

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra radioelektroniky



Bakalářská práce

**DEMONSTRAČNÍ SYSTÉM PRO SNÍMÁNÍ  
STEREOSKOPICKÉHO VIDEOA**

Jiří Breitkopf

Vedoucí práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Multimediální technika

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra radioelektroniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Jiří Breitkopf

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Demonstrační systém pro snímání stereoskopického videa**

Pokyny pro vypracování:

Podějte přehled problematiky snímání stereoskopického videa pomocí dvou videokamer na speciální montáži. Realizujte softwarové a hardwarové vybavení, které uživateli umožní pohodlné nastavení důležitých parametrů snímání s živým náhledem na různých typech stereoskopických zobrazovačů. Připravte detailní dokumentaci k tomuto vybavení včetně souboru typických úloh snímání ve stereoskopii, které budou demonstrovat vliv vybraných parametrů na kvalitu pozorovaného obrazu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Ozaktas, H. M., Onural, L.: Three-Dimensional Television: Capture, Transmission, Display, Springer, 2008.
- [2] Javidi, B., Okano, F.: Three-Dimensional Television, Video, and Display Technologies, Springer, 2002.

Vedoucí: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

doc. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 10. 2. 2015

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2015

.....

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Karlu Fliegelovi, Ph.D., za jeho čas a další cenné rady, které se pozitivně podílely na celkovém zpracování práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině a všem blízkým, kteří mě silně podporovali nejen při vypracovávání této práce, ale i po celou dobu studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou snímání stereoskopického videa pomocí dvou kamer na speciální montáži a realizací softwarového vybavení, umožňující uživateli nastavení důležitých parametrů snímání stereoskopického obrazu s živým náhledem. Dále se zabývá měřením spektrálních vlastností displejů, přeslechů jednotlivých 3D systémů a vytvořením souboru typických úloh, demonstrujících vliv vybraných parametrů na kvalitu pozorovaného obrazu. Tyto úlohy jsou v podobě návodu obsaženy na konci práce v přílohách.

## **Klíčová slova**

stereoskopická báze, paralaxa, stereoskopické okno, zrcadlový rig, aktivní 3D, pasivní 3D, anaglyf, přeslech, spektrum

## **Abstract**

This thesis deals with the issues of stereoscopic video recording using two cameras on special construction, and making the software equipment enabling the user to adjust the important parameters of recording the stereoscopic motion picture with live view option. Further deals with the measuring of spectral display qualities, crosstalk of individual 3D systems and creating the set of typical tasks, demonstrating the influence of selected parameters on the quality of the displayed motion picture. These tasks are presented in the form of manual in the annexes in the end of this thesis.

## **Key words**

stereoscopic base, parallax, stereo window, mirror rig, active 3D, passive 3D, anaglyph, crosstalk, spectrum

# Obsah

1. Úvod .....	8
1.1 Cíl práce .....	8
1.2 Struktura práce .....	8
2. Stereoskopické vnímání .....	9
3. Základní terminologie.....	11
3.1 Stereoskopická báze .....	11
3.2 Paralaxa .....	12
3.2.1 Pozitivní paralaxa .....	12
3.2.2 Nulová paralaxa .....	13
3.2.3 Negativní paralaxa .....	13
3.3 Postprodukční úpravy .....	14
3.3.1 Stereoskopické okno .....	14
3.3.2 Sesazení na referenční objekt .....	14
4. Technické vybavení .....	15
4.1 Kamera a objektiv .....	15
4.2 Grabovací karty.....	16
4.3 Zrcadlový rig.....	17
4.4 Zobrazovače.....	18
4.5 Měřicí zařízení.....	19
5. Snímání stereoskopického videa .....	20
5.1 Rozmístění scény .....	20
5.2 Nastavení kamer .....	21
5.3 Zarovnání kamer .....	22
5.4 Nastavení optimální stereoskopické báze .....	24
6. Vytvořené programové vybavení .....	26
6.1 Python.....	26
6.2 OpenCV .....	26
6.3 Instalace.....	27
6.4 Vytvořený program.....	27

6.4.1 Inicializace kamer .....	28
6.4.2 Zarovnání systému .....	29
6.4.3 Živý náhled 3D.....	30
6.4.4 Export informací.....	31
7. Měření přeslechů jednotlivých 3D systémů .....	32
7.1 Měření přístrojem AvaSpec .....	33
7.2 Měření přístrojem PR-740 .....	39
7.3 Propustnost anaglyfových filtrů .....	43
7.3.1 Měření přeslechů anaglyfu s přístrojem AvaSpec .....	47
7.3.2 Měření přeslechů anaglyfu s přístrojem PR-740 .....	49
7.4 Měření přístrojem ITL 1400-BL .....	50
8. Závěrečné zhodnocení.....	51
9. Bibliografie.....	53
10. Seznam obrázků a tabulek.....	55
11. Přílohy.....	57
11.1 Příloha č. 1 - Struktura datového nosiče .....	58
11.2 Příloha č. 2 - Zarovnání stereoskopického systému .....	59
11.3 Příloha č. 3 - Umístění stereoskopického okna .....	65
11.4 Příloha č. 4 - Měření přeslechů 3D zobrazovačů .....	68

# 1. Úvod

V této kapitole bych rád shrnul hlavní cíl práce a blíže přiblížil její strukturu. Práce volně navazuje na předchozí projekt, který bylo nutné především v programové části značně vylepšit, aby uživatel mohl pohodlně nastavovat důležité parametry stereoskopického videa. Práce je rozšířena o měření spektrálních propustností filtrů anaglyfových brýlí, které byly pro testování jejich kvality jako jednoduchého a dostupného 3D formátu zakoupeny. Dále pak o měření míry přeslechů jednotlivých 3D formátů pro porovnání jejich kvality a v neposlední řadě také o změření spektrálních vlastností jednotlivých zobrazovačů.

## 1.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je podat přehled problematiky snímání a zpracování stereoskopického videa pomocí dvou videokamer na speciální stereoskopické montáži s polopropustným zrcadlem. K tomuto systému vhodně navrhnout a vytvořit softwarové vybavení, které uživateli umožní pohodlné nastavení důležitých parametrů snímání s možností stereoskopického náhledu v reálném čase na různých typech stereoskopických zobrazovačů. K tomuto systému dále připravit detailní dokumentaci včetně souboru typických úloh snímání ve stereoskopii, které budou demonstrovat vliv vybraných parametrů na kvalitu pozorovaného obrazu.

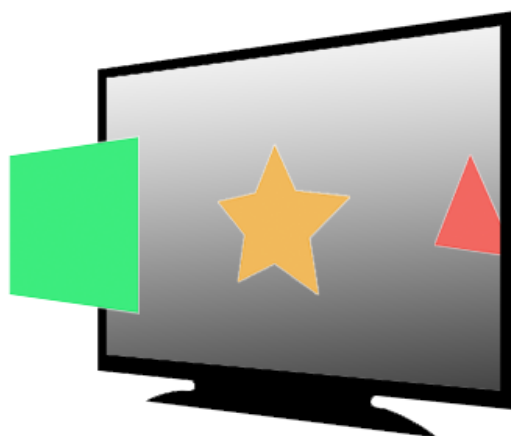
## 1.2 Struktura práce

Teoretická část byla vypracována na základě prostudovaných zdrojů uvedených na konci této práce. V první části je nejprve vysvětlen základ stereoskopického vnímání a díky čemu člověk vnímá prostorovou hloubku v obraze. Dále základní, dnes používané technologie a metody stereoskopického snímání a zobrazování a základní terminologie nutná k další práci. Následně je shrnuto technické vybavení, které jsem měl při práci k dispozici. V praktické části jsou popsány postupy, jakými jsem ověřoval základní parametry snímání daným systémem pro získání optimálních výsledků, detailní popis vytvořeného softwarového vybavení a vyhodnocení změřených parametrů zobrazovačů, které jsem měl k dispozici. V příloze jsou pak uvedeny návody k úlohám, které mohou sloužit jako výukový materiál pro pozorování vlivu vybraných parametrů na výslednou kvalitu stereoskopického obrazu.



## 2. Stereoskopické vnímání

Princip hloubkového vjemu je založen na faktu, že člověk má dvě oči a svět vidí z dvou různých úhlů, protože lidské oči jsou u dospělého jedince od sebe vzdáleny cca 7cm. Lidský mozek tedy dostává dva různé obrazy stejné scény, které jsou horizontálně posunuty. Obrazy spojí a z jejich rozdílů následně vyhodnocuje prostorovou hloubku. Díky tomu můžeme bezpečně rozpoznat, které předměty jsou k nám blíže a které dále (obrázek 1). Další možnost rozlišení vzdálenosti jednotlivých předmětů je na základě monokulárních vodítek. Tedy že ze zkušenosti člověk rozlišuje vzdálenost předmětů také dle toho, že se objekty překrývají. Další možností je pak vizuální porovnání objektů, kdy vzdálenější předměty mají obecně méně detailů a mnohdy jsou i více mlhavé a méně jasné, což je dané atmosférickými vlivy. [5]



Obrázek 1: Ilustrace 3D (převzato z [10])

V kinematografii se využívá speciální montáže kamer nazývané stereoskopický rig, který zaručuje snímání jedné scény dvěma kamerami, které jsou vzájemně horizontálně posunuty. Zde jsou obecně známé dvě varianty. V první se jedná o jednoduchou simulaci rozestupu lidských očí, kdy jsou kamery umístěny vedle sebe na speciální ližině. Lze jednoduše měnit jejich vzdálenost v závislosti na snímané scéně. Značnou nevýhodou tohoto systému je nemožnost nastavení dostatečně malé vzdálenosti mezi kamerami, způsobená jejich rozměry. Profesionálnější technologie proto využívá polopropustné zrcadlo, které svírá úhel 45 stupňů. První kamera pak snímá obraz odražený od zrcadla, zatímco druhá obraz, který přes zrcadlo prochází (obrázek 2). Výsledkem je možnost nastavení i nulové vzdálenosti mezi kamerami.

Získané obrazy se dále postprodukčně upravují, aby byl efekt přirozený a pozorovatel si bez větších problémů obrazy spojil a vytvořil si dojem prostorového vnímání. Musí být tedy zaručeno, aby divák každým okem viděl pouze ten obraz, který je pro dané oko určený. Toto je zajištěno několika způsoby. Mezi dva nejrozšířenější patří tzv. pasivní a aktivní technologie.

Pasivní technologie využívá rozdílné polarizace promítaných obrazů. Je zde nutné mít dva projektory s různou polarizací, speciální postříbřenou projekční plochu, která při odrazu obrazu zachovává jeho polarizaci, a brýle s odpovídajícími polarizacemi pro každé oko. U aktivní technologie se obrazy promítají dvojnásobnou frekvencí. Stačí tedy jeden projektor a normální projekční plocha. Nutností jsou ale aktivní brýle s přesnou synchronizací, které se starají o zatmívání jednotlivých očí v době kdy, je obraz promítaný pro oko druhé. S dostatečně vysokou frekvencí a při vhodném osvětlení člověk toto zatmívání nevnímá. Poslední stále ještě využívanou technologií je anaglyf. Zde se jedná o jedinou technologii, která nevyžaduje žádný speciální projektor ani drahé brýle. Dokonce je možné touto technologií tisknout 3D fotografie na papír, opět bez použití speciálních tiskáren. Jednoduše jsou z dvou nasnímaných obrazů získány pouze jednotlivé barevné kanály. Nejrozšířenější je metoda využívající červený kanál pro levé oko a azurový kanál pro oko pravé. Divák má nasazený brýle s odpovídajícími barevnými filtry. V místě, kde se obrazy překrývají, vzniká barevný obraz. Nedokonalostí této technologie je ale právě barevné podání, které je silně deformováno. [2] Proto je tuto technologii dobré využívat pro černobílý obraz, kde ale také není zcela bezproblémové sledovat danou scénu. Této problematice se budu podrobněji věnovat v dalších kapitolách.



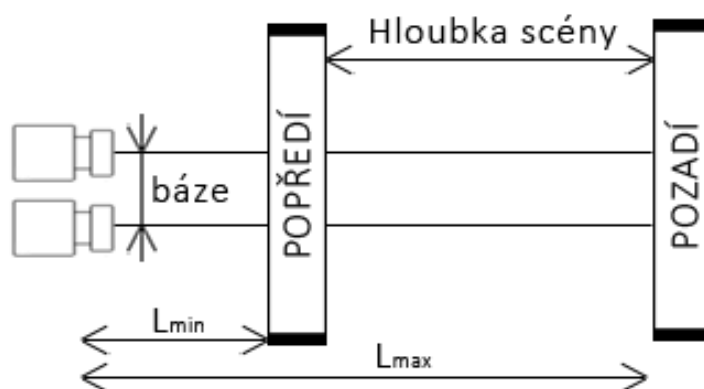
Obrázek 2: Ukázka rigu s polopropustným zrcadlem (převzato z [14])

### 3. Základní terminologie

V této kapitole bych rád stručně shrnul nejzákladnější parametry a názvy potřebné k práci se stereoskopickým videem, které jsem podrobněji popisoval v předchozích projektech, na které tato práce navazuje. [4]

#### 3.1 Stereoskopická báze

Jednoduše řečeno se jedná o vzdálenost mezi kamerami, respektive vzdálenost mezi optickými osami objektivů jednotlivých kamer, která je velmi důležitým parametrem k získání kvalitního prostorového dojmu ve výsledném snímku. Tato vzdálenost není vždy stejná, jako je rozestup lidských očí, ale závisí na několika parametrech a může se pohybovat od minimálních vzdáleností pro blízké detaily až po vzdálenosti v jednotkách metrů pro natáčení například vzdálených pohoří. [9]



Obrázek 3 : Parametry pro určení stereoskopické báze (inspirace [11])

Můžeme ji jednoduše stanovit pomocí vzorce, který je závislý na velikosti snímacího čipu kamery, použitém objektivu, nejbližším a nejvzdálenějším objektu ve scéně a velikosti požadovaného 3D efektu. [9]

$$BASE = \frac{k}{f} \times \frac{(L_{max} \times L_{min})}{(L_{max} - L_{min})}, \quad (1)$$

kde  $f$  je ohnisková vzdálenost objektivu,  $L_{min}$  je vzdálenost nejbližšího objektu ve scéně,  $L_{max}$  je vzdálenost nejvzdálenějšího objektu ve scéně,  $k$  je parametr udávající maximální mezeru mezi levým a pravým obrázkem na snímači.

Parametr  $k$  lze vypočítat z následujícího vzorce:

$$k = w \times \frac{par}{s}, \quad (2)$$

kde  $w$  je šířka použitého CCD snímače kamery (velikost filmového políčka),  $s$  je šířka zobrazovače (promítací plochy),  $par$  je požadovaná velikost paralaxy.

Je standardně udáván jako 1,2 mm pro 35mm film. Při tomto rozdílu je totiž pro většinu lidí jednoduché správně vnímat stereoskopické video. Celá formule pro výpočet stereoskopické báze je ale lehce zjednodušena z jejího plného tvaru, [9] který zní:

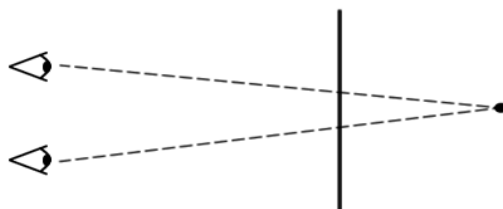
$$BASE = \frac{k}{f} \times \frac{(L_{max} \times L_{min})}{(L_{max} - L_{min})} - \left( \frac{L_{max} + L_{min}}{2 \times L_{max} \times L_{min}} \right) \quad (3)$$

## 3.2 Paralaxa

Jedná se o vzdálenost souhlasných bodů levého a pravého snímku měřenou na výstupním zařízení. V ideálním případě vzniká pouze horizontální paralaxa, kterou rozdělujeme do tří hlavních kategorií. [12]

### 3.2.1 Pozitivní paralaxa

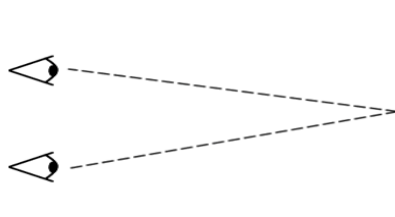
Objekt je vnímán tak, jako by se nacházel za projekční plochou. V praxi je tento typ paralaxy velmi používán, pro diváka totiž není příliš namáhavý a poskytuje dostatečný efekt. Nesmí se ovšem překročit hranice, kdy začne přecházet do divergentní paralaxy. Pokud bychom chtěli dosáhnout co největší pozitivní paralaxy, tak by objekt, na který se divák snaží zaostřit, musel ležet v nekonečnu. Velikost paralaxy by se pak rovnala rozestupu očí - optické osy očí by byly rovnoběžné.



Obrázek 4: Pozitivní paralaxa

### 3.2.2 Nulová paralaxa

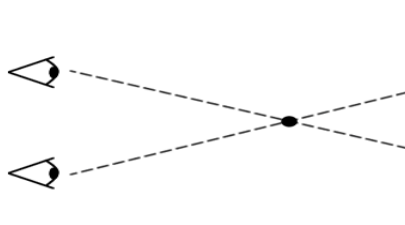
Objekt je vnímán tak, jako by ležel v projekční ploše. Souhlasné body levého a pravého snímku jsou shodné. Nulovou paralaxu má zpravidla referenční objekt ve scéně. Jedná se o objekt, který by měl divák primárně sledovat, a tedy na něj zaostřovat. Pokud má tento objekt nulovou paralaxu, je na něj jednodušší zaostřit, než kdyby měl výraznou pozitivní nebo negativní paralaxu.



Obrázek 5: Nulová paralaxa

### 3.2.3 Negativní paralaxa

Objekt je vnímán tak, jako by se nalézal před projekční plochou. Jedna z vlastností, proč jsou 3D filmy tak zajímavé, kdy na diváka například něco letí. Souhlasné body pravého snímku se nacházejí vlevo, vedle souhlasných bodů levého snímku. Tento druh paralaxy je poměrně namáhavý pro oči a měl by se proto používat s rozmyslem.



Obrázek 6: Negativní paralaxa

Na velkých promítacích plátnech nebo na velké vzdálenosti se ještě uplatňuje tzv. **divergentní paralaxa**, o které jsem se již zmínil u pozitivní paralaxy. Jedná se o speciální případ, kdy se optické osy očí rozcházejí. Bylo by totiž velmi obtížné dodržet paralaxu menší, než je vzdálenost lidských očí. Prostorový efekt by pak byl zanedbatelný. Jelikož se ale tento jev v reálném světě nevyskytuje a je pro člověka velmi obtížný a nepřirozený, existuje mezní úhel, do kterého je mozek schopný tyto informace ještě korektně zpracovat. Maximální stupeň divergence by proto měl být do 1,5 stupně. [5]

## 3.3 Postprodukční úpravy

Jednou z posledních velmi důležitých úprav je postprodukční sesazení snímků na referenční objekt a vhodné umístění stereoskopického okna. To vytváří určitý pohled do dané scény.

### 3.3.1 Stereoskopické okno

Jedná se o jakýsi rámeček ohraničující snímek a hraje velmi důležitou roli ve výsledném dojmu. Divák se jeho prostřednictvím jednoduše řečeno dívá do scény.

Správně by mělo korespondovat s okrajem obrazovky. To v praxi znamená, že jeho poloha by měla být před všemi objekty, které svými rozměry vystupují mimo okraje obrazovky, respektive na úrovni nejbližšího objektu, který okraj překračuje - tento objekt má pak nulovou paralaxu. Ve většině případů se zároveň jedná i o pozici referenčního objektu. Před stereoskopickým oknem mohou být pouze předměty, které nepřekračují svou polohou okraje obrazovky. [6]

Nesprávným umístěním stereoskopického okna by ve snímku vznikaly nesmyslné chyby. Mozek by tuto scénu nedokázal korektně vyhodnotit, takže by nedošlo ke správnému propojení snímků a nenastal by prostorový efekt. Případně by došlo ke spojení snímku a tím ke vzniku prostorového dojmu, ale při pohledu ke krajům obrazovky by nastával problém s tím, že objekt, o kterém si myslíme, že by měl být před obrazovkou, v jejích okrajích náhle mizí. Tyto aspekty pak působí velmi bolestivě pro oči a mozek, který tento jev z reálného světa nezná a není ho schopen pochopit.

