36	4,51	5,41	2,60	1,96	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,14
10	0,00	0,02	0,11	0,60	1,31	4,95	1,02	0,01	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,25
9	0	0,01	0,00	0,20	1,29	3,17	0,53	0	0,37	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,55
8	0,39	0,24	0	0,08	0,66	0,04	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35
7	0,06	0	0,02	0,21	0,01	0,04	0,00	0	0	0	0	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0,74
6	0,20	0	0,04	0,22	0,03	0,00	0,00	0	0	0	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	4,09
5	0,01	0,02	0,30	0,20	0,01	0	0	0	0,01	0	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	6,04
4	0,08	0,22	0,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,18
3	0,35	0,01	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2,00	0,05	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	43,00	35,77	22,52	10,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

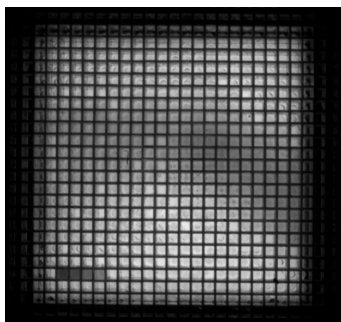
REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,09	-0,56	-0,43	-2,75
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-3,52	-1,02	0,06

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 2, vzorek B

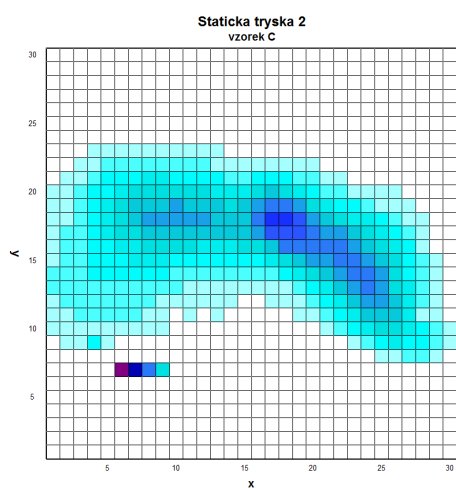
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.15: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

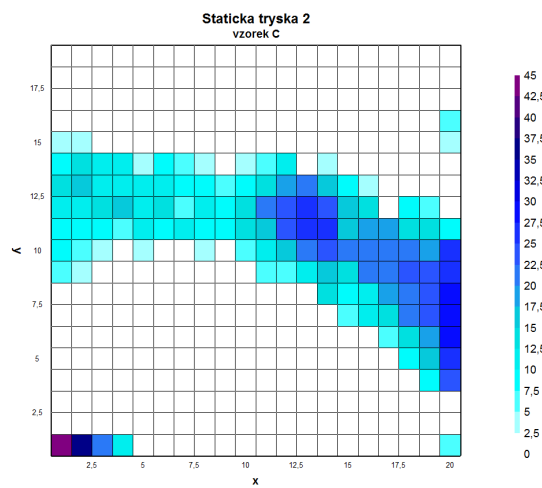
A.6 Statická tryska 2 vzorek C



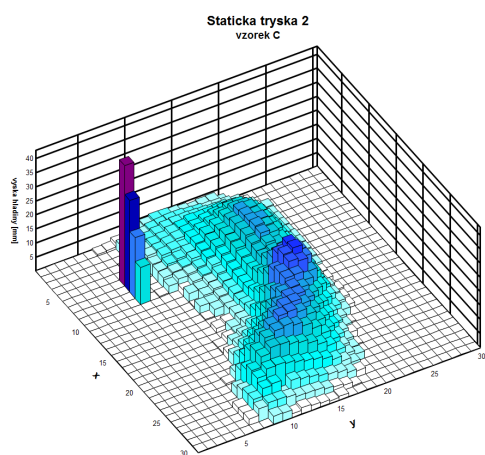
(a) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 2, vzorek C



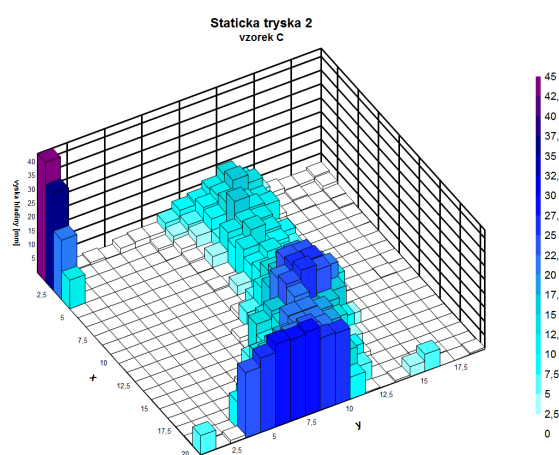
(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(c) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.16: Charakteristiky Statické trysky 2, vzorek C