### 3.3.2 Sesazení na referenční objekt

Sesazení snímků na referenční objekt je také velmi důležitá postprodukční úprava výsledného videa. Jedná se jednoduše o to, že primární objekt, který ve scéně chceme zachytit, by měl být pro diváka na první pohled jednoduše rozpoznatelný. Je to totiž hlavní věc, na kterou by se divák měl soustředit, a tím pádem je pro něj jednodušší sledovat objekt, který je pro každé oko stejný nebo alespoň velmi podobný - s minimální deviací obrazových bodů. Tento objekt pak obklopuje celá scéna, která je již v obraze pro levé a pravé oko rozdílná dle nastavených parametrů při snímání. [4]

## 4. Technické vybavení

V bakalářské práci jsem měl k dispozici dvě identické kamery Blackmagic Pocket Cinema Camera ve spojení s objektivem Panasonic Lumix G 14mm, zrcadlový stereoskopický rig, který vznikl na fakultě v rámci jiné práce, a grabovací karty Blackmagic do PCI, díky kterým bylo možné přenášet živý obraz z kamer do počítače. Jako zobrazovací techniku jsem měl možnost použít aktivní plazmový 3D televizor Panasonic TX-P50VT20EA, pasivní LCD 3D televizor LG 47LW6505 a jako poslední autostereoskopický displej Philips/Dimenco BDL4251VS. Pro měření spektrálních a světelných propustností anaglyfových brýlí a vybraných zobrazovačů jsme použili několik přístrojů, aby bylo možné porovnat jejich výsledky. Jednalo se o profesionální spektrofotometr SpectraScan PR-740 od firmy PhotoResearch, dále pak vláknový spektrometr AvaSpec-ULS2048 od firmy Avantes a nakonec ještě lightmetr ILT 1400-BL od firmy International Light Technologies.

### 4.1 Kamera a objektiv

Jedná se o kvalitní kamery, které se vyznačují kompaktními rozměry a vysokou kvalitou výsledného videa. Kamery disponují jednoduchým menu, ve kterém se vcelku rychle a pohodlně dají nastavit nejdůležitější parametry nahrávání. Formát, který jsem při záznamu používal, byl velmi kvalitní Apple ProRes 422 HQ v rozlišení 1080p25. Přesto kamery disponují ještě kvalitnějším nekomprimovaným formátem Cinema DNG RAW, který byl ovšem pro naše podmínky zbytečně datově náročný.



Obrázek 7: Rozměry kamery Blackmagic (převzato z [13])

Rozměr snímáče:	12,48 mm x 7,02 mm
Rozlišení záznamu:	1920 x 1080
Rychlosti snímání:	23,98p; 24p; 25p; 29,97p; 30p
Dynamický rozsah:	13 kroků
Bajonet objektivu:	Micro 4/3

Objektiv použitý na kamerách byl Panasonic Lumix G 14mm f/2,5 ASPH. Jedná se o kvalitní objektiv s pěknou kresbou a dostatečnou světelností pro použití na zrcadlovém rigu, jelikož při průchodu zrcadlem se část světla pohlcuje. Ohnisková vzdálenost 14 mm je také optimální, jelikož kamery Blackmagic mají rozměr snímače odpovídající rozměrům filmového formátu Super 16mm, tak je zde přepočtená ohnisková vzdálenost na ekvivalent 35mm (tzv. Crop faktor) roven hodnotě 2,88. Tedy zhruba 40 mm. Při výpočtu stereoskopické báze musíme tedy užívat tuto hodnotu nebo musíme přepočítat parametr  $k$ .

Nevýhoda, na kterou jsme přišli v průběhu natáčení, je nemožnost manuálního ostření, jelikož objektiv na kameře nesedí pevně na stejném místě, ale bajonet objektivu je trochu volný. Tím pádem se při každém dotyku může objektiv lehce pohnout, což naprosto rozhodí výchozí zarovnání pozice kamer. Z praxe se osvědčilo s kamerami ostřit automaticky. Ovšem za pomoci kontrastních tabulek, nebo vzoru, na který kamera dokáže bezpečně zaostřit. Je možné použít jednoduché vzory vytištěné na papíře, které dobře poslouží i právě na zarovnání výchozí pozice kamer. Tabulky pak umísťujeme do středu, kam kamery defaultně ostří, do vzdálenosti, na kterou chceme zaostřit.

## 4.2 Grabovací karty

O přenos, respektive dekódování živého náhledu z kamer se starají dvě grabovací karty od firmy Blackmagic design zapojené do sběrnice PCIe v počítači. Jedná se o kartu Intensity Pro, která obsahuje jeden HDMI vstup (se vzorkovacím poměrem 4 : 2 : 2), identický HDMI výstup a jeden konektor Intensity Pro Breakout (speciální sdružený složkový konektor výrobce).



Obrázek 8: Blackmagic Intensity Pro (převzato z [13])

Karta dokáže dekódovat video v nekomprimovaném SD i HD formátu a dále pracuje s většinou komprimovaných kodeků, jako je například námi používaný Apple ProRes. Kamery Blackmagic mají přímý výstup HDMI, respektive mini HDMI, takže se s těmito kartami dají jednoduše propojit. Po HDMI se dají přenášet i informace vhodné k natáčení, jako je zebra, ostřicí peaky, clona, citlivost a další užitečné informace.



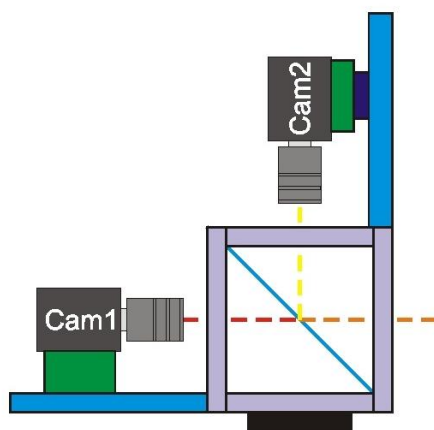
## 4.3 Zrcadlový rig

Zrcadlový nebo též beam-splitter (paprsky-rozdělující) rig je již profesionální řešení kamerové montáže pro stereoskopické natáčení ve srovnání se side-by-side technologií. Hlavní část zde tvoří polopropustné zrcadlo, které je zde umístěno tak, aby rozdělovalo paprsky dopadajícího světla do obou kamer.

První kamera je umístěna za zrcadlem a paprsky světla do ní dopadají průchodem přes polopropustné zrcadlo. Většinou se jedná o kameru hlavní, tedy tu, se kterou se primárně nemění stereoskopická báze.

Druhá kamera je umístěna kolmo na první kameru, většinou shora nebo zespoda. Do této kamery dopadají paprsky světla odražené od polopropustného zrcadla. Pohybem v horizontální rovině se touto kamerou nastavuje zvolená stereoskopická báze.

Rig s polopropustným zrcadlem, který v projektu užíváme, byl vyroben zde na fakultě v rámci jiné práce. Jedná se o vcelku jednoduchou základní koncepci rigu, kde hlavní část tvoří box, kde je pod úhlem 45 stupňů vloženo polopropustné zrcadlo. To v horizontálním směru propouští světlo do hlavní kamery a do druhé, která je uchycena kolmo shora, jej vertikálně odrazí. Princip funkce je jednoznačný z původní dokumentace jeho autora, zobrazené na obrázku 9.



Obrázek 9: Bokorys 3D rigu

Koncepčně vychází ze stereoskopického rigu 3D-BS společnosti 3D Film Factory. Konstrukce je velmi podobná, avšak o mnoho jednodušší. Jsou zde pouze nejnútnejší komponenty potřebné ke správné funkčnosti. Samotné destičky soužící k uchycení a zarovnání kamer jsou využity ze side-by-side rigu micro3D SxS.

## 4.4 Zobrazovače

K testům jsem zvolil jako primární pasivní LCD televizor LG (47LW6505), který je oproti aktivní plazmové televizi Panasonic (TX-P50VT20EA) vhodnější na pozorování stereoskopického videa při běžném osvětlení, dále pak výrazně neblíká oproti televizoru Panasonic a nevyžaduje aktivní napájené brýle. Celkově se dá říci, že je tato technologie jednodušší pro běžnou obsluhu a je vhodnější pro dlouhodobé sledování. Bohužel kvůli polarizaci jednotlivých řádků divák přichází o polovinu rozlišení. V neposlední řadě se jedná o úspornější technologii, která navíc nevydává téměř žádné teplo v porovnání s plazmovou TV. Proto jsem ji zvolil jako primární při sledování parametrů stereoskopického videa, dále jsme pak na tomto displeji prováděli měření barevných propustností anaglyfových brýlí. Jelikož jsem měl pokrýt co možná největší možné pole různých typů zobrazovačů, pokusili jsme se i o zprovoznění autostereoskopického displeje Philips/Dimenco BDL4251VS (obrázek 10). Přehrávání natočených sekvencí je možné pomocí dodávaného softwarového přehrávače Dimenco player, například z nejběžnějšího stereoskopického formátu SBS (Side-by-Side), respektive Half SBS - obrazy jsou horizontálně stlačeny na polovinu. Živý přenos obrazu se nám bohužel zprovoznit nepodařilo, přestože by jej dle výrobce mělo jít reprodukovat. V přehrávači ani dokumentaci není možnost zvolit živý vstup ani informace, jaký budič signál a jakým způsobem by měl být do televize, respektive do jejího výpočetního jádra Dimenco Rendering Core Premium vyslán. Informace o přehrávání živého výstupu z kamer a jeho reprodukce v reálném čase nejsou z běžných zdrojů dostupné. Pro kontrolní živý náhled se ale tento displej vzhledem k jeho hmotnosti stejně příliš nehodí, proto je možnost přehrávání výsledného videa pomocí přehrávače v počítači dostačující.



Obrázek 10: Philips/Dimenco BDL4251VS (převzato z [15])

## 4.5 Měřicí zařízení

Spektrální propustnosti filtrů anaglyfových brýlí, které jsme zakoupili pro jejich testování, jakožto nejlevnější 3D formát, jsme měřili pomocí vláknového spektrometru AvaSpec. Jednalo se o typ ULS2048 od firmy Avantes (obrázek 11). To je poměrně dostupný spektrometr střední třídy. Měření probíhá prostřednictvím dodávaného softwaru v počítači, do kterého je přístroj připojen pomocí USB kabelu. Vstupním členem přístroje je optické vlákno zakončené kosinovým korektorem. Výhodou tohoto přístroje je poměrně rychlé měření s velkým množstvím nastavení, díky programu je pak možné jednotlivá měření ukládat nebo aktuálně sledovat. Poskytuje kvalitní výsledky i přesto, že jde o přístroj, který měří pouze relativně. Je jej tedy nutné před každým měřením kalibrovat. S tímto přístrojem jsme dále měřili i vlastnosti zobrazovačů.



Obrázek 11: Avantes AvaSpec ULS2048 (převzato z [16])

Další přístroj, kterým jsme měřili vlastnosti zobrazovačů, byl profesionální spektrofotometr SpectraScan PR-740 od firmy PhotoResearch. Ten již měří absolutně, brali jsme jej tedy jako nejpresnější a nejkvalitnější. Výsledky i jejich porovnání budou uvedeny v dalších kapitolách. Výhoda PR-740 spočívá především v možnosti měření z pozice pozorovatele pomocí objektivu. Velmi jednoduše řečeno je možné přístrojem měřící plochu natáčet jako běžnou kamerou. Pomocí hledáčku je pouze nutné zamířit na část obrazovky. Přístroj umožňuje měření jak připojený k počítači, tak samotný s využitím integrovaného akumulátoru. Při měření v terénu je možné ovládat vše pomocí tlačítek nebo dotykového displeje na těle přístroje. Jednotlivá měření se na displeji mohou prohlížet a případně dále ukládat na paměťovou kartu. Nakonec jsme provedli měření přeslechů i pomocí nejjednoduššího Lightmetru ITL 1400-BL, který měří pouze intenzitu osvětlení. Opět se jedná o přístroj neměřící absolutně. Měření je s ním ale velmi rychlé a jednoduché. Výsledky není možné zaznamenávat, zobrazují se pouze na displeji. Kalibrace se provádí pouze vynulováním při zakrytí sondy.

## 5. Snímání stereoskopického videa

Pro optimální kvalitu výsledného videa je zapotřebí nastavit následující parametry a vyvarovat se chybám způsobujícím rušivé aspekty, které kazí výsledný dojem ze scény.

### 5.1 Rozmístění scény

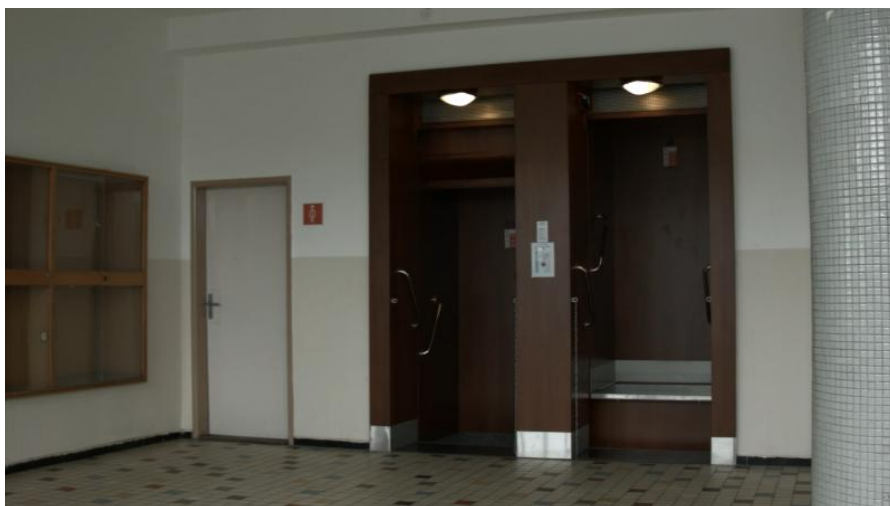
Pro základní rozestavění a výběr scény můžeme použít známá pravidla kompozice scény, jako je například zlatý řez, rozdělení snímku na třetiny nebo další známá pravidla správné kompozice. V tomto ohledu se snímání stereoskopického obrazu příliš neodlišuje.

Dále musíme kontrolovat okraje obou kamer, kde by nemělo docházet k přílišným odlišnostem, například aby první kamera nesnímala objekt, který v druhé kameře není viditelný.

Velmi důležité je při natáčení vymežit minimální možnou vzdálenost objektů, kterou nesmíme nepřekročit. Dá se jednoduše vypočítat ze známého vztahu uvedeného v kapitole 3.1, která se touto problematikou zabývá. Při překročení této minimální vzdálenosti by pak docházelo k velkému posunutí souhlasných obrazových bodů levého a pravého snímku a mozek by si je již nemusel dokázat spojit. Obraz by nebylo možné pohodlně sledovat. [6]

Je nutné pamatovat i na postprodukční usazení stereoskopického okna do scény (viz kapitola 3.3.1) a přizpůsobit tomu snímání objekty tak, aby nedocházelo pro mozek k nesmyslným jevům. [6]

V neposlední řadě je dobré vyvarovat se přílišným kontrastům (obrázek 12). Například ostré světlo přicházející skrze okno do místnosti, světla automobilů nebo velmi tmavé pozadí způsobuje velké přeslechy a působí divákovi obtíže a známé "duchy". [4]



Obrázek 12: Vysoký kontrast - osvětlení výtahu

Při použití stereoskopické montáže s polopropustným zrcadlem bychom se měli vyvarovat i přílišným odleskům, které se do jedné kamery odráží zrcadlem, zatímco do druhé prochází přes polopropustné zrcadlo. Tyto odlesky pak na každé kameře vypadají trochu jinak vlivem rozdílné polarizace.

## 5.2 Nastavení kamer

Kamery je nutné nastavit především naprosto stejně. Jinak zde platí opět klasická pravidla jako při nastavení jakékoli jiné kamery.

Minimálně bychom neměli zapomenout nastavit tyto základní parametry:

- clona
- závěrka
- citlivost
- barevná teplota
- vzdálenost, na kterou kamera zaostřuje
- formát ve kterém budeme zaznamenávat

Pamatujme také na to, že při snímání digitální kamerou by měl být obraz spíše lehce podexponován. Při přílišném přeexponování totiž ztrácíme obrazová data a získáváme pouze bílou barvu, se kterou se již mnoho dělat nedá.

Při použití montáže s polopropustným zrcadlem je vhodné nechat si menší rezervu na postprodukční korekce. Pokud totiž nepoužijeme filtr na kameře, do které světlo dopadá odrazem od polopropustného zrcadla, bude rozdílný od obrazu na kameře, do které světlo dopadá průchodem přes polopropustné zrcadlo, kde se část světla pohlcuje.

## 5.3 Zarovnání kamer

Na scéně si rozmístíme dva zarovnávací obrazce, jeden umístíme do popředí a druhý na pozadí. Pokud máme objektiv typu zoom, zkontrolujeme, jestli máme stejné ohnisko.

Dále provedeme kontrolu náklonu kamery v ose objektivu, abychom vyrovnali vertikální rozdíly v levé a pravé části snímku. Tuto úpravu je vhodné provádět na jiné kameře, než na které budeme provádět ostatní úpravy.

Na zadním obrazci se všechny odchylky vyrovnávají pomocí rotace kamery v její vodorovné ose (tilt) a rotace okolo její svislé osy (konvergence). K dorovnání odchylek na předním obrazci používáme pouze pohyby ve vodorovné nebo svislé rovině. Tedy změnu stereoskopické báze a elevaci kamery. [3]

Úpravy náklonu kamery v ose objektivu, tiltu a elevace se provádí pomocí ovladačů mikrometrických šroubů vyznačených na obrázku červenými šipkami.

Úprava konvergence se provádí povolením celé destičky pomocí prvku znázorněného na obrázku modrou šipkou.



Obrázek 13: Ukázka ovládání polohy kamery (převzato z [17])

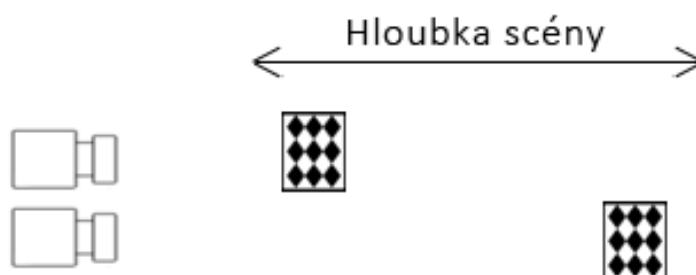
Korekce začínáme vždy upravovat od zadního obrazce.

Nejprve například ve vertikálním směru. Zadní obrazec vyrovnáme pomocí náklonu kamery. Když je zadní obrazec shodný, vyrovnáme přední pomocí pohybu kamery ve svislé rovině. Postup můžeme opakovat, dokud nedocílíme potřebné korekce.

Při zarovnání horizontálního směru postupujeme obdobně. Tedy začneme na zadním obrazci, jehož rozdíly korigujeme pomocí úpravy konvergence. Když se zadní obrazec zdá být zarovnaný, přejdeme k zarovnání předního obrazce posunutím kamery ve vodorovné rovině. Postup opět můžeme několikrát opakovat, dokud nedosáhneme požadované korekce.

Nyní by měly být obrazy naprosto totožné - tj. měli bychom vidět jeden obraz.

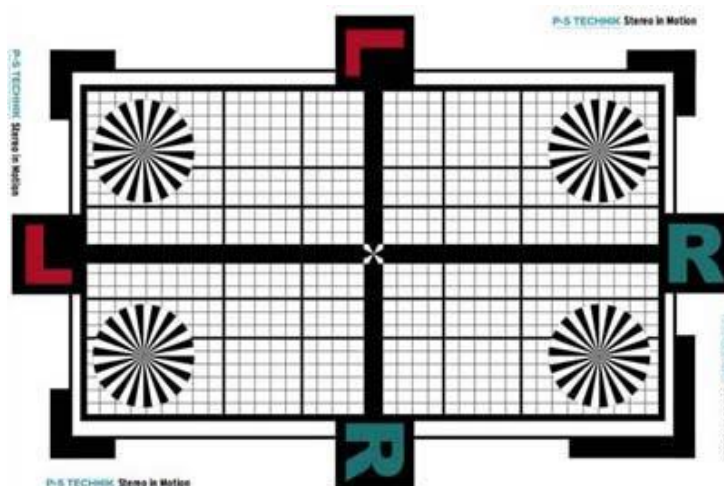
Z praxe víme, že při prvním zarovnání je vhodné zadní obrazce nevyrovnat naprosto přesně, pokud budeme stejným směrem vyrovnávat i přední obrazce. Zadní se tím pádem také lehce posunou.



Obrázek 14: Ukázka rozmístění zarovnávacích obrazců

Na uvedeném obrázku je znázorněno rozmístění obrazců potřebných ke správnému zarovnání kamer. Jedná se pouze o ilustraci, kde jsou kamery na rigu s polopropustným zrcadlem znázorněny pouze pomocí dvojice kamer.

Na následujícím obrázku je jeden z možných obrazců pro zarovnávání kamer, konkrétně se jedná o zarovnávací tabulky od firmy P+S Technik. Můžeme ale použít libovolný obrazec, na kterém bezpečně rozeznáme jednotlivé hrany. Například obyčejnou šachovnici nebo čtverce na bílém pozadí.



Obrázek 15: Zarovnávací obrazec od P+S Technik (převzato z [18])

## 5.4 Nastavení optimální stereoskopické báze

Obecně se používá k rychlému určení stereoskopické báze také poučka, která říká, že objekt, na který zaostřujeme - referenční objekt, by se měl nacházet ve vzdálenosti, která je v poměru 30 : 1 ke stereoskopické bázi. [10]

Jelikož vždy při tomto sesazování na referenční objekt přijdeme o část okrajů, tím pádem bychom museli obraz reprodukovat buď v nižším rozlišení, případně stejném, s menší ztrátou kvality.

Z provedených testů a komprese, kterou používáme (Apple ProRes 422 HQ), jsme zjistili, že i při projekci ve stejném rozlišení není tak rapidní pokles kvality výsledného videa, pokud použijeme zvětšení na hodnotu 105 %. To je ovšem limitní stav. Proto jsme veškeré testy prováděli se zvětšením na hodnotu 103 %, abychom měli případnou dvouprocentní rezervu.

Z provedených testů vyplynulo, že se v případě použití kamer Blackmagic pohybuje poměr vzdálenosti referenčního objektu ke stereoskopické bázi v rozmezí od 35 : 1 do 40 : 1. To platí pro interiérové scény, tedy do vzdálenosti referenčního objektu 5,5 metru. To je pro většinu interiérových scén dostatečná vzdálenost. V našich podmínkách měření se také jednalo o největší možnou změřitelnou vzdálenost.

Parametr  $k$  potřebný pro výpočet stereoskopické báze tím u našeho systému poklesl z hodnoty 1,2 na hodnotu zhruba 0,8. Tato hodnota platí při přepočtu ohniskové vzdálenosti na ekvivalent 35 mm (viz Crop faktor z kapitoly 4.1). Parametr  $k$  ale nelze jednoznačně určit, jelikož se mění jak v závislosti na vzdálenosti referenčního objektu, tak také na hloubce prostorového vjemu, tj. vzdálenosti mezi nejbližším a nejvzdálenějším objektem. Prostorovou hloubku je ale nutné v průběhu natáčení sledovat v živém 3D náhledu a případně ji upravit, dle subjektivního dojmu.

K určení našeho poměru jsme postupně nastavovali stereoskopickou bázi po 5 mm a snímali referenční objekt v několika vzdálenostech. Rozmezí vzdáleností objektu jsme pro každou stereoskopickou bázi určovali z našich zkušeností z předchozích natáčení. Takto nasnímané scény jsme pak postprodukčně zvětšili na 103 % původní velikosti a následně se snažili snímky sesadit na referenční objekt - aby byl s nulovou deviací obrazových bodů. [4]



První vzdálenost takto upraveného snímku, která neměla viditelné černé okraje, jsme určili jako minimální možnou. Z toho jsme i zjistili, že se jedná o vzájemný posuv obrazů v horizontálním směru o 60 pixelů. V programu jsem proto použil maximální vzájemný posuv pouze 50 pixelů. Díky tomu je jednak bezpečně zaručeno, že nebude nutné obraz příliš zvětšovat a ani při živém náhledu nevzniknou příliš velké černé okraje.

Ze zkušeností také víme, že méně je někdy více. Proto je vhodnější nastavit menší stereoskopickou bázi a vytvořit video s menším prostorovým efektem než vytvořit video s obrovským prostorovým efektem, na které se velká část diváků nedokáže rychle adaptovat a pouze pro ně bude obtížné a bolestivé takové video sledovat. Celkový dojem pak bude mnohem horší.

V následující tabulce jsou k nahlédnutí nejpoužívanější vzdálenosti pro běžné interiérové scény.

<b>Vzdálenost referenčního objektu</b>	
<b>Stereoskopická báze [mm]</b>	<b>Minimální vzdálenost [cm]</b>
9	35*
10	39
15	57
20	77
25	92
30	112
35	127
40	145
45	165
50	182
55	200
60	216
65	233
70	252
* minimální vzdálenost objektu vzhledem k rozměrům stereoskopického rigu	

*Tabulka 1: Vzdálenost referenčního objektu*

## 6. Vytvořené programové vybavení

Úkolem bylo dále navrhnout a vytvořit vhodný software, který uživateli umožní pohodlné nastavení důležitých parametrů celého systému s možností živého náhledu stereoskopického obrazu v průběhu natáčení na různých typech stereoskopických zobrazovačů. Vytvořit možnost inicializace kamer připojených do počítače, možnost základních barevných korekcí a výpis důležitých nastavených parametrů do souboru pro použití při pozdějším zpracování. Rozhodl jsem se pro open source programovací jazyk Python. Jedná se o velice užitečný nástroj, který ve spojení s dalšími knihovnami, především OpenCV, umožňuje velmi jednoduše zpracovávat obraz v reálném čase.

### 6.1 Python

Jedná se o dynamický objektově orientovaný skriptovací programovací jazyk. [7] V roce 1991 jej navrhl programátor Guido van Rossum. Python se vyznačuje především vysokou produktivností z hlediska rychlosti psaní programu. Původní inspirací byl programovací jazyk ABC, který měl sloužit pro výuku začátečníků. Python dokonce patří mezi jazyky, které jsou nejvhodnější pro začátečníky. Zažitá představa, že jazyk vhodný k výuce se nehodí pro praktické využití, je v tomto případě naprosto popřena. S vysokou produktivností souvisí také široké spektrum dostupných knihovných modulů, které umožňují další řešení různých úloh z řady oblastí. Ať už se jedná o GUI (grafické uživatelské rozhraní), nebo například velmi užitečné zpracování videa v reálném čase, o které se stará OpenCV.

### 6.2 OpenCV

Jedná se o otevřenou multiplatformní knihovnu pro manipulaci s obrazem. Její největší uplatnění je především v oblasti počítačového vidění a zpracování obrazu v reálném čase. Původně byla vyvíjena od roku 1999 firmou Intel. Aktuálně je šířena pod BSD licenci. Jedná se o jednu z nejsvobodnějších licencí pro svobodný software. Umožňuje volné šíření licencovaného obsahu a vyžaduje pouze uvedení autora s informací o licenci, spolu s upozorněním na zřeknutí se odpovědnosti za dílo. [8]

## 6.3 Instalace

Postup instalace programu Python s knihovnou OpenCV je uveden na webových stránkách dokumentace k OpenCV. [8] Zde je uveden základní postup instalace s odkazy na stažení jak programu Python, tak dalších potřebných knihoven k OpenCV. Dále jsou na stránkách návody k jednotlivým základním operacím s obrazem.

Další knihovny, kterých je opravdu mnoho (například k vytvoření GUI), se instalují buď pomocí jejich jednoduchého instalátoru, a pokud jej nemají, tak následujícím postupem.

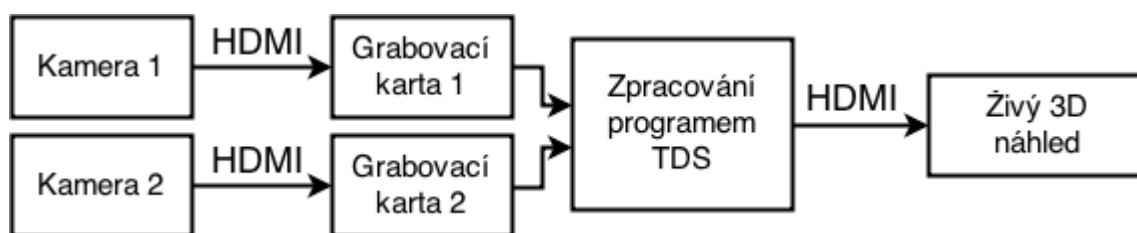
Spustíme příkazový řádek, pomocí `cd` změníme adresář na adresář knihovny stažené do PC. Dále pak napíšeme příkaz: `python setup.py install`. Celá knihovna se tím nainstaluje.

## 6.4 Vytvořený program

Aby uživatel mohl komfortně a intuitivně pracovat s programem, rozhodl jsem se vytvořit GUI (grafické uživatelské rozhraní) pomocí knihovny PyQt. Obrovskou výhodou je zde možnost použití grafického editoru Qt Designer, se kterým se dá základní layout rychle vytvořit bez znalostí syntaxe pro danou knihovnu.

Prostřednictvím příkazu `pyuic4` zadávaného do příkazového řádku, jedná se o spuštění bat souboru získaného společně s knihovnou PyQt, se projekt vytvořeného grafického designu (soubor s příponou `*.ui`) převede do skriptu pro python (soubor s příponou `*.py`). Tento skript je pak doporučeno neupravovat, nedopisovat do něj další kód, aby bylo možné upravit design pomocí editoru a opět příkazem `pyuic4` aktualizovat daný skript.

Veškerý psaný kód, i pro úpravu vytvořeného GUI je lepší vytvořit nový skript, do kterého se skript s designem importuje. Úprava, jako například mapování tlačítek na dané funkce nebo přidání položek do rozbalovacího seznamu s výběrem kamer, se provádí přidáním definované kategorie do daného příkazu.



Obrázek 16: Schéma zapojení

V programu jsou pod menu "Nápověda" uvedeny veškeré klávesové zkratky, informace o základním ovládní (dostupné také po stisku klávesy F1) a informace o programu.

Dále jsou v menu "Manuály" uvedeny základní postupy pro rozmístění scény, nastavení kamer, výchozí zarovnání systému a správné umístění stereoskopického okna.

Pokud se kurzor myši zastaví nad vybraným prvkem na delší dobu, zobrazí se v pop-up okně krátká nápověda s informací, co který prvek dělá, případně jinak navede uživatele k možné akci.

### 6.4.1 Inicializace kamer

Inicializaci kamer jsem se rozhodl vyřešit výběrem z rozbalovacího seznamu. Veškeré kamery připojené do počítače se na začátku programu načtou do matice. Následně jsou položky do rozbalovacího seznamu přidávány *for* cyklem, který má rozsah nula až velikost dané matice. Další možností je obrázky z těchto kamer přizpůsobit dle aktuálních podmínek. Například v našem případě jsou obě kamery uchyceny vzhůru nohama, aby bylo možné bez jejich demontáže lehce přistupovat k baterii a paměťové kartě. Zde se jedná o otočení obrázku o 180 stupňů. Dále, jelikož používáme zrcadlový rig, tak zajistit zrcadlové otočení, tzv. horizontální flip, na kameře, která snímá paprsky světla odražené od polopropustného zrcadla. Tyto úpravy jsem řešil použitím klasického zaškrtačovacího políčka.

## 6.4.2 Zarovnání systému

Další nezbytnou funkcí pro snímání stereoskopického obrazu je jeho správné počáteční nastavení. Ve výchozím nastavení musí být kamery naprosto přesně zarovnány - nulová stereoskopická báze a zobrazovat naprosto stejný obraz. K tomu slouží právě metoda zarovnání systému. Funkci jsem oproti prvnímu programu vylepšil mimo jiné především o možnost zarovnání pomocí indikátorů.

Uživatel si může pomocí přepínače vybrat ze tří variant zobrazení. Jednoduché překrytí obrazů, anaglyfový formát Red-Cyan a druhý anaglyfový formát Green-Magenta. Dále u všech možností může zvolit zapnutí indikátorů zarovnání. Ty se zobrazují v dalším okně v podobě šipek. Šipky jsou dvojího druhu - rovné a zakroucené. Rovné indikují nutnou změnu pozice kamery prostřednictvím její elevace a změny stereoskopické báze. Zakroucené šipky indikují nutnou změnu polohy kamery prostřednictvím konvergence a tiltu (tj. náklonu kamery okolo její vodorovné osy).

V okně s obrazem jsou vyobrazeny dva čtverce, do kterých je nutno umístit dobře detekovatelný objekt, nejlépe zarovnávací tabulku. Do čtverce v pravém horním rohu se musí umístit objekt na pozadí scény a do čtverce v levém spodním rohu se musí umístit objekt do popředí scény.

Pokud je rozlišení kamery větší než 800 x 800 pixelů, zarovnání by mělo být ve většině případů velmi přesné. V případě nižšího rozlišení je do indikačního okna vyobrazeno upozornění, že indikace při tomto rozlišení nemusí vždy pracovat 100% správně. Při rozlišení menším, než je 400 x 400 pixelů, se indikátory nespustí a program do indikačního okna napíše upozornění, že při takto nízkém rozlišení kamery není možné indikátory aktivovat. Bylo by totiž obtížné správně umístit indikační tabulky a zajistit korektní vyhodnocení. Jelikož dnes ale většina snímacích zařízení disponuje rozlišením alespoň 640 x 480 pixelů, neměl by to být problém.

### 6.4.3 Živý náhled 3D

Jedná se o jednu z nejdůležitějších funkcí, kterými program disponuje. Možnost živého náhledu je totiž nezbytná k natočení kvalitního stereoskopického videa. Navíc může skvěle sloužit výukovým potřebám a ke zkoumání parametrů ovlivňujících výsledný dojem videa.

Uživatel má na výběr z několika nejpoužívanějších formátů stereoskopického videa. Přepínačem může volit mezi Side-by-Side, Top-and-Bottom a opět dvěma anaglyfovými formáty, tj. Red-Cyan a Green-Magenta. Varianty SBS a TAB jsou ve svém polovičním typu, tedy přesněji Half SBS a Half TAB. Obrazy jsou stlačeny na polovinu jejich původního rozlišení v horizontálním, potažmo vertikálním rozměru. Do odpovídajícího formátu je nutné nastavit také zobrazovač.

Dále je v této metodě možnost zapnutí volby "Umístění okna" a "Barevné korekce". Tyto korekce se provádějí ve zvláštních oknech pomocí posuvníků. Lze upravovat pozice levého a pravého obrazu v horizontálním směru o 25 pixelů na každou stranu. Maximální je tedy vzájemný posuv o 50 pixelů pomocí jejich kombinace. Zobrazovací okno je poté opatřeno černými okraji o tloušťce 25 pixelů, aby se tyto změny negativně neprojevovaly na krajích obrazu, který díky tomu nemusí být při náhledu zvětšován. Hodnotu 50 pixelů jsem zvolil záměrně. O jejich volbě a postupu, kterým jsem tuto hodnotu zjišťoval, budu psát v dalších kapitolách.

Základní barevné korekce jsou zajištěny prostřednictvím úpravy jasu a kontrastu pro každý obraz zvlášť. Zde je vhodné zdůraznit klávesové zkratky, které je možné použít (veškeré klávesové zkratky jsou uvedeny v menu nápovědy programu).

Klávesa "S" (možno psát jak "s", tak "S") exportuje nastavená data o umístěném okně a barevných korekcích do formuláře o scéně v hlavním okně programu. Klávesy "G" a "C" slouží k přepínání mezi barevným a černobílým zobrazením, klávesy "0" a "1" přepínají mezi normálním a inverzním 3D obrazem. Jedná se o funkci vhodnou k testování správného nastavení 3D, kdy inverzní metoda prohazuje levý obraz za pravý a naopak. V neposlední řadě jsou užitečné klávesy mezerník - pro zobrazení například minimalizovaných nebo skrytých oken nastavujících dané parametry a enter - pro zapnutí nebo vypnutí režimu celé obrazovky. To se hodí především pro umístění okna na připojený stereoskopický displej. Klávesou escape se náhled ukončuje.

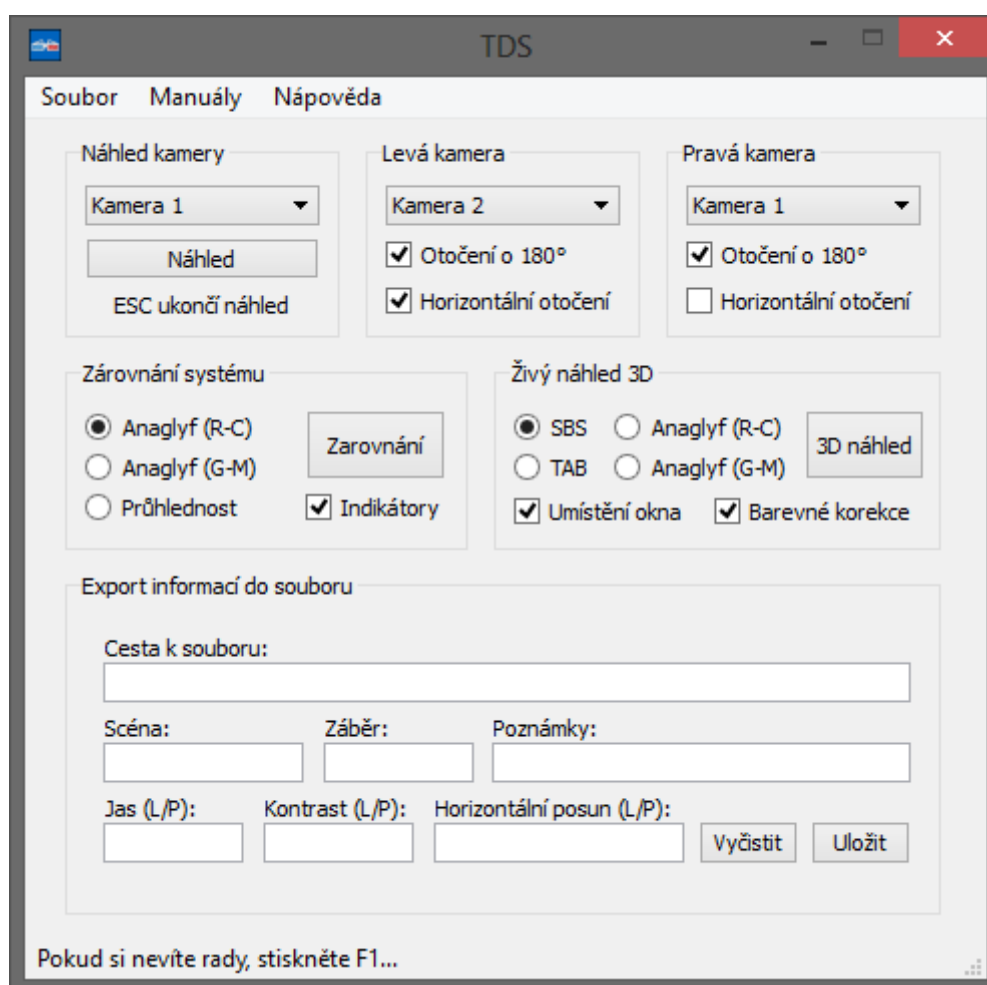
Informace, kde jaké klávesové zkratky fungují, a jejich celkový seznam je uveden v sekci nápovědy programu.