V/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
19	1,94	1,52	0,49	0,40	0	0,06	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	
18	0,98	0,01	0,03	0	0	0	0,00	0,03	0	0	0,31	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,00	
17	0,98	0,68	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0	
16	1,81	0,01	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,12	6,01	
15	4,23	2,78	1,61	0,08	0	0,04	0	0,03	0	0	0,10	0	0,04	0	0	0	0	0	0,01	3,61	
14	9,86	12,86	10,04	11,26	4,63	7,98	6,04	2,52	0,20	2,87	5,72	11,87	0,85	4,13	0,02	0	0	0	0	0,56	
13	14,30	15,83	10,83	12,26	11,50	10,62	9,69	8,34	7,06	9,35	14,00	17,95	20,57	15,20	8,65	4,66	1,68	0,02	0	0	
12	10,94	12,04	13,06	16,67	12,12	13,10	7,13	11,63	7,94	14,92	20,66	24,03	25,22	24,78	16,26	13,82	0,23	9,74	6,34	0,24	
11	8,41	9,86	9,08	5,01	10,66	8,39	11,23	8,56	9,78	13,32	15,73	24,14	25,10	26,72	15,34	18,71	17,95	14,10	13,59	7,77	
10	7,59	5,62	4,73	0,85	4,03	0,13	0	3,28	0	5,39	12,33	15,77	22,28	23,62	22,42	20,70	20,56	21,07	19,71	25,59	
9	5,01	3,48	2,21	0,89	0,23	0,01	0,55	0,01	0	1,57	5,49	5,41	10,67	15,94	14,57	20,74	20,63	23,01	23,56	25,93	
8	2,25	0,93	0,14	0,01	0	0	0	0	0	0	0	1,67	0,15	13,18	9,58	12,36	18,42	22,05	24,44	29,94	
7	2,24	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,46	10,87	14,52	21,15	24,02	29,37	
6	1,83	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	1,52	7,34	14,34	19,89	29,72	
5	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	7,62	17,31	26,77	
4	0,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,50	23,55	
3	0,35	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	1,08	
2	0,32	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0,25	0
1	43,00	35,09	21,54	10,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	6,73

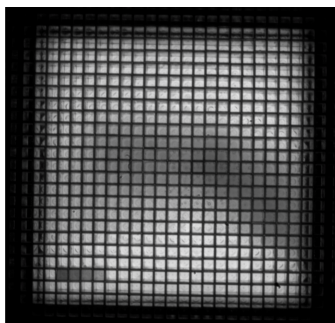
REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,09	-0,47	-0,13	-2,45
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-2,84	-0,04	0,46

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 2, vzorek C

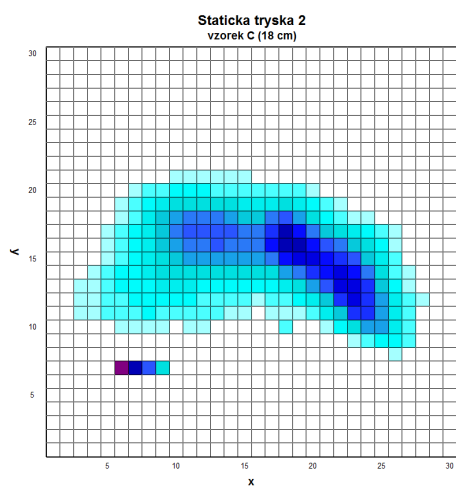
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.18: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

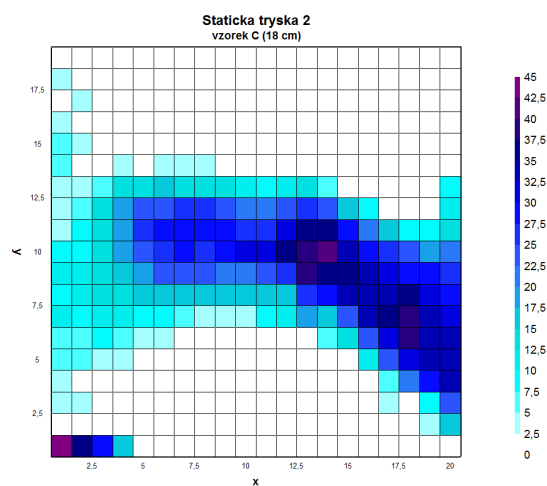
A.7 Statická tryska 2 vzorek C při změně výšky na 18 cm



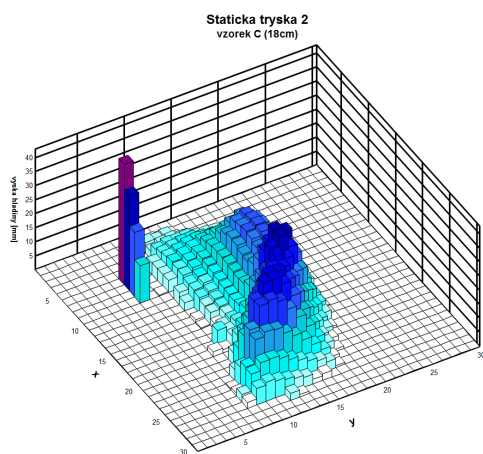
(a) Snímek obrazce vytvořeného Statickou tryskou 2, vzorek C 18cm