## 6.4.4 Export informací

K ulehčení následujícího zpracování videa slouží informace o změnách provedených pro danou scénu, které se ukládají do textového souboru. Ten je možné vytvořit nebo pouze otevřít. Pokud by byl otevřen soubor, do kterého by nešlo zapisovat, zobrazí se upozornění ve stavovém řádku.

Formulář obsahuje položky "Scéna", "Záběr", "Poznámky", "Jas", "Kontrast" a "Horizontální posun". První trojici položek si edituje uživatel pro svou lepší orientaci. Do druhé trojice jsou informace vyplněny po stisku odpovídající klávesy při jejich nastavení. Položka "Cesta k souboru" zobrazuje název a umístění souboru, do kterého se data ukládají.

Tlačítko "Vyčistit" slouží k vymazání celého formuláře při nesprávném vyplnění. Tlačítko "Uložit" slouží k uložení aktuálně vyplněných dat do zvoleného souboru. O úspěšném uložení informuje stavový řádek a formulář se následně vyčistí.



Obrázek 17: Náhled vytvořeného programu

## 7. Měření přeslechů jednotlivých 3D systémů

Projekt jsme dále rozšířili o měření spektrálních a světelných vlastností různých filtrů u anaglygových brýlí a přeslechů jednotlivých systémů. Chtěli jsme zjistit, jaký je nejlepší systém a ideální barva, respektive spektrální propustnost filtru zakoupených vzorků anaglyfových brýlí, která by zaručovala dostatečné oddělení levého a pravého kanálu, tedy co nejmenší míru přeslechů pro dosažení co možná nejlepšího 3D efektu bez rušivých duchů. K tomu bylo dále vhodné změřit vlastnosti jednotlivých zobrazovačů.

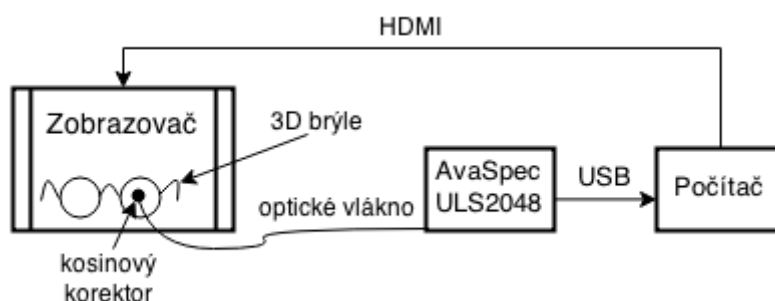
Velikost přeslechů, tedy nežádoucích signálů, které se dostávají do oka, kterému nenáleží, se počítá jako nechtěný signál, tedy únik z obrazu, který danému oku nenáleží, ku chtěnému signálu, který danému oku náleží. [1] Dle následujícího postupu je možné přeslechy měřit.

Je vhodné promítat například bílou barvu pro levé oko a černou barvu pro pravé oko. Nejprve je nutné změřit, jaký je jas za levým filtrem (bílá barva) - tedy *signál*, a následně přepnout 3D zobrazení do jeho inverzní podoby (viz kapitola 6.4.3) a změřit jas, který filtr propouští při zobrazení černé barvy - tj. *únik*.

Dle následujícího vzorce je pak možné přeslechy vypočítat. [1]

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100, \quad (4)$$

kde *cross* je hodnota přeslechu vyjádřená v procentech, *leak* je svítivost, případně jas, který propouští filtr, jenž má v danou chvíli zobrazovat pouze černou barvu (ideálně nula), a *sig* je svítivost, případně jas, který propouští filtr, jenž má v danou chvíli zobrazovat bílou barvu (ideálně maximální jas zobrazovače).



Obrázek 18: Schéma měření přeslechů s přístrojem AvaSpec

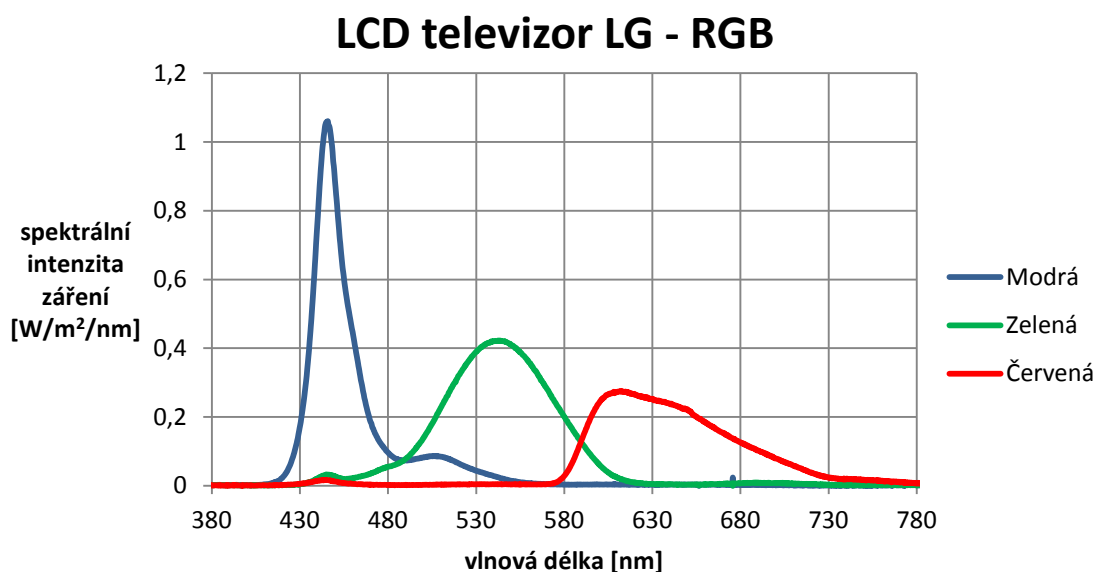


## 7.1 Měření přístrojem AvaSpec

S vláknovým spektrometrem AvaSpec jsme měřili spektrální vlastnosti zobrazovačů, velikost nežádoucích přeslechů aktivního a pasivního stereoskopického systému zobrazování.

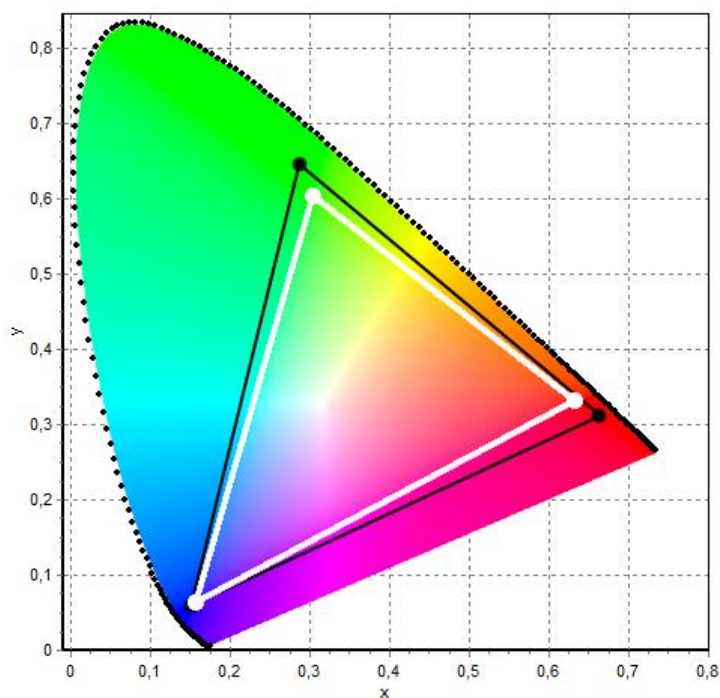
Spektrální vlastnosti jsme měřili v zatemněné komoře zobrazením dané barvy na displeji. Ten jsme na začátku uvedli do jeho výchozího nastavení a vypnuli jsme automatickou regulaci jasu, kterou televizor z důvodu úspory elektrické energie disponuje a ve výchozím nastavení byla aktivní. Barvy jsme na displeji zobrazovali pomocí počítače přes HDMI kabel. Generování jednotlivých barev bylo zajištěno skriptem napsaným v pythonu. Jednalo se o zobrazení, principiálně vycházející z tvorby jednotlivých 3D formátů ve vytvořeném programu. Tento skript je také přiložen na datovém nosiči (viz kapitola 11.).

Měření probíhalo v těsné blízkosti zobrazovače. Kosinový korektor na optickém vlákně se tedy dotýkal displeje, aby byl zaručen co možná nejpřesnější výsledek bez vlivů okolního světla, především odrazů světla vyzařovaného samotným displejem.



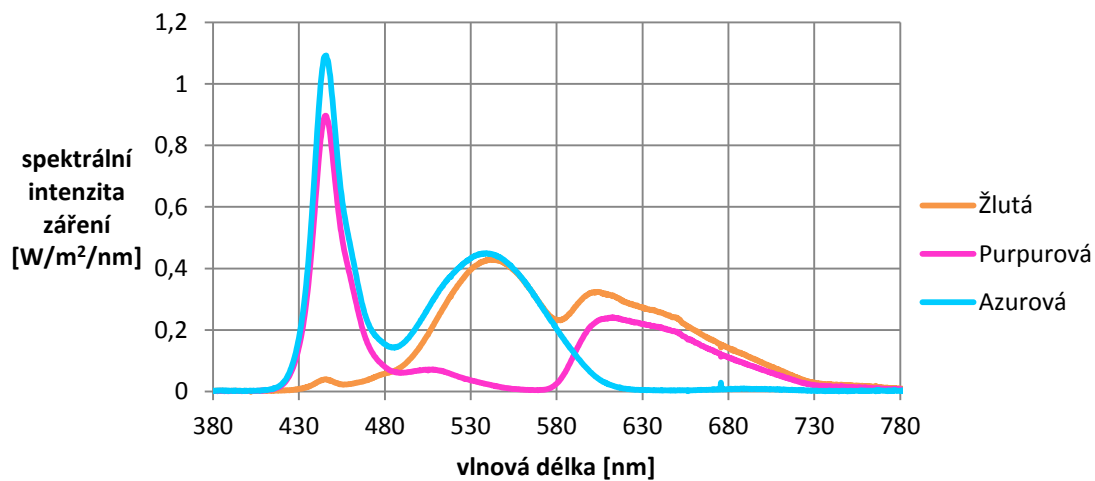
Obrázek 19: RGB spektrum zobrazovače 47LW6505

Na následující straně je zobrazen MKO diagram pro základní barvy LCD televizoru LG společně s plazmovým televizorem Panasonic, aby je bylo možné navzájem lépe porovnat. Bíle je zobrazen LCD televizor LG, černě pak plazmový televizor Panasonic (obrázek 20).



Obrázek 20: MKO diagram televizorů: Panasonic - černá, LG - bílá

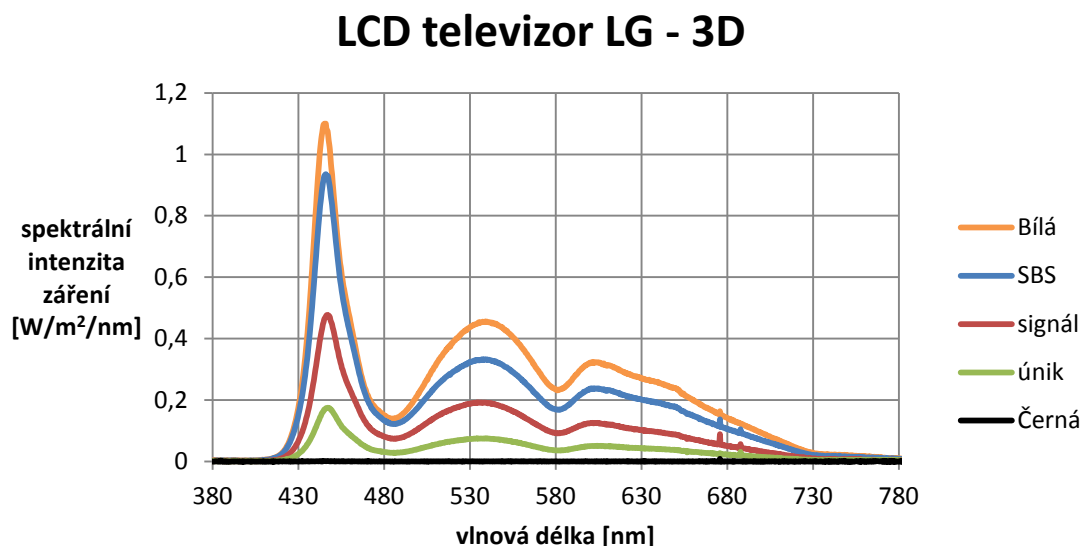
### LCD televizor LG - CMY



Obrázek 21: CMY spektrum zobrazovače 47LW6505

Na výše uvedených grafech (obrázek 19 a obrázek 21) je zobrazeno změřené spektrum LCD displeje značky LG. To přesně odpovídá předpokladům pro LCD displej, tedy studené barvy, kde intenzitou převládá modrá barva. Teplota chromatičnosti byla změřena jako 7853 K. Zobrazení bílé barvy nejvíce odpovídá spojením křivek pro barvu azurovou a žlutou.

Na dalším grafu je znázorněno spektrum displeje při reprodukci bílé barvy, dále SBS formát, kdy se pro levé oko zobrazovala bílá barva a pro pravé oko černá barva - křivka SBS. Křivky *signál* a *únik* odpovídají daným intenzitám, nezbytným pro změření přeslechu systému (viz kapitola 7.). Jako poslední je zobrazena černá barva.



Obrázek 22: 3D režim zobrazovače 47LW6505

Na grafu zobrazení 3D režimu televizoru LG (obrázek 22) je na první pohled patrné, že přeslechy mezi levým a pravým obrazem nejsou ideální. Správně bychom pravým okem měli vidět černou barvu, tedy křivku, která by měla být ideálně nulová. Levým okem naopak čistě bílou, respektive odstín bíle barvy s intenzitou, kterou znázorňuje v grafu křivka SBS. Je vidět, že pokles intenzity zde není příliš velký, a řekl bych, že se bude jednat pouze o pohltivost polarizačního filtru nežli o přeslechy z druhého obrazu s černou barvou. Měření může být ovlivněno poměrně malým měřicím bodem (kosinový korektor), u kterého se nedá zajistit dokonalé umístění vzhledem k viditelné struktuře jednotlivých řádků televizoru.

Velikosti přeslechů jsou pro levý i pravý filtr brýlí srovnatelné. Tento fakt platí jak pro pasivní, tak pro aktivní 3D systém.

Z měření vláknovým spektrometrem na pasivním systému vyšlo, že přeslechy jsou rovny téměř 40 % i v případě ideální pozice 3D brýlí. Tedy když byly zafixovány v téměř ideální pozici, tj. v rovině televizoru a optimálním pozorovacím úhlu.

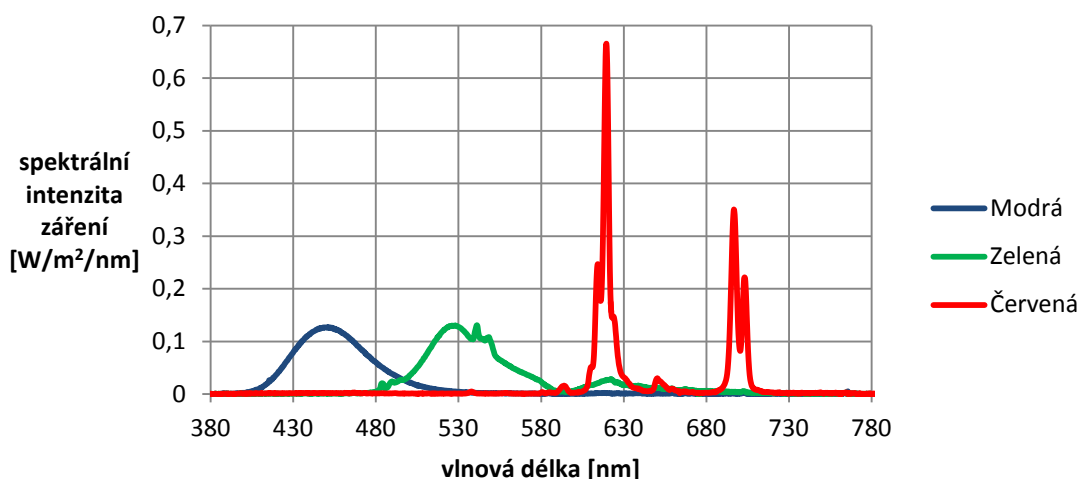
Konkrétně se jednalo o hodnotu vypočtenou pomocí vzorce (4) z kapitoly 7.:

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100 = \frac{39,899 \text{ cd}}{105,67 \text{ cd}} \times 100 = 37,76 \%$$

V další kapitole se ale při měření přesným spektrofotometrem PR-740 ukáže, že se jedná o chybně změřenou hodnotu, způsobenou viditelnou strukturou displeje.

Televizor Panasonic TX-P50VT20EA se od LG odlišuje ve dvou základních parametrech. Jedná se o aktivní 3D systém zobrazování a typ televizoru je plazmový, který se dnes v obchodech již příliš nevyskytuje. Z prodeje je vytlačila právě technologie LCD, respektive její variace s podsvícením pomocí LED diod - LED TV. Ty jsou především mnohem úspornější a díky technologickému pokroku se vyrábějí ve všech možných velikostech za přijatelnou cenu. Navíc si získaly oblibu také díky jejich rozměrům, kdy může být panel velmi tenký, a v neposlední řadě je televize i velmi lehká.

### Plazmový televizor Panasonic - RGB

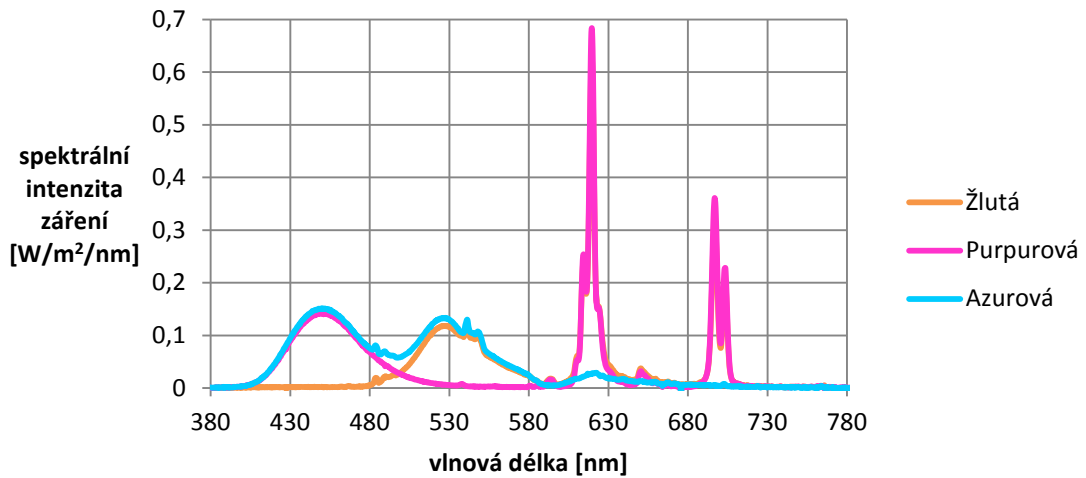


Obrázek 23: RGB spektrum zobrazovače TX-P50VT20EA

Na grafu (obrázek 23) je jasně vidět odlišnost od zobrazovače s LCD technologií. Plazmové televize se totiž oproti LCD panelům odlišují především v teplotě barev. Ty u plazmového panelu převládají v červené, tedy teplé barvě. Teplota chromatičnosti zde vyšla 7097 K. Uvedený MKO diagram (obrázek 20) ukazuje, že televizor Panasonic disponuje větším barevným gamutem v porovnání s televizorem LG.

Na následujícím grafu (obrázek 24) je vidět, že doplňkové barvy CMY sestávají z kombinace základních RGB. Bílá barva u tohoto panelu nejvíce odpovídá kombinací barev azurové a žluté, případně azurové a purpurové. V oblasti od 590 nm se křivky žluté a purpurové barvy téměř rovnají.

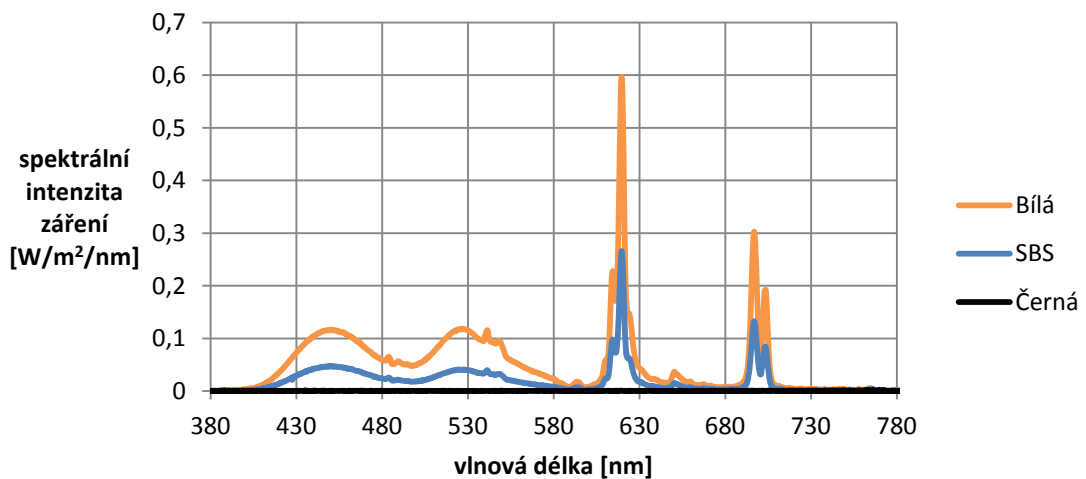
## Plazmový televizor Panasonic - CMY



Obrázek 24: CMY spektrum zobrazovače TX-P50VT20EA

Na dalším grafu (obrázek 25) je zobrazeno spektrum bílé a černé barvy a následně spektrum, které odpovídá 3D režimu SBS při promítání bílého obrazu pro levé oko a černého obrazu pro pravé oko - křivka SBS.

## Plazmový televizor Panasonic - 3D



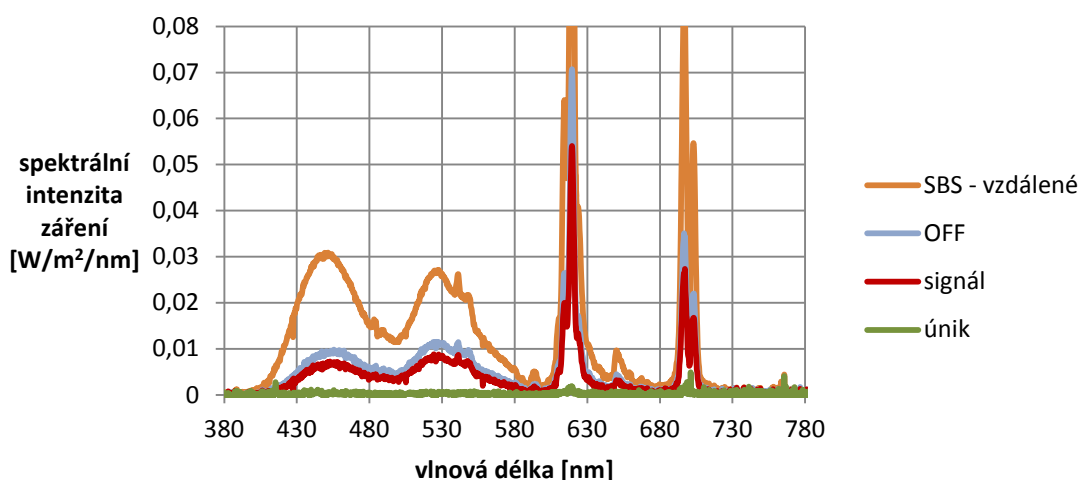
Obrázek 25: 3D režim zobrazovače TX-P50VT20EA

Na další straně jsou v grafu (obrázek 26) zobrazeny přeslechy mezi žádoucím a nežádoucím signálem. Opět označeny jako *signál* a *únik*. Dále jsou vyobrazeny křivky formátu SBS bez aplikace 3D brýlí (křivka SBS - vzdálené) a po aplikaci 3D brýlí, ale v jejich vypnutém stavu, křivka - OFF. Dle teoretických předpokladů by se měly křivka *signál* a křivka OFF rovnat.

Televizor totiž jednoduše řečenou pouze střídá bílou a černou barvu. Brýle, které by měly být dokonale synchronizovány, by měly blikat ve stejné frekvenci - tedy zobrazovat stejně intenzivní světlo.

Měření těchto přeslechů ale nebylo zcela ideální. Brýle se totiž v ideální blízkosti pro měření, tj. v naprosté blízkosti displeje, vypínaly. V takové blízkosti nedostávaly od televize signál, který bude pravděpodobně na IR technologii. Měřicí aparatura musela být vzdálena do vzdálenosti cca 50 cm. Díky malé intenzitě osvětlení pro vláknový spektrometr je změněn rozsah svislé osy, aby bylo lépe vidět oblast zájmu.

## Plazmový televizor Panasonic - 3D přeslechy



Obrázek 26: Přeslechy zobrazovače TX-P50VT20EA

Je jasně vidět, že u tohoto systému jsou přeslechy mezi kanály výrazně menší. Únik je na grafu téměř nulový. Je to způsobeno ale také faktem, že bylo toto měření jako jediné prováděno s oddálením kosinového korektoru od displeje z důvodu správné funkčnosti 3D brýlí. Intenzita je proto na nižší úrovni než v předchozích měřeních. Křivka *SBS - vzdálené* je zde uvedena pro porovnání, jaký byl pokles oproti předchozímu měření, kde bylo kosinový korektor v těsné blízkosti zobrazovače.

Přeslechy vyšly zhruba 5 %, což je výrazně menší hodnota než u pasivního systému. Navíc brýle netrpí na změnu náklonu nebo pozorovacího úhlu. Nedají se ale téměř použít při sledování za běžného osvětlení.

Výpočet přesné hodnoty dle vzorce (4) z kapitoly 7.:

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100 = \frac{0,1952 \text{ cd}}{3,783 \text{ cd}} \times 100 = 5,16 \%$$

Přesnější výsledky by měly být změřeny v následující kapitole s přístrojem PR-740.

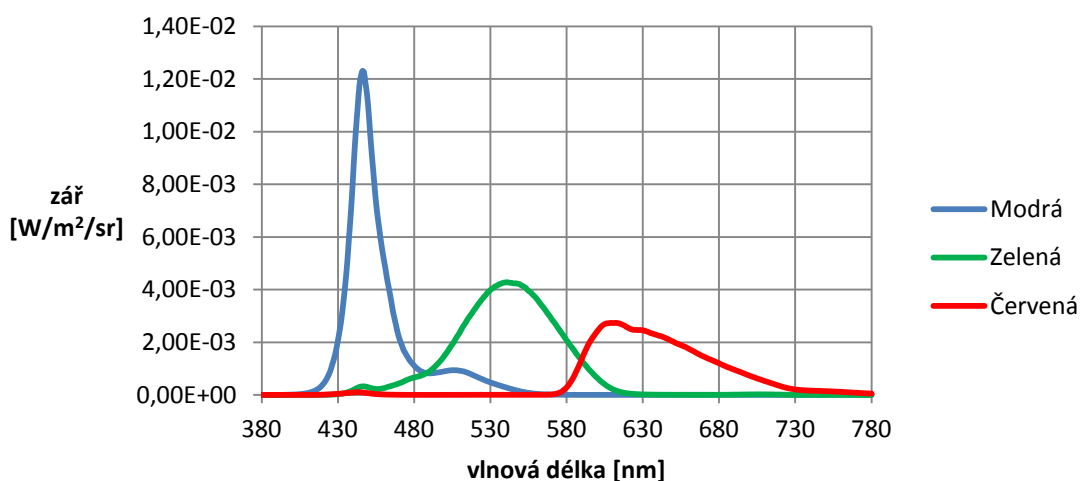
## 7.2 Měření přístrojem PR-740

Stejná měření jako v kapitole 7.1 jsme provedli i s přístrojem PR-740, který měří absolutně a velmi přesně. Měření probíhala v zatemněné komoře z pozice a vzdálenosti, ze které se běžně dívá uživatel (obrázek 27). Přístroj byl namířen do středu obrazovky a nastaven na 20 cyklů průměrování pro zajištění přesných výsledků.



Obrázek 27: Měření přístrojem PR-740 z pozice uživatele

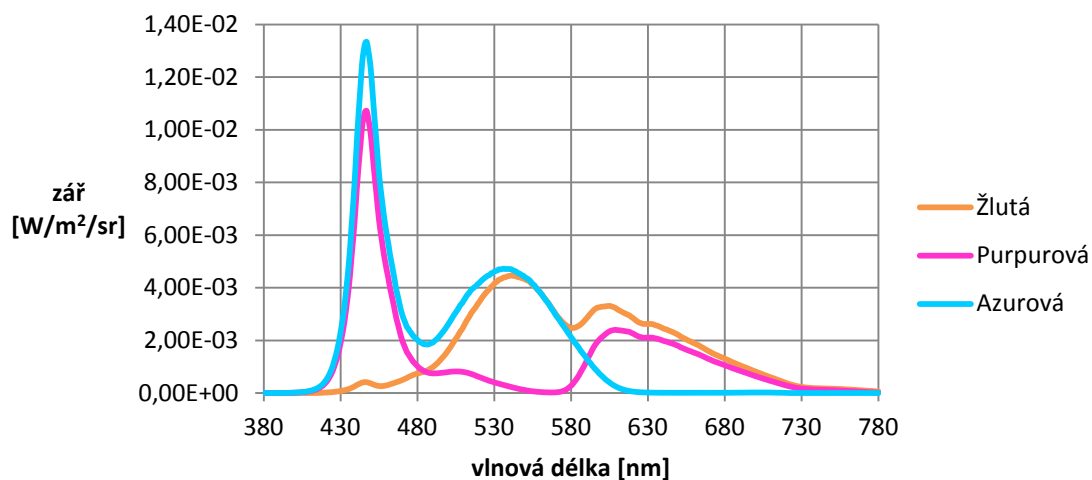
### LCD televizor LG - RGB



Obrázek 28: RGB spektrum zobrazovače 47LW6505

Křivky z měření na LCD displeji jsou téměř stejné. Výrazné zlepšení lze očekávat až při měření na plazmovém displeji a při měření přeslechů.

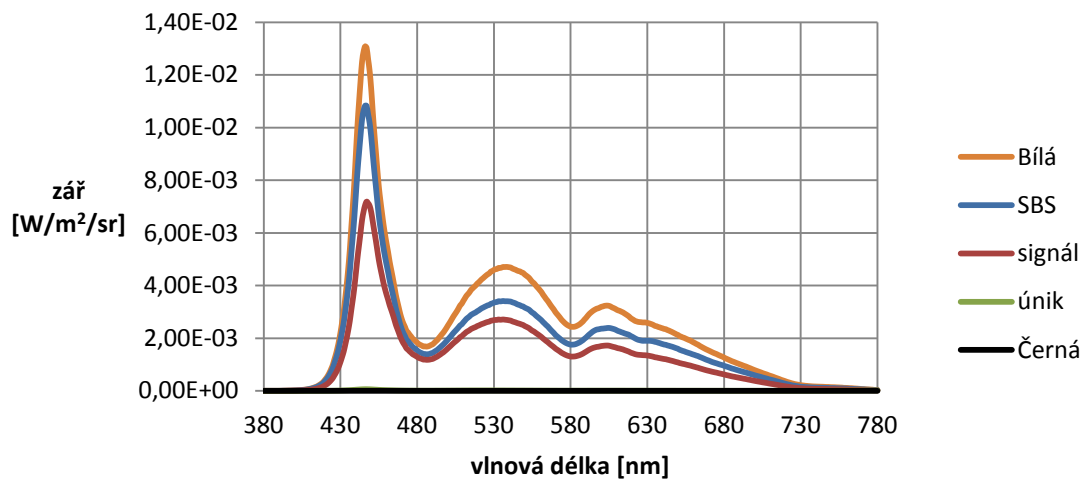
## LCD televizor LG - CMY



Obrázek 29: CMY spektrum zobrazovače 47LW6505

Na dalším grafu (obrázek 30) je již patrný lepší výsledek, který odpovídá teoretickým předpokladům. Tedy že přeslech na pasivním systému se rovná téměř nulové hodnotě. To je z praxe potvrzeno. Při hodnotě, která vyšla za pomoci vláknového spektrometru (téměř 40% přeslech), by nebylo možné systém používat.

## LCD televizor LG - 3D



Obrázek 30: 3D režim zobrazovače 47LW6505



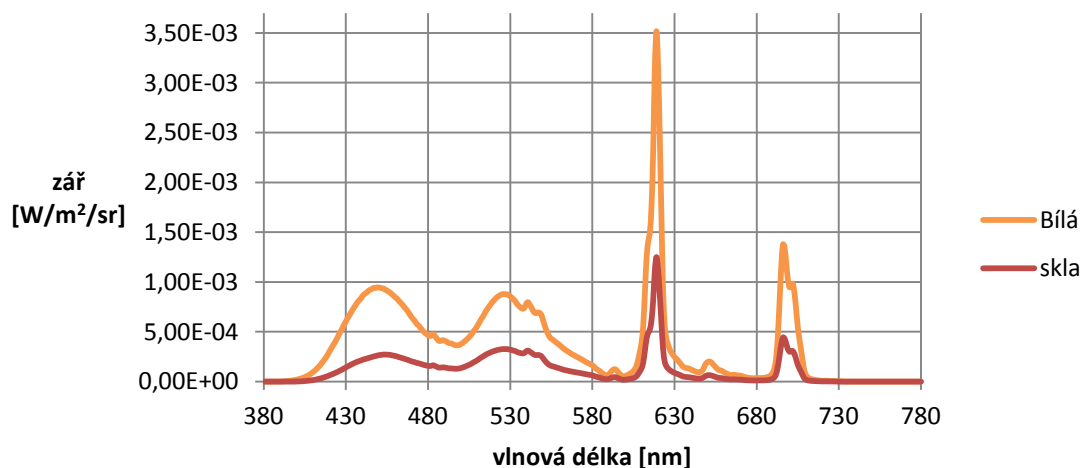
Skutečná hodnota byla vypočtena dle vzorce (4) z kapitoly 7. jako:

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100 = \frac{0,8012 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}}{139,7 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}} \times 100 = 0,57 \%$$

Což by odpovídalo skutečnosti, že při pozorování nejsou viditelné téměř žádné duchy.

Při měření s aktivní plazmovou televizí Panasonic TX-P50VT20EA se přístroj PR-740 bohužel zasekl a přestal odpovídat. Další dny pak nebyl k dispozici, a proto nebylo možné provést všechna měření. Stihl jsem ale změřit to nejdůležitější, tedy přeslechy aktivního systému. U spekter zobrazovaných barev se dají předpokládat obdobné křivky, které byly změřeny pomocí vláknového spektrometru, ovšem s hladším průběhem a přesnějšími hodnotami.

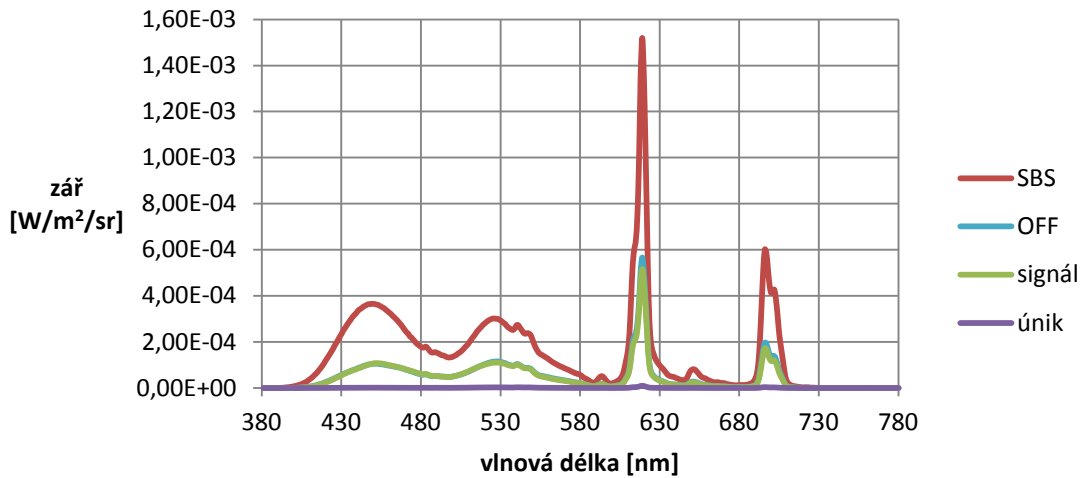
### Plazmový televizor Panasonic - bílá, skla



Obrázek 31: Zobrazení bílé barvy a propustnosti skel na TX-P50VT20EA

Na výše uvedeném grafu je znázorněno spektrum, které vydává televizor Panasonic při zobrazení bílé barvy ve 2D režimu a následně po aplikaci vypnutých 3D brýlí. Jedná se tedy pouze o propustnost daných skel. Při zapnutí brýlí, kdy se začnou střídavě zatmívat, by byl pak světelný pokles natolik velký, že televize při zapnutí 3D režimu automaticky zvýší svůj jas.

## Plazmový televizor Panasonic - 3D



Obrázek 32: 3D režim zobrazovače TX-P50VT20EA

Zde je pak na grafu (obrázek 32) již vidět předpokládaný průběh jednotlivých křivek. Křivka *SBS* znázorňuje vyzařování displeje při zapnutí 3D režimu SBS, s bílým obrazem pro levé oko a černým pro pravé oko, bez aplikace 3D brýlí. Křivka *OFF* znázorňuje průběh po aplikaci 3D brýlí v jejich vypnutém stavu. Křivka *signál* zobrazuje obraz určený pro dané oko a křivka *únik* znázorňuje nežádoucí obraz, který náleží druhému oku.

Křivky *OFF* a *signál* jsou téměř shodné. To dokazuje, že synchronizace zatmívání jednotlivých skel je na výborné úrovni.