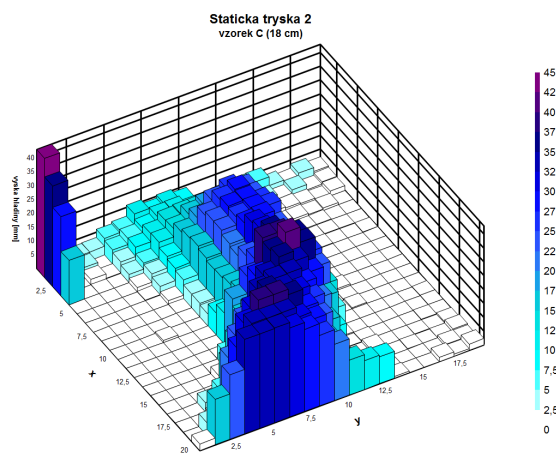
(b) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(c) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.19: Charakteristiky statické trysky 2, vzorek C 18 cm

V/K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19	0	0	0	0	0	0	4,82	5,76	7,14	7,74	8,13	7,83	7,44	7,31	6,32	5,29	6,11	6,11	5,12	3,78	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18	0	0	0	0	0	4,39	6,11	8,99	11,48	13,12	14,02	14,06	13,24	12,56	10,79	10,15	11,78	12,60	10,71	7,57	5,16	3,78	2,49	0,86	0	0	0	0	0	0	0			
17	0	0	0	0	0	2,37	4,90	7,44	11,01	15,31	18,58	20,38	20,73	20,34	19,35	16,73	16,64	20,08	33,13	19,65	13,93	9,93	7,31	4,99	4,31	1,63	0,65	0	0	0	0			
16	0	0	0	0	0	4,34	5,42	8,04	11,65	16,13	20,68	23,74	24,08	23,65	21,37	22,15	26,96	32,51	25,03	22,19	16,73	13,24	10,15	7,61	5,33	3,14	0	0	0	0	0			
15	0	0	0	0	0	4,64	6,24	8,82	11,52	15,61	19,18	22,49	23,01	22,45	21,33	22,45	27,86	34,06	33,88	28,29	23,56	20,21	16,25	12,64	8,39	4,82	2,41	0	0	0	0			
14	0	0	0,43	1,08	1,08	4,99	6,79	9,07	11,52	14,53	16,68	18,53	19,48	19,18	18,10	17,50	18,92	22,45	27,74	31,09	30,44	28,42	26,19	22,70	17,20	11,27	5,89	1,68	0	0	0			
13	0	0,43	1,29	3,53	5,98	7,53	9,42	11,14	12,73	13,59	14,02	14,06	13,65	13,29	12,81	13,16	14,49	17,97	22,45	26,92	29,20	30,32	28,12	21,33	13,98	7,40	3,53	0	0	0	0			
12	0	0,86	3,10	4,00	6,06	7,01	7,96	8,73	8,82	8,51	7,61	7,40	6,67	6,02	5,50	4,99	5,16	6,54	7,65	11,31	17,29	25,16	31,05	26,96	18,58	10,54	5,20	2,54	0	0	0			
11	0	0,43	3,66	2,71	5,16	6,19	7,01	7,53	7,18	7,05	6,15	5,59	4,77	4,47	4,47	4,49	4,04	4,47	4,86	7,18	10,84	17,42	25,89	26,19	19,05	11,70	5,93	0	0	0	0	0		
10	0	0	0	0	0	4,09	4,21	4,26	4,43	0	4,30	2,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	42,96	33,08	23,05	13,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. A.20: Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Statickou trysku 2, vzorek C 18 cm

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	2,26	1,75	1,64	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0,20	0,18	0,14	0,45	1,21	0,79	2,35
18	3,64	0,93	0,48	0,91	0	0,11	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,20	0	0,04	0,93	0,69
17	2,08	2,84	1,24	0,55	0,24	0,14	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	1,54
16	3,11	1,59	1,59	0,92	0,24	0,03	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,00	0
15	6,32	3,28	1,95	0,76	0,10	0	0,01	0	0,13	0,06	0,53	0,05	0,44	0	0	0	0	0	0	0
14	6,15	1,93	2,25	4,72	1,25	3,72	2,91	3,10	1,16	0,11	0	0,01	0	0,10	0	0,26	0,86	0	0	0,56
13	4,25	3,01	5,56	12,78	14,35	15,59	13,43	12,93	14,05	11,56	7,92	11,77	12,77	6,96	0,44	0,06	0,00	0,28	0,74	9,65
12	4,44	6,00	13,62	18,81	23,37	24,00	25,13	26,82	22,89	21,60	21,06	23,41	26,43	24,48	17,03	8,82	1,76	0,02	0	10,28
11	4,93	8,17	13,57	18,84	25,18	28,21	27,80	28,00	28,40	26,07	25,47	32,07	35,19	35,37	27,93	21,59	16,49	9,81	9,23	12,52
10	9,24	9,67	13,63	18,20	22,99	26,59	27,50	26,74	27,85	31,08	32,18	35,33	37,54	40,97	33,82	29,16	26,88	23,66	18,44	20,36
9	10,49	11,43	13,52	16,69	18,72	22,81	24,14	24,09	22,40	21,43	24,72	26,98	37,73	36,36	37,48	34,82	31,82	28,91	27,90	25,53
8	9,39	11,27	13,11	13,41	15,39	16,48	17,05	16,01	15,10	15,26	16,15	17,42	25,78	29,28	32,77	34,54	34,56	35,61	30,57	29,72
7	10,85	9,04	10,34	10,62	8,64	7,77	6,86	4,96	4,94	4,26	8,00	11,20	19,65	17,10	22,82	32,79	36,05	37,70	34,39	32,30
6	6,94	7,45	7,55	5,12	4,48	3,24	1,28	0,08	0	0	0,04	0	0,10	5,27	13,78	24,52	31,68	37,62	34,38	34,26
5	6,17	5,22	4,24	3,00	1,46	0,18	0	0	0	0	0	0	0,03	0,06	2,49	10,92	23,69	31,43	34,58	34,10
4	3,25	0,08	0,26	0	0	0	0,01	0	0,01	0,74	0,03	0	0	0,03	0	0,01	6,17	20,85	27,90	34,16
3	3,11	2,71	1,81	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,40	1,35	8,01	23,32
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	4,65	16,37
1	43,00	36,41	28,57	16,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,36

REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,04	-1,63	-1,55	-2,54
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-4,16	-7,07	-5,28

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Statickou trysku 2, vzorek C 18 cm

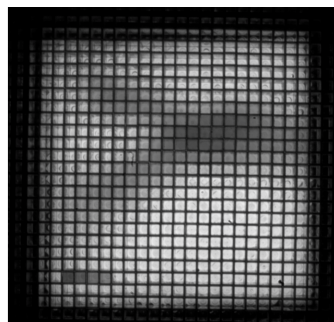
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.21: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

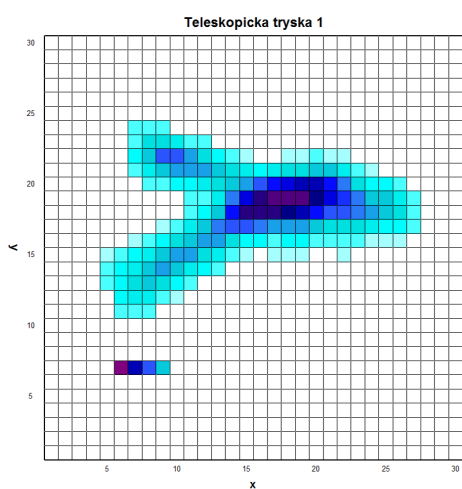
A.8 Teleskopická tryska 1



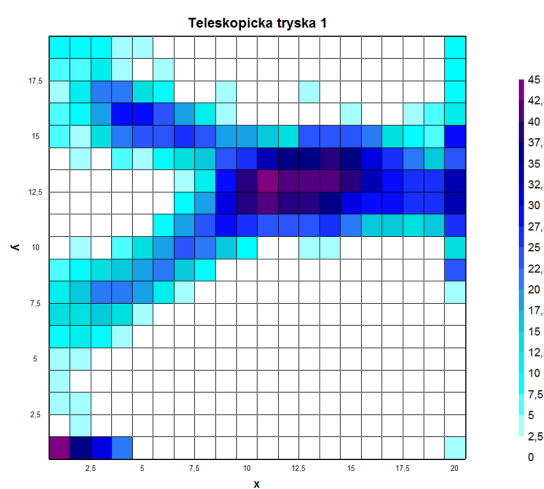
(a) Teleskopická tryska 1



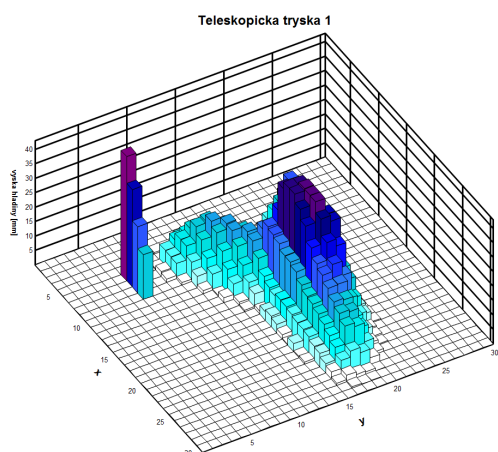
(b) Snímek obrazce vytvořeného Teleskopickou tryskou 1



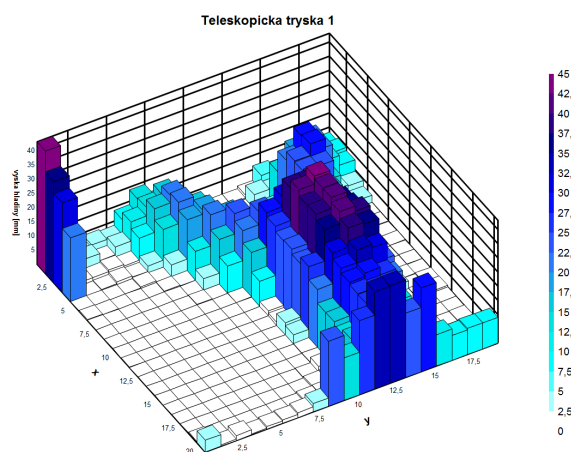
(c) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(f) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.22: Charakteristiky Teleskopické trysky 1

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. A.23: Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Teleskopickou trysku 1