Výsledná vypočtená hodnota přeslechu pasivního 3D systému je dle vzorce (4):

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100 = \frac{0,1066 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}}{4,773 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}} \times 100 = 2,23 \%$$

Hodnoty změřené pomocí spektrofotometru PR-740 odpovídají běžným hodnotám pro daný 3D systém zobrazování. [12]

## 7.3 Propustnost anaglyfových filtrů

Pro změření propustností anaglyfových filtrů jsme používali vláknový spektrometr AvaSpec. Po kalibraci přístroje na daný světelný zdroj jsme v zatemněné komoře přikládali jednotlivé brýle před kosinový korektor spektrometru a měřili, jaké vlnové délky daný filtr propouští. K dispozici jsme měli troje brýle s filtry Red-Cyan a dvoje s filtry Green-Magenta. Jednalo se o druhy jak z české výroby, tak dovážené ze zahraničí, u kterých byl deklarován přesný odstín dané barvy. Brýle byly od nejlevnějších z papíru až po brýle kvalitní konstrukce z plastu. Filtry v papírových brýlích byly z fólie a na nejdražších plastových byly plastová skla.

Na dalších stranách jsou v grafech uvedeny přesně změřené spektrální vlastnosti testovaných brýlí.

Jednotlivé křivky jsem označil pomocí písmene pro danou barvy filtru (R, C, G, M) a číslicí označující dané brýle:

- R1/C1	>	nejlevnější tuzemské papírové brýle
- R2/C2	>	dražší zahraniční papírové brýle*
- R3/C3	>	nejdražší testované plastové brýle**
- G1/M1	>	papírové brýle
- G2/M2	>	plastové brýle***

\* dle údajů prodejce se jedná o brýle přesných odstínů dovezené z USA

\*\* dle údajů prodejce se jedná o nejkvalitnější a doporučované brýle přesných odstínů

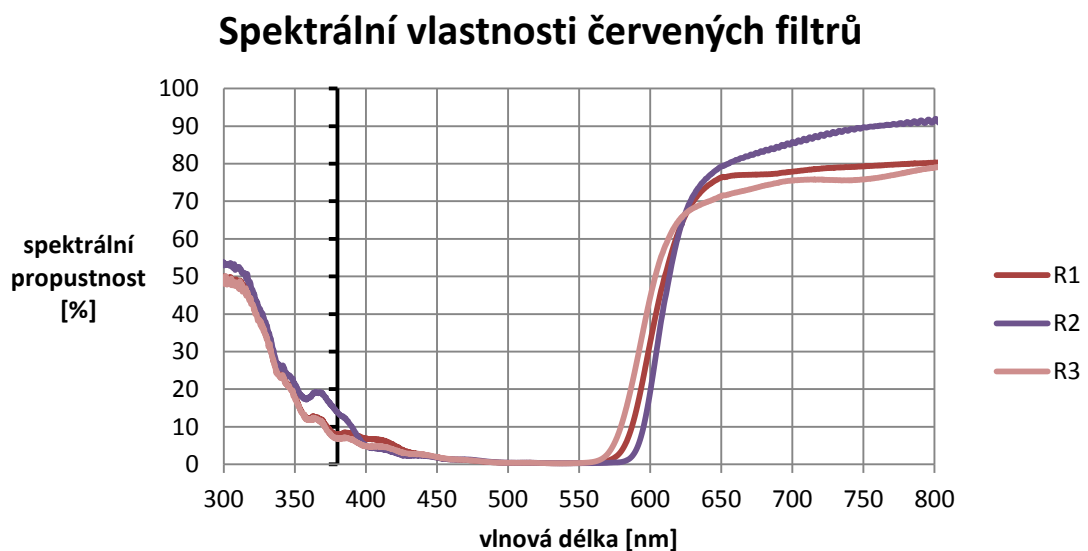
\*\*\* jedná se sice o plastové brýle, ale jako filtry jsou použity fólie

Na další straně jsou již na první pohled patrné rozdíly jednotlivých filtrů (obrázek 33). Jedná se o brýle (zleva) RC3, RC2, RC1, GM1, GM2.



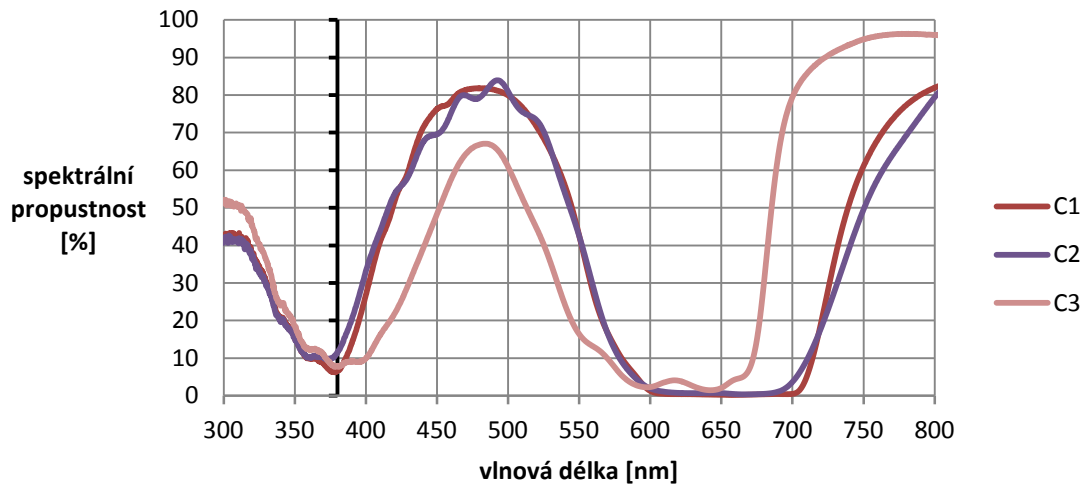
Obrázek 33: Testované anaglyfové brýle

Do stejných grafů jsem vždy vynesl spektrální propustnosti filtrů odpovídající barvy, aby je bylo možné lépe porovnat. Zvolil jsem rozsah 300 - 800 nm, aby bylo možné lépe pozorovat chování filtrů na krajích viditelného spektra, které leží zhruba mezi 380 - 780 nm. Hodnotu 380 nm jsem vyznačil tučně, aby byl lépe vidět začátek viditelné oblasti. Počet průměrování byl nastaven na 1000 vzorků a integrační čas byl vypočten na 9,37 ms.



Obrázek 34: Spektrální vlastnosti červených filtrů

## Spektrální vlastnosti azurových filtrů



Obrázek 35: Spektrální vlastnosti azurových filtrů

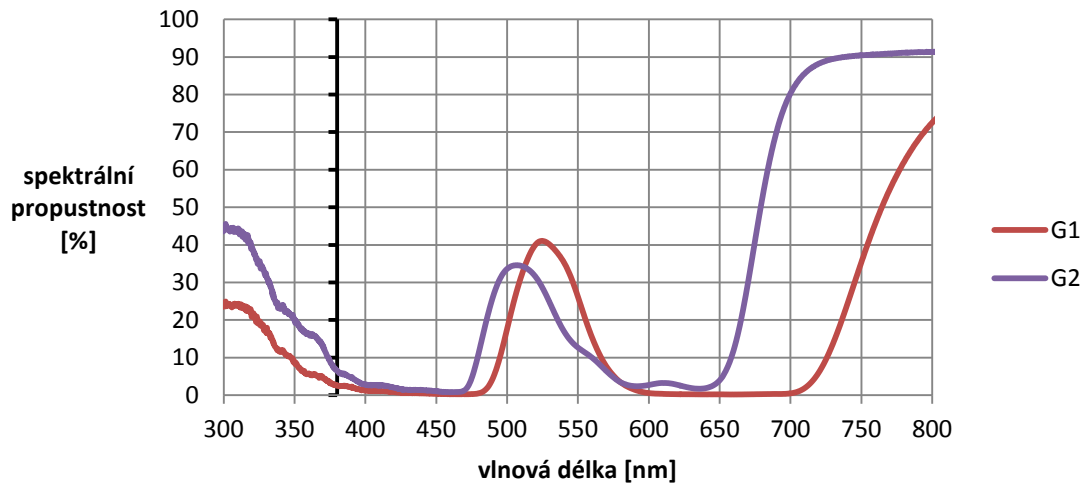
Především na výše uvedeném grafu je dobře patrné, že třetí zakoupené brýle, které byly prodejcem doporučeny jako velmi kvalitní, mají hodně rozdílné spektrální vlastnosti jednotlivých filtrů oproti papírovým brýlím.

I když může být tato odchylka drobně zapříčiněna také ne zcela vhodným zakrytím kosinového korektoru, způsobeným tvarem brýlí, tak se i v praxi tyto skutečnosti potvrdily.

Azurový filtr brýlí propouští i vlnové délky od 680 nm, což je barva, která pravému oku nepatří, jedná se o oranžovočervenou. Tím pádem se do pravého oka zobrazují i nežádoucí přeslechy v podobě známých duchů z levého obrazu.

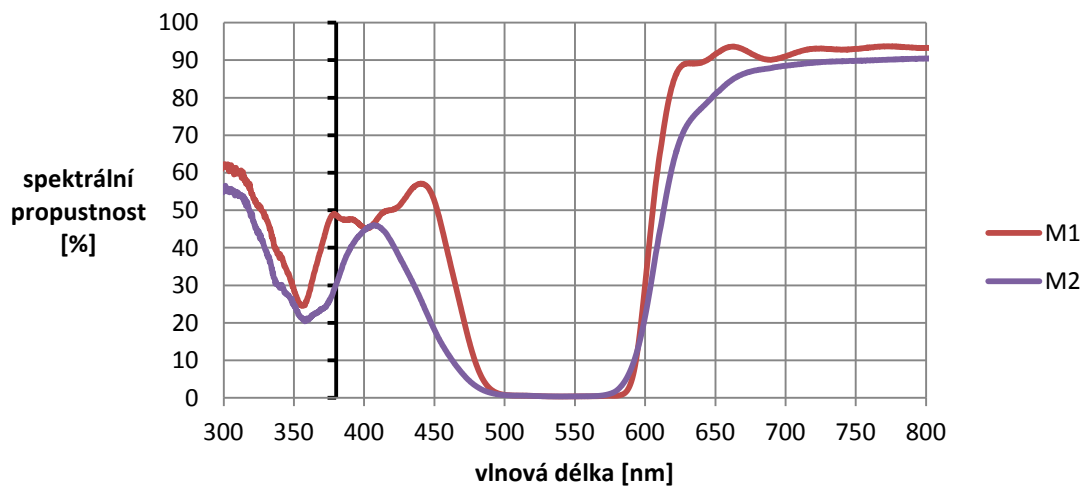
Brýle typu Green-Magenta se při praktických testech chovaly velmi podobně, přestože dle následujících grafů se charakteristiky ve viditelném poli drobně liší. Jak papírové, tak plastové brýle používají velmi podobné fólie jako barevné filtry, na rozdíl od plastových brýlí Red-Cyan, kde je plastové sklo, které má značně rozdílné vlastnosti.

### Spektrální vlastnosti zelených filtrů



Obrázek 36: Spektrální vlastnosti zelených filtrů

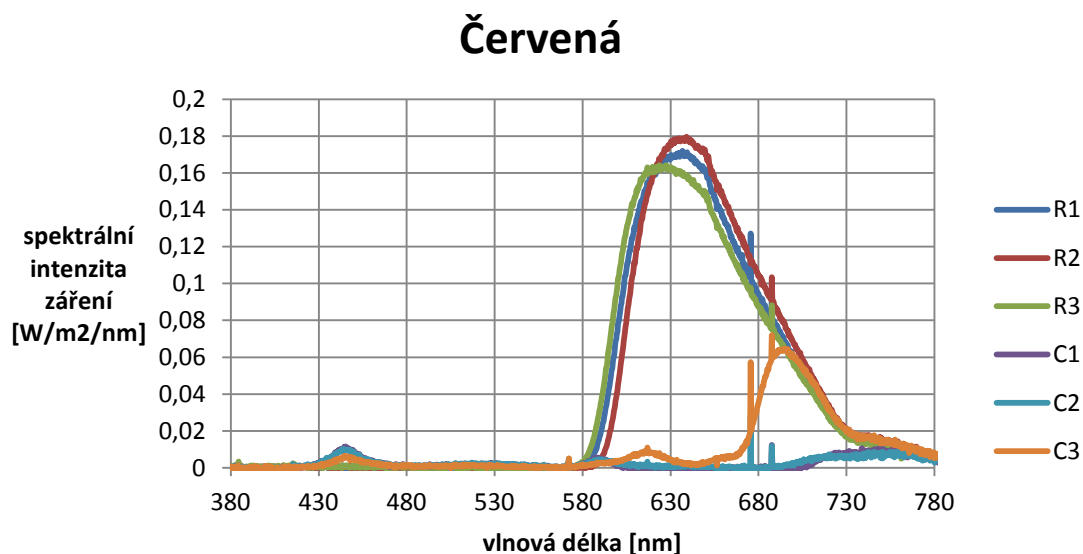
### Spektrální vlastnosti purpurových filtrů



Obrázek 37: Spektrální vlastnosti purpurových filtrů

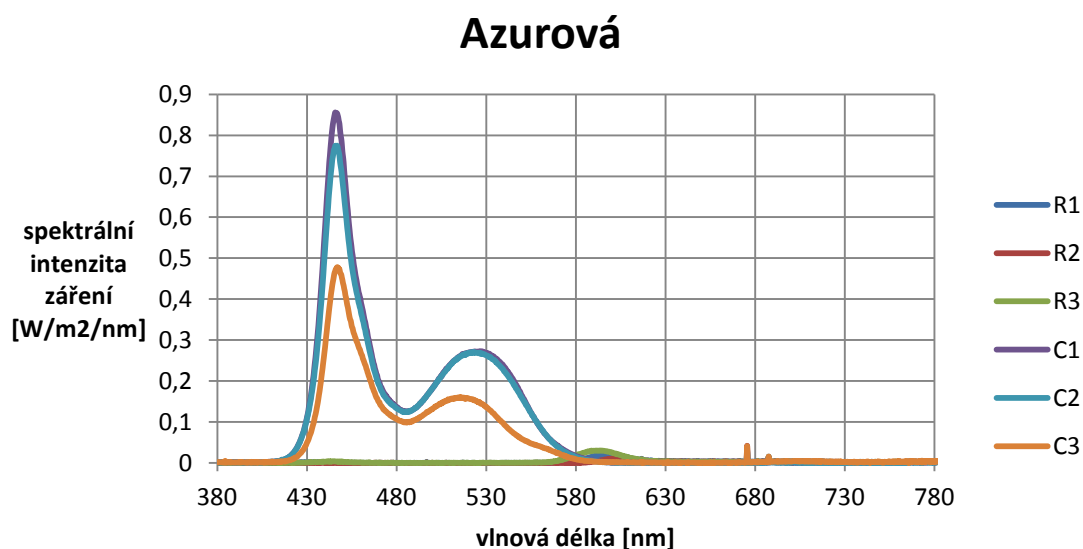
### 7.3.1 Měření přeslechů anaglyfu s přístrojem AvaSpec

Na grafech jsou znázorněny křivky pro jednotlivé filtry při zobrazení dané barvy.



Obrázek 38: Vlastnosti filtrů při zobrazení červené barvy

Jak je z grafů patrné, potvrdil se špatný odstín plastového filtru na zakoupených brýlích. Praxe tento výsledek také potvrdila. Při sledování červeného obrazu azurovým filtrem byl pouze s plastovými brýlemi jasně zřetelný červený odstín. Na papírových se jednalo pouze o tmavou barvu neurčitého odstínu.



Obrázek 39: Vlastnosti filtrů při zobrazení azurové barvy

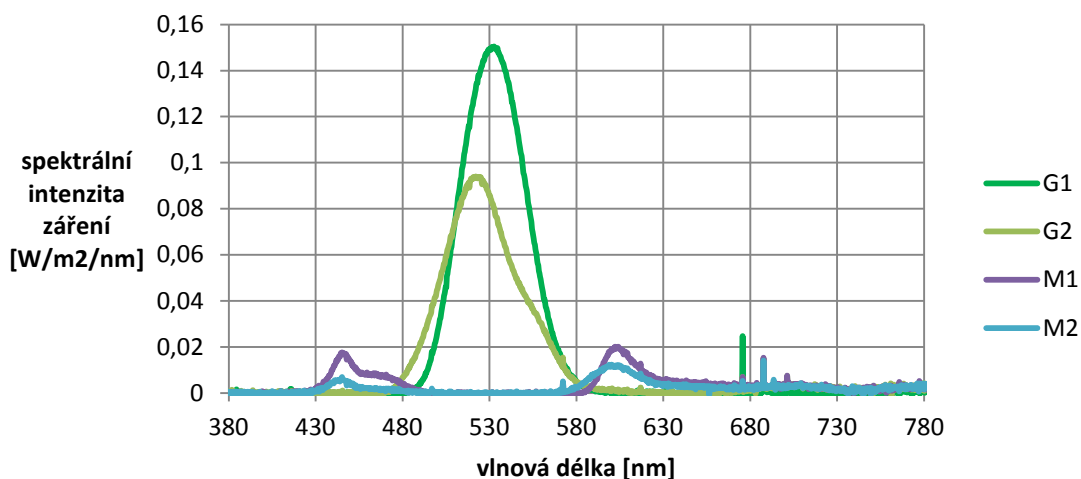
Na druhém grafu z předchozí strany (obrázek 39) jsou vidět pouze menší přeslechy při zobrazení azurové barvy, přesto se jako nejhorší ukazuje opět azurový filtr na plastových brýlích.

Změřené přeslechy jsou pro jednotlivé filtry dle vzorce (4) z kapitoly 7. následující:

- R1/C1	=	13 % / 1,3 %
- R2/C2	=	7 % / 1,4 %
- R3/C3	=	22,7 % / 3,1 %

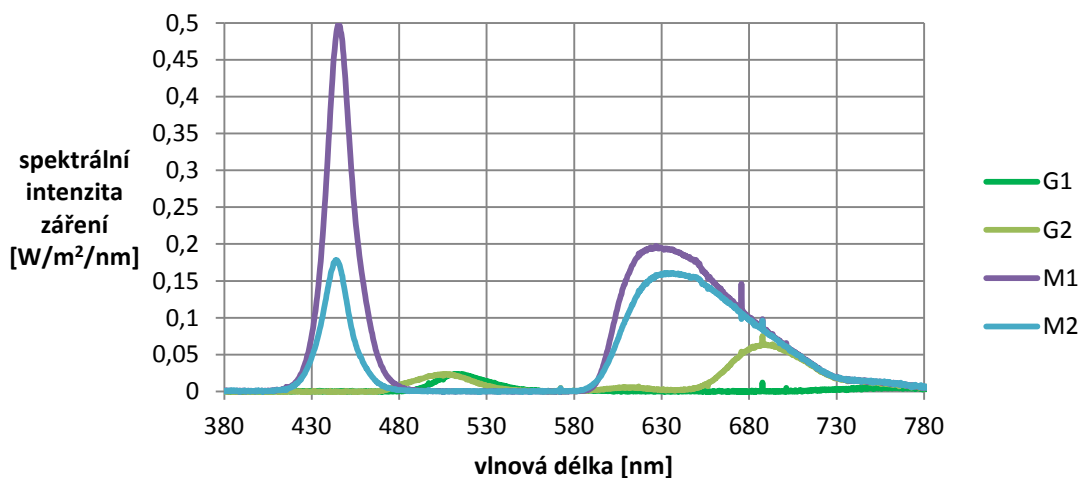
Výsledky jsou zaokrouhleny na desetiny procent, což je zde dostatečná přesnost.

### Zelená



Obrázek 40: Vlastnosti filtrů při zobrazení zelené barvy

### Purpurová



Obrázek 41: Vlastnosti filtrů při zobrazení purpurové barvy



Z uvedených grafů na předchozí straně (obrázek 40 a obrázek 41) jsou patrné odlišnosti jednotlivých filtrů, odpovídající křivkám jejich propustností v kapitole 7.3.

Výsledné přeslechy pro anaglyfový formát Green-Magenta jsou pak následující:

$$\begin{aligned} - G1/M1 &= 9,9 \% / 9 \% \\ - G2/M2 &= 17,3 \% / 10,3 \% \end{aligned}$$

### 7.3.2 Měření přeslechů anaglyfu s přístrojem PR-740

Při měření přístrojem PR-740 jsou všechny křivky pro spektrální vlastnosti jednotlivých filtrů velmi podobné. Neobsahují jen určité peaky na vlnových délkách (např.: v oblasti 680 nm) a celkově jsou křivky více hladší. I když se jedná o přesnější přístroj, bylo by zbytečné křivky uvádět při měření vlastností anaglyfových filtrů, kde je dostačující vláknový spektrometr.

V této kapitole tedy uvedu pouze přesně změřené hodnoty přeslechů jednotlivých filtrů testovaných 3D brýlí, opět pomocí vzorce (4) ze 7. kapitoly:

$$\begin{aligned} - R1/C1 &= 14,9 \% / 0,8 \% \\ - R2/C2 &= 7,2 \% / 0,8 \% \\ - R3/C3 &= 25,1 \% / 2,7 \% \\ \\ - G1/M1 &= 10,5 \% / 9,4 \% \\ - G2/M2 &= 18,1 \% / 10,8 \% \end{aligned}$$

V další kapitole, kde budou přeslechy změřeny pomocí posledního přístroje, bude uvedena tabulka všech naměřených výsledků jednotlivými přístroji pro jejich lepší porovnání.

## 7.4 Měření přístrojem ITL 1400-BL

Tímto přístrojem jsem se také snažil změřit přeslechy jednotlivých systémů. Jelikož se jedná o přístroj, u kterého nelze nastavit průměrování a ani jeho kalibrace, tedy pouhé vynulování přístroje při zakrytí měřicí sondy, není příliš přesvědčivé. Přesto se jedná o rychlé a jednoduché měření, které na zjištění míry přeslechů můžeme považovat za uspokojivé.

Výsledky pro jednotlivé systémy jsou uvedeny v následující tabulce společně s výsledky z měření pomocí ostatních přístrojů.

Přeslechy jednotlivých 3D systémů [%]			
Brýle	AvaSpec	PR-740	ITL 1400-BL
Aktivní	5,2	2,2	4,3
Pasivní	37,8	0,6	35,1
R1/C1	13 / 1,3	14,9 / 0,8	13,4 / 1,2
R2/C2	7 / 1,4	7,2 / 0,8	6,7 / 1,3
R3/C3	22,7 / 3,1	25,1 / 2,7	20,7 / 3,2
G1/M1	9,9 / 9	10,5 / 9,4	9,4 / 8,6
G2/M2	17,3 / 10,3	18,1 / 10,8	16,9 / 9,9
Výpočet probíhal dle vzorce (4) uvedeného v 7. kapitole.			

Tabulka 2: Porovnání 3D přeslechů

Je jasně patrné, že výsledky jsou opět velmi nedostačující pro měření pasivního 3D systému, kde řádková struktura televizoru způsobuje naprosto nesmyslné výsledky při měření v těsné blízkosti displeje. Přeslechy aktivního systému jsou zase ovlivněny blikáním displeje a 3D brýlí, které jsou pro tento přístroj jednoduše moc rychlé.

Měření přeslechů anaglyfu je podobné pomocí všech přístrojů.

## 8. Závěrečné zhodnocení

V bakalářské práci jsem vytvořil softwarové vybavení, které uživateli umožňuje nastavení veškerých důležitých parametrů, které ovlivní celkový dojem z výsledného videa. Prostřednictvím jednoduchého grafického prostředí může uživatel snadno zkontrolovat připojená zařízení, nastavit jim základní parametry otočení a překlopení obrazu a inicializovat je jako levou a pravou kameru.

Dále je zde možnost zarovnání systému s funkcí indikací potřebného posunu. Výchozí zarovnání systému je totiž velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje výslednou kvalitu videa. U našeho systému, který nedisponuje naprosto přesným chodem bez jakékoli vůle, je vhodné indikaci využít i po nastavení požadované velikosti stereoskopické báze ke kontrole stejného dotažení kamery a tím pádem stejné vertikální pozice obrazu.

Další nezbytnou funkcí pro natáčení stereoskopického videa je možnost kontrolovat výsledný 3D efekt pomocí živého náhledu. Proto je tato funkce v programu také implementována a umožňuje další možnosti zpracování obrazu v podobě jednoduchých barevných korekcí a především možnost umístění stereoskopického okna do výsledného obrazu. To je totiž také velice důležitý parametr podílející se na kvalitě výsledného videa. Tyto nastavené parametry je pak možné uložit do textového souboru pro pozdější využití při postprodukčním zpracování.

Program umožňuje výstup v několika nejrozšířenějších 3D formátech a obsahuje mimo nápovědy pro jeho ovládání také potřebné manuály pro snímání stereoskopického obrazu. Díky možnostem přepínání 3D režimu v živém náhledu nebo aktivace černobílého zobrazení se program hodí i pro experimenty se stereoskopickým videem a formátem anaglyf.

K tomuto účelu jsem vytvořil soubor úloh, které při nevhodném nastavení vybraných parametrů snímání značně ovlivňují celkový prostorový vjem a kvalitu výsledného videa. Návody k úlohám jsou obsaženy v přílohách této práce.

Při určování stereoskopické báze můžeme vycházet z pravidla poměru vzdálenosti 30 : 1, v našem případě konkrétně v rozmezí 35 : 1 až 40 : 1. Výsledný dojem totiž můžeme díky živému 3D náhledu ověřit a upravit již před začátkem natáčení do požadované formy. Vždy totiž hraje velmi důležitou roli subjektivní dojem z výsledné scény. Není důležité vytvářet velký prostorový efekt za cenu, že bude mít divák problém scénu správně a také rychle vyhodnotit. Video by mělo být ve výsledku pokud možno především snadno pozorovatelné.

V další části, kdy jsem měřil spektrální propustnosti anaglyfových filtrů a přeslechy jednotlivých 3D systémů, jsem získal hodnoty, které potvrdily teoretické a praktické zkušenosti s těmito technologiemi.

Tedy že anaglyf, i když se jedná o nejlevnější a nejméně náročnou variantu, je nejhorší možností pro pozorování stereoskopického obrazu. Mezi jeho hlavní nevýhody patří především téměř úplná ztráta barevné informace. Na testovaných brýlích se jako horší projevoval vždy levý filtr. Jedná se o levý filtr pravděpodobně proto, že většina lidí má dominantní pravé oko. Kvalitnější obraz je proto zprostředkováván právě pro pravé oko a levým se pouze doplňuje prostorová informace. Z toho důvodu se používá obvykle kombinace Red-Cyan a nikoli Cyan-Red. Dále je to i tím, že lidské oko je na červenou barvu nejméně citlivé.

Přeslechy pasivního 3D systému se podařily korektně změřit pouze přístrojem PR-740. Způsobeno to bylo především viditelnou řádkovou strukturou televizoru, kde měření, respektive i sledování 3D obrazu není možné v jeho bezprostřední blízkosti. Změřené přeslechy ostatních systémů odpovídají běžným hodnotám pro daný 3D systém.

## 9. Bibliografie

- [1] WOODS A. J., HARRIS C. R. *Comparing levels of crosstalk with red/cyan, blue/yellow, and green/magenta anaglyph 3D glasses*. Proceedings of SPIE Stereoscopic Displays and Applications XXI, vol. 7253, pp. 0Q1-0Q12, January 2010
- [2] KLÍMA Jindřich. *Binokulární vidění a výroba anaglyfu: bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010
- [3] *Vimeo: P+S Technik* [online]. Dostupné z: <<https://vimeo.com/pstechnik>>, stav z 14. 5. 2015
- [4] BREITKOPF Jiří. *Systém pro snímání a zpracování stereoskopického videa: projekt II*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2015
- [5] MOSER Lukáš. *3D stereo animace: bakalářská práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Květen 2012
- [6] KAHL Jan. *Snímání a reprodukce stereoskopického obrazu: diplomová práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2012
- [7] *Python Software* [online]. Dostupné z: <<https://www.python.org/>>, stav z 14. 5. 2015
- [8] *OpenCV: Open Source Computer Vision* [online]. Dostupné z: <[http://docs.opencv.org/trunk/d5/de5/tutorial\\_py\\_setup\\_in\\_windows.html](http://docs.opencv.org/trunk/d5/de5/tutorial_py_setup_in_windows.html)>, stav z 14. 5. 2015
- [9] *Bercovitz formula for stereo base* [online]. Dostupné z: <<http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm#bercovitz>>, stav z 14. 5. 2015
- [10] DASHWOOD Tim. *Dashwood cinema solutions* [online]. Dostupné z: <<http://www.dashwood3d.com/blog/beginners-guide-to-shooting-stereoscopic-3d>>, stav z 14. 5. 2015
- [11] *StereoEye: StereoBase Calculator* [online]. Dostupné z: <[http://www.stereoeye.jp/software/sbcalc\\_e.html](http://www.stereoeye.jp/software/sbcalc_e.html)>, stav z 14. 5. 2015
- [12] SONEIRA R. M. *3D TV Display Technology Shoot-Out* [online]. Dostupné z: <[http://www.displaymate.com/3D\\_TV\\_ShootOut\\_1.htm](http://www.displaymate.com/3D_TV_ShootOut_1.htm)>, stav z 14. 5. 2015

- [13] *Blackmagicdesign: Blackmagic Pocket Cinema Camera* [online]. Dostupné z:  
< <http://www.blackmagicdesign.com/products/blackmagicpocketcinemacamera>>,  
stav z 14. 5. 2015
- [14] *3D FilmFactory: 3D-BS MINI RIG* [online]. Dostupné z:  
<<http://www.3dfilmfactory.com>>, stav z 14. 5. 2015
- [15] *DIMENCO: Opening new dimensions* [online]. Dostupné z:  
< <http://www.dimenco.eu/our-technology/no-glasses>>, stav z 14. 5. 2015
- [16] *Avantes: enlightening spectroscopy* [online]. Dostupné z:  
< <http://www.avantes.com/products/spectrometers/starline>>, stav z 14. 5. 2015
- [17] *RedrockMicro* [online]. Dostupné z:  
< <http://store.redrockmicro.com/Catalog/micro3D/micro3dsxsshroud.html>>,  
stav z 14. 5. 2015
- [18] *P+S Technik: Professional Cine Equipment Manufacture* [online]. Dostupné z:  
< <http://www.pstechnik.de/shop/3d-testchart/a-1139/>>, stav z 14. 5. 2015

## 10. Seznam obrázků a tabulek

<i>Obrázek 1: Ilustrace 3D (převzato z [10])</i> .....	9
<i>Obrázek 2: Ukázka rigu s polopropustným zrcadlem (převzato z [14])</i> .....	10
<i>Obrázek 3 : Parametry pro určení stereoskopické báze (inspirace [11])</i> .....	11
<i>Obrázek 4: Pozitivní paralaxa</i> .....	12
<i>Obrázek 5: Nulová paralaxa</i> .....	13
<i>Obrázek 6: Negativní paralaxa</i> .....	13
<i>Obrázek 7: Rozměry kamery Blackmagic (převzato z [13])</i> .....	15
<i>Obrázek 8: Blackmagic Instensity Pro (převzato z [13])</i> .....	16
<i>Obrázek 9: Bokorys 3D rigu</i> .....	17
<i>Obrázek 10: Philips/Dimenco BDL4251VS (převzato z [15])</i> .....	18
<i>Obrázek 11: Avantes AvaSpec ULS2048 (převzato z [16])</i> .....	19
<i>Obrázek 12: Vysoký kontrast - osvětlení výtahu</i> .....	20
<i>Obrázek 13: Ukázka ovládání polohy kamery (převzato z [17])</i> .....	22
<i>Obrázek 14: Ukázka rozmístění zarovnávacích obrazců</i> .....	23
<i>Obrázek 15: Zarovnávací obrazec od P+S Technik (převzato z [18])</i> .....	23
<i>Obrázek 16: Schéma zapojení</i> .....	28
<i>Obrázek 17: Náhled vytvořeného programu</i> .....	31
<i>Obrázek 18: Schéma měření přeslechů s přístrojem AvaSpec</i> .....	32
<i>Obrázek 19: RGB spektrum zobrazovače 47LW6505</i> .....	33
<i>Obrázek 20: MKO diagram televizorů: Panasonic - černá, LG - bílá</i> .....	34
<i>Obrázek 21: CMY spektrum zobrazovače 47LW6505</i> .....	34
<i>Obrázek 22: 3D režim zobrazovače 47LW6505</i> .....	35
<i>Obrázek 23: RGB spektrum zobrazovače TX-P50VT20EA</i> .....	36
<i>Obrázek 24: CMY spektrum zobrazovače TX-P50VT20EA</i> .....	37
<i>Obrázek 25: 3D režim zobrazovače TX-P50VT20EA</i> .....	37
<i>Obrázek 26: Přeslechy zobrazovače TX-P50VT20EA</i> .....	38
<i>Obrázek 27: Měření přístrojem PR-740 z pozice uživatele</i> .....	39
<i>Obrázek 28: RGB spektrum zobrazovače 47LW6505</i> .....	39
<i>Obrázek 29: CMY spektrum zobrazovače 47LW6505</i> .....	40
<i>Obrázek 30: 3D režim zobrazovače 47LW6505</i> .....	40
<i>Obrázek 31: Zobrazení bílé barvy a propustnosti skel na TX-P50VT20EA</i> .....	41
<i>Obrázek 32: 3D režim zobrazovače TX-P50VT20EA</i> .....	42
<i>Obrázek 33: Testované anaglyfové brýle</i> .....	44
<i>Obrázek 34: Spektrální vlastnosti červených filtrů</i> .....	44
<i>Obrázek 35: Spektrální vlastnosti azurových filtrů</i> .....	45

<i>Obrázek 36: Spektrální vlastnosti zelených filtrů</i> .....	46
<i>Obrázek 37: Spektrální vlastnosti purpurových filtrů</i> .....	46
<i>Obrázek 38: Vlastnosti filtrů při zobrazení červené barvy</i> .....	47
<i>Obrázek 39: Vlastnosti filtrů při zobrazení azurové barvy</i> .....	47
<i>Obrázek 40: Vlastnosti filtrů při zobrazení zelené barvy</i> .....	48
<i>Obrázek 41: Vlastnosti filtrů při zobrazení purpurové barvy</i> .....	48
<i>Tabulka 1: Vzdálenost referenčního objektu</i> .....	25
<i>Tabulka 2: Porovnání 3D přeslechů</i> .....	50



# 11. Přílohy

- Příloha č. 1 - Struktura datového nosiče
- Příloha č. 2 - Úloha 1 - Zarovnání stereoskopického systému
- Příloha č. 3 - Úloha 2 - Správné umístění stereoskopického okna
- Příloha č. 4 - Úloha 3 - Měření přeslechů 3D zobrazovačů

## 11.1 Příloha č. 1 - Struktura datového nosiče

Souborová struktura datového nosiče		
Název	Umístění	Poznámky
*.pdf	\DOKUMENTACE	dokumentace v pdf
*.docx	\DOKUMENTACE	dokumentace v MS Word
TDS (.lnk)	\PROGRAM	zástupce spustitelného programu
**	\PROGRAM\TDS	složka spustitelného programu
TDS_install.exe	\PROGRAM\INSTALATOR	instalátor vytvořeného programu
*.py	\PROGRAM\SKRIPTY	zdrojové kódy vytvořeného programu
SPEC.py	\PROGRAM\MERENI	skript pro měření spektrálních vlastností
*.ui	\PROGRAM\UI	projekty designu GUI
** více souborů a složek, knihovny a další soubory spustitelného programu		

## 11.2 Příloha č. 2 - Zarovnání stereoskopického systému

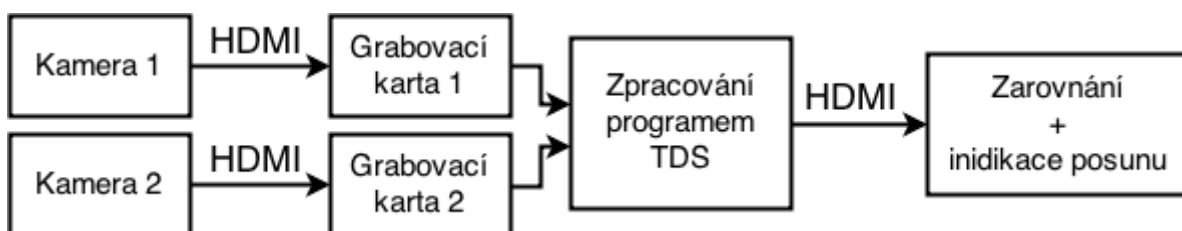
### Úloha 1 - Zarovnání stereoskopického systému

#### Zadání:

Prostřednictvím programu *TDS* proveďte správnou inicializaci kamer a zarovnejte stereoskopický systém do základní pozice pro natáčení. Vyberte si jeden ze tří režimů zobrazení, můžete použít i pomocné zarovnávací indikátory.

#### Vybavení:

- stereoskopický rig se zrcadlovou montáží
- kamery s možností živého výstupu (Blackmagic Pocket Cinema Camera)
- grabovací karty do PCIe (Blackmagic Intensity Pro)
- PC s operačním systémem Windows 7 a novějším
- 3D zobrazovač s formátem SBS nebo TAB (LG 47LW6505)
- program *TDS*



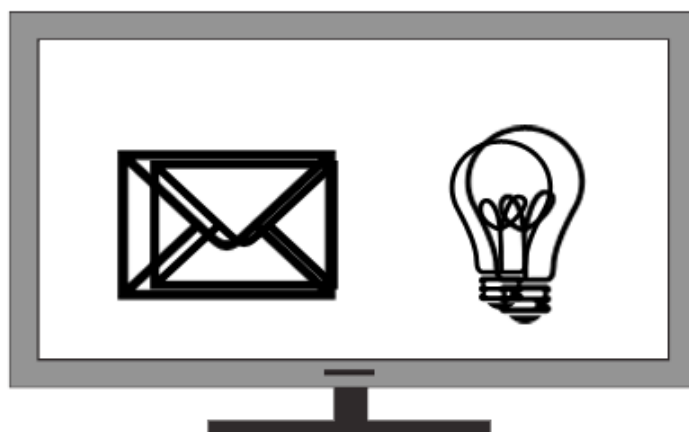
Obr. 1: Schéma zapojení úlohy

#### Teoretický úvod:

Nedílnou součástí pro natáčení stereoskopického videa s dobrým výsledkem je, aby byl systém co nejpřesněji zarovnán. To znamená, že při nulové stereoskopické bázi bychom měli vidět pomocí obou kamer naprosto totožný obraz - tj. normální 2D obraz.

V této pozici nesmí v žádném místě ve snímku docházet ke vzniku paralaxy, ať už by se jednalo o horizontální paralaxu, která je při natáčení 3D videa žádoucí, nebo dokonce vertikální paralaxu. Ta je při natáčení stereoskopického videa silně nežádoucí.

Na další straně (obr. 2, obr. 3, obr. 4) jsou uvedeny příklady špatného zarovnání a popsány jednotlivé nežádoucí defekty, které ve videu posléze vznikají.



*Obr. 2: Rozdílná ohnisková vzdálenost*

Zde je vidět důsledek rozdílné ohniskové vzdálenosti, kde je jeden obraz naprosto jinak velký. Takto natočené video je naprosto nesledovatelné. Dokonce malý rozdíl ohniskové vzdálenosti je velmi poznat.



*Obr. 3: Rozdílná poloha natočení v ose objektivu*

Zde dochází ke vzniku vertikální paralaxy. Pohoršující je dále skutečnost, že se ve snímku objevuje ve dvou podobách. V jedné části snímku jako kladná a ve druhé jako záporná. Opět se jedná o naprosto nežádoucí posun, který způsobí nemožnost spojení jednotlivých obrazů a vzniku prostorového efektu.