V/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	8,21	9,46	8,45	4,43	2,57	0	0,19	0,01	0,14	0,07	0,12	0	0,33	0,58	0,01	0,01	0,27	0,00	1,17	9,10
18	7,23	7,47	11,92	4,88	1,51	3,39	0,76	0	0	0	0	0,19	0,10	0,39	0,01	0	0	0	0,09	9,17
17	3,84	11,55	21,36	21,11	13,68	8,21	1,83	1,81	2,82	0	0,04	0	2,89	0,14	0,54	0,01	1,43	0	0,10	8,73
16	5,60	8,63	19,60	27,90	28,59	24,21	18,87	11,03	3,16	0,06	0,86	0,10	0,75	1,75	2,56	1,33	0,67	4,31	5,27	11,05
15	6,38	4,21	14,23	21,62	24,66	24,36	25,05	22,62	18,44	18,66	15,64	13,60	22,72	22,77	22,56	20,41	14,82	9,53	6,41	29,44
14	1,36	4,88	0,38	6,55	4,82	8,14	14,17	17,46	24,97	27,42	33,75	35,56	36,72	38,66	37,33	32,42	26,27	20,68	17,47	22,65
13	0,49	0	0,20	0	0,40	0	2,66	12,43	29,68	37,68	43,10	42,23	42,16	40,53	38,08	33,53	28,84	26,04	25,11	34,30
12	0,45	0	0,01	1,34	1,21	0,01	9,68	19,36	31,23	37,63	40,27	38,02	38,39	36,28	31,35	29,19	27,55	26,82	26,68	34,14
11	2,15	1,64	2,19	0,32	0,97	8,92	18,33	24,69	27,77	26,21	24,28	24,71	22,94	25,14	20,51	15,65	15,76	13,84	16,10	25,95
10	1,98	2,76	1,65	7,10	13,58	19,06	22,81	20,13	15,62	8,90	1,75	1,01	4,20	3,25	0,20	0,19	2,04	0,94	2,10	14,97
9	5,58	9,00	13,11	17,44	19,57	20,99	15,66	9,60	0,16	0	0	0	0	0,00	0	0	0,14	0,64	0,90	22,83
8	10,71	17,26	20,11	20,85	18,01	10,22	3,87	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	2,90
7	14,10	14,57	17,35	13,35	4,15	0,13	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,65
6	8,85	11,43	8,98	2,54	0,12	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,08
5	3,63	4,66	1,24	0,61	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,81
4	4,05	1,90	1,79	1,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
3	3,09	4,33	1,24	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	1,71
2	2,29	3,00	1,17	0	0,07	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45
1	43,00	35,72	31,41	22,45	0,13	0,27	0,06	0	0,04	0,00	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,32	4,11

REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,04	-1,42	-1,46	-4,73
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-3,47	-9,91	-11,70

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Teleskopickou trysku 1

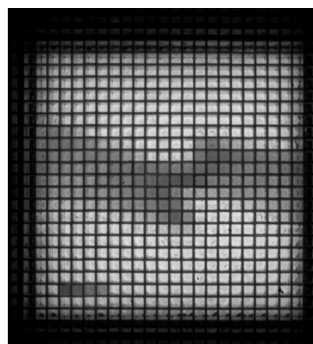
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.24: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

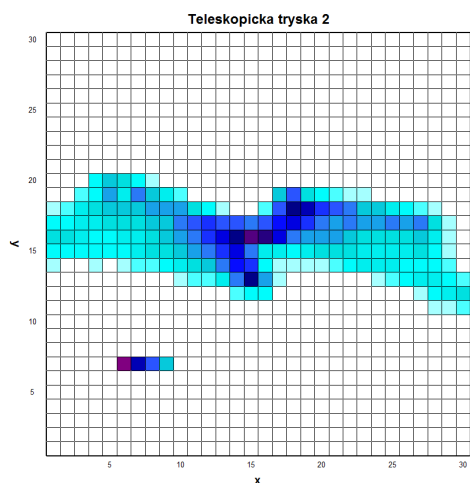
A.9 Teleskopická tryska 2



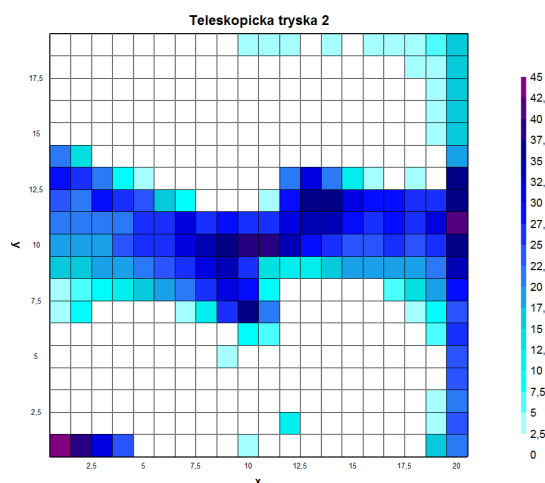
(a) Teleskopická tryska 2



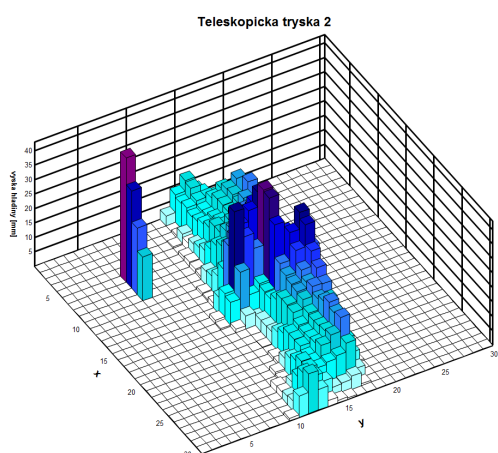
(b) Snímek obrazce vytvořeného Teleskopickou tryskou 2