Na následujícím obrázku je ukázka špatného zarovnání ve vertikálním směru. Zde sice dochází pouze ke vzniku kladné nebo záporné vertikální paralaxy, přesto se jedná o naprosto nežádoucí jev. Například na horizontu, který bývá silně kontrastní, pak vznikají velmi výrazné a rušivé duchy.

Na ilustracích jsou sice objekty na jednolitěm pozadí, ale přesto jsou videa s těmito chybami nesledovatelná. Větší efekt nastává, když je pozadí více rozmanité nebo když jsou objekty umístěny u okrajů natáčené scény. Zde se může stát, že jedna kamera snímá objekt, který ve druhé není viditelný. To je pochopitelně také naprosto fatální jev, který působí značné obtíže.



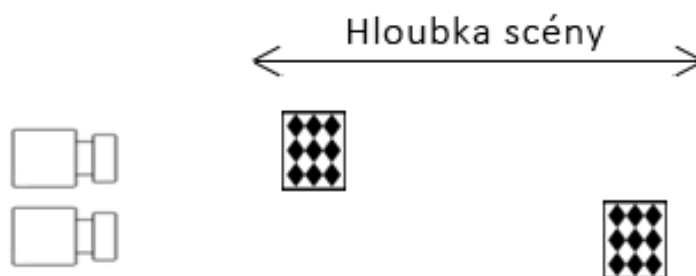
*Obr. 4: Vertikální paralaxa*

Při zarovnávání se postupuje vždy odzadu.

Na zadním obrazci se všechny odchylky vyrovnávají pomocí rotace kamery v její vodorovné ose (tilt) a rotace okolo její svislé osy (konvergence). K dorovnání odchylek na předním obrazci používáme pouze pohyby ve vodorovné nebo svislé rovině. Tedy změnu stereoskopické báze a elevaci kamery.

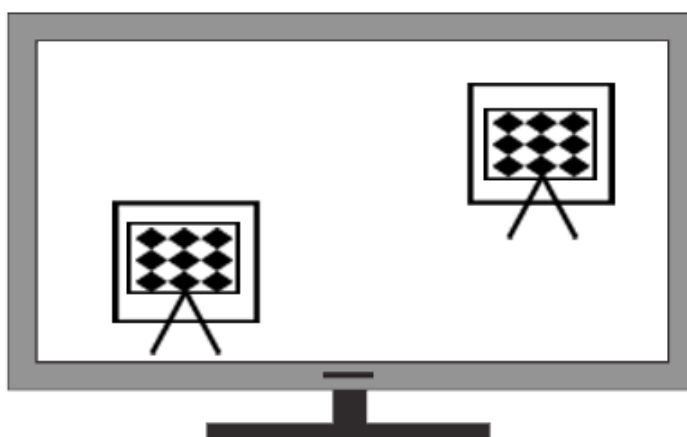
## Pracovní postup:

- 1) Na scéně rozmístíte dva zarovňovací obrazce, jeden umístíte do popředí a druhý na pozadí (viz obr. 5).



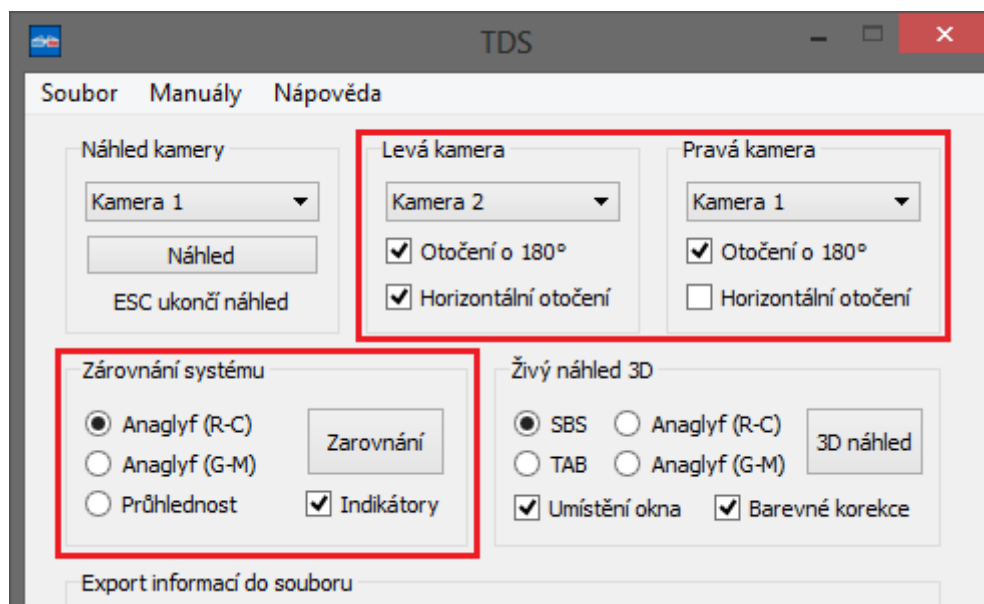
Obr. 5: Rozmístění obrazců

Při funkci zarovnání pomocí indikace v programu *TDS* jsou v okně s obrazem vyobrazeny dva čtverce, do kterých je nutno umístit dobře detekovatelný objekt, nejlépe zarovňovací tabulku. Do čtverce v pravém horním rohu se musí umístit objekt na pozadí scény a do čtverce v levém spodním rohu se musí umístit objekt do popředí scény (viz obr. 6).



Obr. 6: Umístění zarovňovacích tabulek

- 2) V programu TDS proveďte inicializaci kamer a spustte režim zarovnání. Bloky potřebné k inicializaci kamer a zarovnání jsou vyznačeny červeně (obr. 7).



Obr. 7: Zvýraznění potřebných bloků v programu

- 3) Nastavte stejnou ohniskovou vzdálenost, zaostření a nastavení kamer. Dále proveďte kontrolu náklonu kamery v ose objektivu, abyste vyrovnali vertikální rozdíl v levé a pravé části snímku. Tuto úpravu je vhodné provádět na jiné kameře, než na které se budou provádět ostatní úpravy.

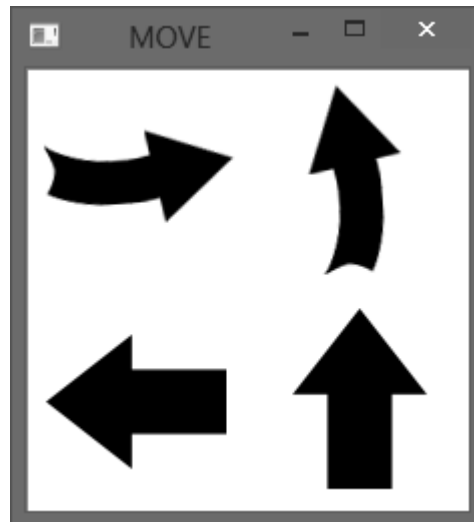


Obr. 8: Ovládací prvky pro nastavení polohy kamer

Úpravy náklonu kamery v ose objektivu, tiltu a elevace se provádí pomocí ovladačů mikrometrických šroubů vyznačených na obrázku červenými šipkami.

Úprava konvergence se provádí povolením celé destičky pomocí prvku znázorněného na obrázku modrou šipkou.

Program pomocí čtveřice šipek v novém okně indikuje, jaký směr by měl být zarovnán (obr. 9). Šipky jsou dvojího druhu, zakroucené a rovné. Zakroucené indikují nutnou změnu na pozadí scény (tilt a konvergence) a rovné nutnou změnu polohy v popředí, tedy úpravy na předním obrazci (elevation a stereoskopická báze). Pokud se zobrazí místo šipek 4x OK, systém by měl být zarovnán a připraven k natáčení. Stereoskopická báze je v tuto chvíli nulová.



Obr. 9: Znárodnění idndikace

### Závěr:

Prostřednictvím živého 3D náhledu programu *TDS* si vyzkoušejte, jak moc ovlivňují výsledný dojem ze scény jednotlivá nesprávně provedená zarovnání systému a jejich kombinace.

Dále můžete v živém 3D náhledu prostřednictvím klávesy "1" a "0" přepínat mezi normálním a inverzním 3D zobrazením. To simuluje špatnou inicializaci kamer, kdy jsou jednotlivé kamery přehozeny.

**Při těchto testech pamatujte na své zdraví, pokud by sledování působilo bolestivé problémy nebo nevolnost, ihned přestaňte!**



## 11.3 Příloha č. 3 - Umístění stereoskopického okna

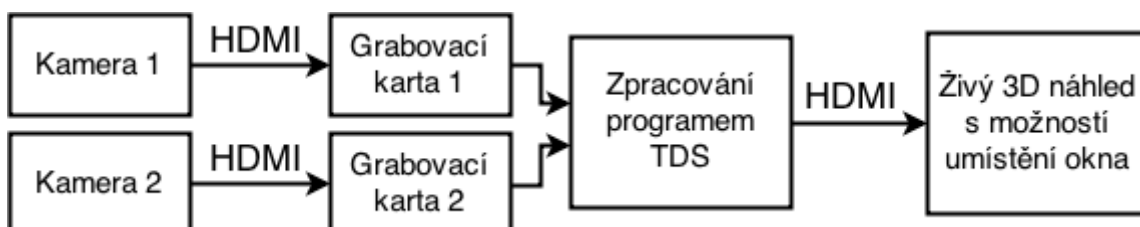
### Úloha 2 - Správné umístění stereoskopického okna

#### Zadání:

Prostřednictvím programu *TDS* proveďte správné umístění stereoskopického okna do scény. Vyberte si jeden ze čtyř režimů zobrazení (doporučujeme SBS nebo TAB) a pomocí funkce umístění okna v programu pohybujte posuvníky, dokud nedocílíte potřebné pozice.

#### Vybavení:

- stereoskopický rig se zrcadlovou montáží
- kamery s možností živého výstupu (Blackmagic Pocket Cinema Camera)
- grabovací karty do PCIe (Blackmagic Intensity Pro)
- PC s operačním systémem Windows 7 a novějším
- 3D zobrazovač s formátem SBS nebo TAB (LG 47LW6505)
- program *TDS*



Obr. 1: Schéma zapojení

#### Teoretický úvod:

Velmi důležitou postprodukční úpravou k získání kvalitního prostorového videa je sesazení snímků a umístění tzv. stereoskopického okna.

Jedná se o jakýsi rámec ohraničující snímek a hraje velmi důležitou roli ve výsledném dojmu. Divák se jeho prostřednictvím jednoduše řečeno dívá do scény.

Jeho pozice by správně měla korespondovat s okrajem obrazovky. To v praxi znamená, že jeho poloha by měla být před všemi objekty, které svými rozměry vystupují mimo okraje obrazovky, respektive na úrovni nejbližšího objektu, který okraj překračuje - tento objekt má pak nulovou paralaxu, jeví se tedy, jako by ležel v rovině obrazovky (obr. 2). Ve většině případů se zároveň jedná i o pozici referenčního objektu. Před stereoskopickým oknem mohou být pouze předměty, které nepřekračují svou polohou okraje obrazovky (viz obr. 3).

Nesprávným umístěním stereoskopického okna by ve snímku vznikaly nesmyslné chyby. Mozek by tuto scénu nedokázal korektně vyhodnotit, takže by nedošlo ke správnému propojení snímků a nenastal by prostorový efekt. Případně by došlo ke spojení snímku a tím ke vzniku prostorového dojmu, ale při pohledu ke krajům obrazovky by nastával problém s tím, že objekt, o kterém si myslíme, že by měl být před obrazovkou, v jejích okrajích náhle mizí (obr. 4). Tyto aspekty pak působí velmi bolestivě pro oči a mozek, který tento jev z reálného světa nezná a není ho schopen pochopit.



*Obr. 2: Správná pozice - objekt s nulovou paralaxou leží v rovině obrazovky*



*Obr. 3: Správná pozice - objekt nezasahuje do okrajů*

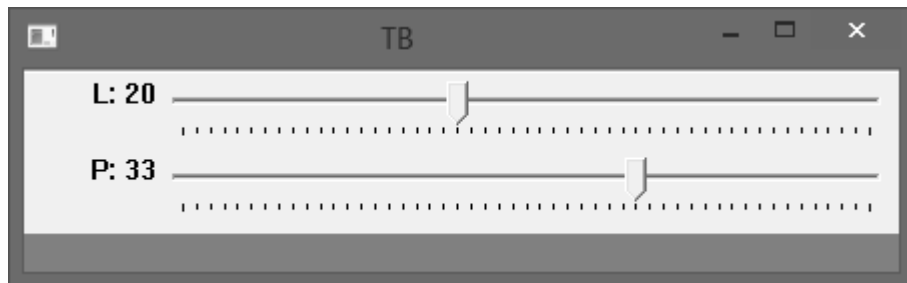


Obr. 4: Špatná pozice - objekt který leží před obrazovkou zasahuje do okrajů

### Pracovní postup:

- 1) Zapněte program *TDS* a proveďte správnou inicializaci kamer a zarovnání stereoskopického systému jako v úloze 1.

Vyberte si formát, ve kterém budete 3D video sledovat (SBS nebo TAB), a se zaškrtnutou možností umístění okna spusťte živý 3D náhled. Otevřou se dvě nová okna, z nichž v jednom je 3D náhled snímané scény a v druhém jsou posuvníky pro úpravu horizontální pozice levého a pravého obrazu (obr. 5).



Obr 5: Posuvníky pro úpravu pozice stereoskopického okna

- 2) Pohybuje posuvníky tak, abyste umístili stereoskopické okno do správné pozice. Když je pozice stereoskopického okna správná, můžete si provedenou změnu exportovat do formuláře ve spodní části hlavního programového okna stisknutím klávesy "s". Odtud je možné informace pro danou scénu uložit pro další použití.

### Závěr:

Vyzkoušejte si, jak výsledný dojem ze scény ovlivňuje umístění stereoskopického okna.

Umístěte okno do všech tří základních pozic a zdůvodněte, o jaké se jedná a proč.

## 11.4 Příloha č. 4 - Měření přeslechů 3D zobrazovačů

### Úloha 3 - Měření přeslechů 3D zobrazovačů

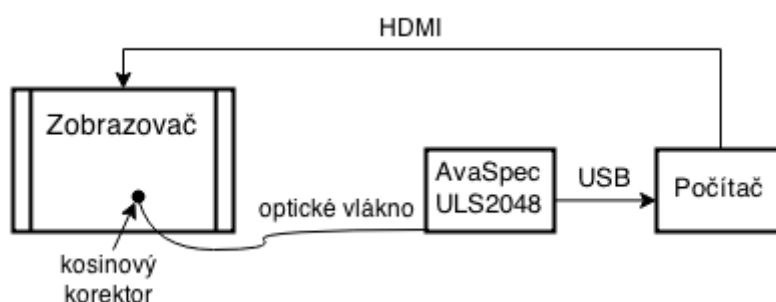
#### Zadání:

Změřte přeslechy jednotlivých 3D zobrazovačů a jejich spektrální vlastnosti.

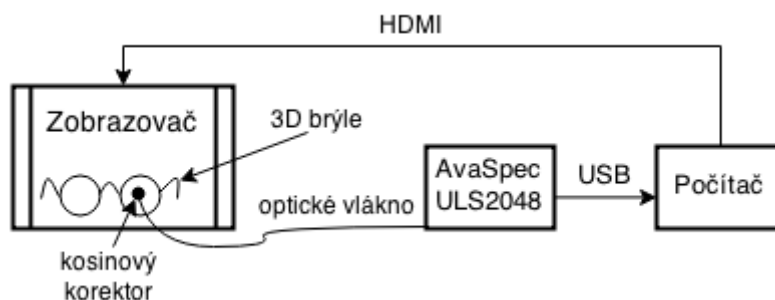
Naměřené výsledky porovnejte s hodnotami, které jsou pro daný systém typické.

#### Vybavení:

- pasivní 3D systém (LCD televizor LG 47LW6505)
- polarizační brýle LG Cinema 3D Glass AG-F210
- aktivní 3D systém (plazmový televizor Panasonic TX-P50VT20EA)
- aktivní 3D brýle Panasonic 3D Eyewear TY-EW3D10
- vláknový spektrometr AvaSpec ULS2048
- program AvaSoft 8.2



Obr. 1: Schéma měření spektrálních vlastností displeje



Obr. 2: Schéma měření přeslechů

## Teoretický úvod:

Přeslechy jsou ve stereoskopii problém, který vzniká nedokonalou separací levého a pravého obrazu. Vzniká tedy tehdy, když levým okem vidíme obraz, který je určený pro pravé oko a naopak. Tento jev se pak označuje jako přeslech 3D systému, který způsobuje ve stereoskopii známé a rušivé duchy. Jednotlivé objekty pak mají kolem sebe obrys předmětu snímaného z jiného úhlu druhou kamerou. 100% přeslech by vznikl, kdybychom scénu pozorovali bez brýlí.

U aktivních systémů vzniká například nedokonalou synchronizací zatmívání jednotlivých skel s frekvencí blikání displeje nebo, a to je častější případ, nedokonalým zatemněním jednotlivých skel, která jsou sice podstatně méně, ale stále dosti průhledná.

Typické přeslechy jsou u pasivního systému v řádu desetin procent, u aktivních systémů pak v řádu jednotek procent (záleží na kvalitě daného systému).

Přeslechy se počítají jako poměr nechtěného signálu, tedy úniku z obrazu, který náleží druhému oku, ku chtěnému signálu, který danému oku náleží.

Jejich velikost se tedy dá vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$cross = \frac{leak}{sig} \times 100, \quad (1)$$

kde *cross* je hodnota přeslechu vyjádřená v procentech, *leak* je svítivost, případně jas, který propouští filtr, jenž má v danou chvíli zobrazovat pouze černou barvu (ideálně nula), a *sig* je svítivost, případně jas, který propouští filtr, jenž má v danou chvíli zobrazovat bílou barvu (ideálně maximální jas zobrazovače).

## Pracovní postup:

- 1) Uvedte televizor do výchozího nastavení a vypněte případnou regulaci jasu, pokud je zapnutá. Provedte kalibraci přístroje AvaSpec pomocí návodu od výrobce. Připravte měřicí aparaturu dle obr. 1. Měření provádějte pokud možno v zatemněné komoře. Kosinový korektor na optickém vlákne přibližte co nejvíce k displeji.
- 2) Zobrazte na televizoru bílou barvu a nastavte v programu AvaSoft integrační čas na zhruba 4 sekundy. Ale pozor, aby nedošlo k saturaci. Čas je pouze orientační. Přesto nastavte co možná nejdelší. Počet průměrování nastavte alespoň na 10.
- 3) Zobrazte na displeji jednotlivé barvy (bílá, černá, červená, zelená, modrá) a změřte jejich spektrální vlastnosti. U bílé barvy si poznamenejte teplotu chromatičnosti.

- 4) Přepněte televizor do 3D režimu a pouštějte do něj signál, kdy pro levé oko je promítána bílá barva a pro pravé oko černá barva. Upravte aparaturu dle obr. 2 a změřte svítivost displeje po průchodu levým filtrem 3D brýlí. Měřicí aparaturu přiblížte co nejvíce k displeji. Následně přepněte 3D zobrazení, aby se barvy pro jednotlivé oči prohodily, a poté měření opakujte. Měření proveďte pro levý i pravý filtr 3D brýlí.
- 5) Jednotlivá měření z bodu 3 a 4 proveďte i s aktivním 3D displejem Panasonic. Přeslechy u tohoto systému změřte s oddálením měřicí aparatury od displeje do vzdálenosti asi 50 cm.

### **Závěr:**

Výsledky spektrálních vlastností obou displejů porovnejte a výsledky zdůvodněte.

Diskutujte, proč u pasivního 3D systému vychází hodnoty přeslechů výrazně větší, než je pro daný systém typické. Praktickým pozorováním 3D videa ověřte, jestli se může jednat o pravdivý výsledek.

Zdůvodněte výsledky měření aktivního systému a proč bylo nutné změnit rozložení měřicí aparatury.