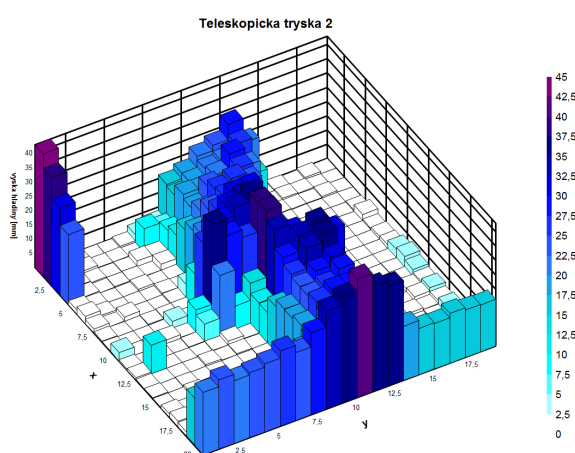
(c) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(f) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.25: Charakteristiky Teleskopické trysky 2

Y/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	0	0	0	0	0,36	2,18	0,51	1,00	1,30	2,93	3,84	2,59	1,59	2,72	1,51	2,54	3,11	2,97	5,67	16,46
18	0,70	0,07	0,62	0	0	0	0	0	0	0,08	0,20	0,30	1,06	1,55	0,48	0,43	0,38	3,12	3,98	16,62
17	0	0,44	0,21	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0,08	0,07	0,11	0,92	0	0,28	0,36	4,95	17,46
16	0,33	0,65	0,18	0	0,01	0	0,02	0	0	0	0,02	0,02	0,01	0	0	0	0,28	0,03	2,91	15,93
15	0	0,16	0,28	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,14	0,55	3,72	16,23
14	20,76	13,00	1,78	1,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	0,01	0	0	0,02	0	1,55	19,05
13	29,28	25,66	21,21	9,48	4,33	1,90	0	0	0	0	0	21,11	31,73	20,27	10,47	4,14	0,31	3,47	2,18	35,05
12	23,98	21,90	27,52	25,77	24,59	16,54	9,20	0	0,62	2,08	3,46	27,99	36,49	35,64	30,59	29,98	27,60	26,17	26,14	36,70
11	22,10	20,77	22,08	21,56	27,31	27,32	31,11	26,90	29,08	27,27	27,49	31,89	33,78	32,62	27,80	26,07	27,83	26,97	31,40	41,60
10	18,16	18,31	19,14	23,49	25,55	26,55	30,74	33,15	36,92	37,77	37,94	34,45	28,12	25,49	24,47	24,32	25,79	23,78	26,10	37,16
9	16,31	15,60	19,29	17,93	20,22	23,94	26,99	31,87	34,59	27,23	14,53	10,93	10,77	16,16	18,67	18,55	19,57	18,07	21,63	34,42
8	3,91	6,29	8,52	10,22	15,47	18,39	20,77	25,53	31,70	29,87	8,48	0,48	0,21	0,19	0,01	2,17	6,65	14,45	19,98	28,67
7	2,63	7,99	1,87	2,12	0,14	0,36	4,90	11,84	26,02	35,82	21,26	1,51	0,41	0	0	0	0,11	3,68	9,13	23,76
6	0,57	0	2,03	0,11	0,02	0,59	0,45	0,49	1,23	7,83	6,21	0,20	0,10	0,00	0,04	0	0	0	6,48	26,40
5	0,08	0,42	0,33	0,33	0,71	0,00	0	0,41	2,63	0,22	0,18	0	0,56	0	0	0	0	0,34	0,66	23,90
4	0,02	0,40	0,24	0,28	0,05	0,02	0	0,26	0	1,23	0	0	0	0,02	0,03	0	0,32	0	0,62	22,74
3	0,96	1,22	0,44	0,11	0,04	0,04	1,53	0	0	0	0	0	0,05	0,21	0,74	0,74	0	0	3,16	21,99
2	0,68	0,67	1,02	0,82	0,51	0,77	0,14	0,01	0,00	0	0,00	10,09	0,01	0	0,04	0,21	0	0,04	3,37	24,22
1	43,00	38,01	30,66	24,57	1,39	2,49	1,40	0,39	0,15	2,96	0,40	0,72	0,20	0,28	0,02	1,12	1,85	1,42	16,54	21,81

REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,04	-1,46	-4,39	
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-5,76	-9,16	-13,82

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Teleskopickou trysku 2

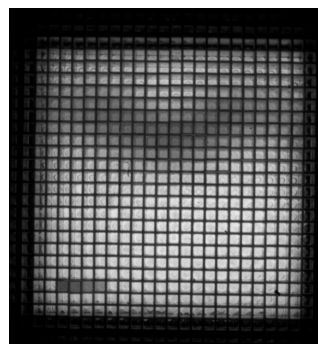
(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.27: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou

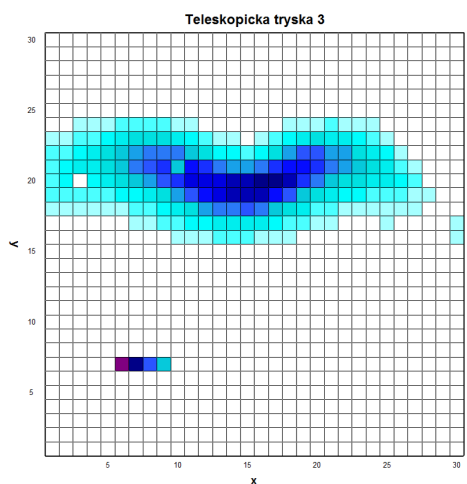
A.10 Teleskopická tryska 3



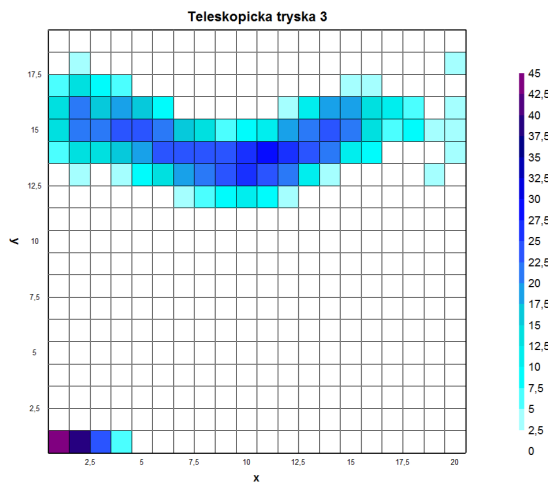
(a) Teleskopická tryska 3



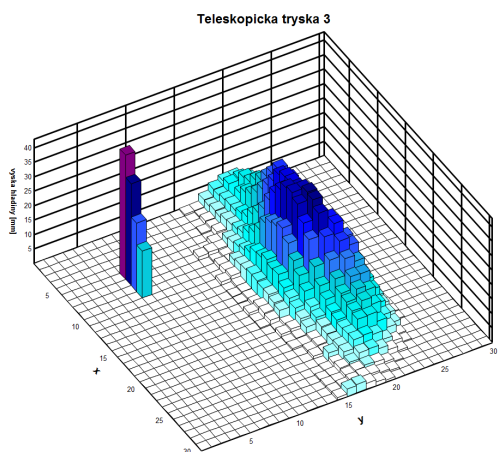
(b) Snímek obrazce vytvořeného Teleskopickou tryskou 3



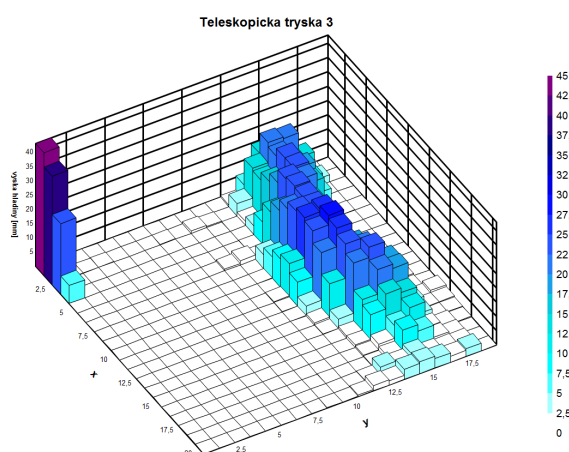
(c) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 2D zobrazení



(d) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 2D zobrazení



(e) Charakteristika trysky získaná pomocí senzoru - 3D zobrazení



(f) Charakteristika trysky získaná pomocí kamery - 3D zobrazení

Obr. A.28: Charakteristiky Teleskopické trysky 3

V/A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
25	0	0	0,43	1,08	1,51	1,63	1,25	0,73	0,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43	0,26	0,56	0,47	0,26	0	0	0	0	0	0	0					
24	0,43	0,43	3,31	3,96	4,99	5,46	6,45	6,54	5,25	4,82	3,14	0,65	0	0	0	0,30	0,56	3,70	4,95	4,90	5,25	4,64	3,66	2,58	0,77	0,39	0	0	0	0					
23	3,44	4,64	6,06	6,58	8,86	10,49	12,64	13,24	13,03	11,31	8,21	5,68	3,91	3,44	0,95	3,35	6,15	9,80	11,74	12,99	12,21	10,88	8,30	6,32	4,39	1,81	0,60	0	0	0					
22	5,20	7,27	8,94	10,41	12,64	15,57	19,35	21,20	21,76	21,33	17,46	13,59	9,93	7,57	7,48	8,99	13,85	19,31	23,99	23,31	19,95	17,67	14,23	11,44	7,78	3,61	2,15	0,34	0	0					
21	7,01	8,90	11,14	11,91	14,75	16,94	20,34	23,56	27,26	15,65	28,12	25,37	22,27	19,82	18,79	21,33	26,79	29,46	29,84	25,97	22,02	17,93	15,74	13,93	11,05	6,62	3,78	1,33	0,56	0					
20	7,01	8,21	0,47	9,33	11,61	13,33	15,91	19,35	22,70	26,32	30,53	32,12	32,47	32,68	34,49	35,48	35,00	32,55	26,49	20,60	16,25	13,42	12,60	11,61	10,92	7,61	5,07	2,49	1,16	0,69					
19	5,46	5,33	6,02	6,49	6,58	7,70	8,82	11,74	14,58	17,97	23,18	27,78	31,09	33,76	34,49	32,68	28,12	24,60	17,46	13,03	10,41	8,13	7,57	6,79	7,10	7,27	4,90	2,80	1,94	1,20					
18	3,05	2,88	3,66	3,40	4,56	4,90	5,72	6,67	8,90	11,22	14,23	18,58	20,77	21,76	23,44	20,34	16,43	13,42	10,23	6,92	5,33	4,39	4,04	3,83	4,13	4,26	2,80	2,19	2,11	2,06					
17	0,56	0,43	1,20	1,08	1,76	1,33	3,53	4,26	5,12	6,11	7,65	9,72	10,19	11,65	10,41	10,75	8,36	6,79	5,55	4,04	3,27	1,20	1,42	1,12	2,92	1,42	2,06	1,68	1,85	2,88					
16	0,47	0	0	0,43	0	1,29	1,46	0,95	1,42	3,87	4,52	4,90	5,55	5,55	5,03	4,99	4,30	3,83	1,20	1,76	0,82	0,56	0,65	0,95	0	0,34	0,56	0,77	1,12	2,84					
15	0	0	0	0	0	0	1,55	0,47	1,29	1,68	1,98	0,77	0,77	0,69	0,90	2,02	2,06	1,72	0,30	1,20	0,34	0,60	0	0	0	0	0,43	0,69	0,73	0,82					
14	0	0	0	0	0	0	1,20	0	0	0	1,20	0	0,34	0,22	0	1,20	0,34	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. A.29: Tabulka hodnot naměřených senzorem pro Teleskopickou trysku 3

V/X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19	8,21	9,46	8,45	4,43	2,57	0	0,19	0,01	0,14	0,07	0,12	0	0,33	0,58	0,01	0,01	0,27	0,00	1,17	9,10
18	7,23	7,47	11,92	4,88	1,51	3,39	0,76	0	0	0	0	0,19	0,10	0,39	0,01	0	0	0	0,09	9,17
17	3,84	11,55	21,36	21,11	13,68	8,21	1,83	1,81	2,82	0	0,04	0	2,89	0,14	0,54	0,01	1,43	0	0,10	8,73
16	5,60	8,63	19,60	27,90	28,59	24,21	18,87	11,03	3,16	0,06	0,86	0,10	0,75	1,75	2,56	1,33	0,67	4,31	5,27	11,05
15	6,38	4,21	14,23	21,62	24,66	24,36	25,05	22,62	18,44	18,66	15,64	13,60	22,72	22,77	22,56	20,41	14,82	9,53	6,41	29,44
14	1,36	4,88	0,38	6,55	4,82	8,14	14,17	17,46	24,97	27,42	33,75	35,56	36,72	38,66	37,33	32,42	26,27	20,68	17,47	22,65
13	0,49	0	0,20	0	0,40	0	2,66	12,43	29,68	37,68	43,10	42,23	42,16	40,53	38,08	33,53	28,84	26,04	25,11	34,30
12	0,45	0	0,01	1,34	1,21	0,01	9,68	19,36	31,23	37,63	40,27	38,02	38,39	36,28	31,35	29,19	27,55	26,82	26,68	34,14
11	2,15	1,64	2,19	0,32	0,97	8,92	18,33	24,69	27,77	26,21	24,28	24,71	22,94	25,14	20,51	15,65	15,76	13,84	16,10	25,95
10	1,98	2,76	1,65	7,10	13,58	19,06	22,81	20,13	15,62	8,90	1,75	1,01	4,20	3,25	0,20	0,19	2,04	0,94	2,10	14,97
9	5,58	9,00	13,11	17,44	19,57	20,99	15,66	9,60	0,16	0	0	0	0	0,00	0	0	0,14	0,64	0,90	22,83
8	10,71	17,26	20,11	20,85	18,01	10,22	3,87	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	2,90
7	14,10	14,57	17,35	13,35	4,15	0,13	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,65
6	8,85	11,43	8,98	2,54	0,12	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,08
5	3,63	4,66	1,24	0,61	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,81
4	4,05	1,90	1,79	1,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26
3	3,09	4,33	1,24	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	1,71
2	2,29	3,00	1,17	0	0,07	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45
1	43,00	35,72	31,41	22,45	0,13	0,27	0,06	0	0,04	0,00	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,32	4,11

REFERENCE [mm]	43,00	32,25	21,50	10,75
$H_{ref} - H_{sen}$ [mm]	0,04	-2,97	-5,42	-5,42
$H_{ref} - H_{kam}$ [mm]	0,00	-5,85	-3,24	4,41

(a) Tabulka hodnot naměřených kamerou pro Teleskopickou trysku 3

(b) Srovnání naměřených hodnot barevné škály vůči referenci

Obr. A.30: Tabulky hodnot: (a) kamera a (b) výsledné srovnání, kde $H_{ref, sen, kam}$ je výška hladin reference, naměřené senzorem a kamerou