

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Subjektivní hodnocení kvality stereoskopického obrazu

Autor práce: Bc. Martin Šindelář

Vedoucí práce: Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin ŠINDELÁŘ**
Osobní číslo: **E11N0078P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**
Název tématu: **Subjektivní hodnocení kvality stereoskopického obrazu**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Nastudujte metody subjektivního hodnocení kvality obrazu.
2. Připravte a proveďte subjektivní testy kvality stereoskopického videa s cílem identifikovat vlivy snižující vnímanou kvalitu obrazu.
3. Vyhodnoťte provedené testy a identifikované vlivy na vnímanou kvalitu stereoskopického obrazu.

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


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Konzultant diplomové práce: **Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**




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

L.S.


Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

V úvodu této diplomové práce, která je zaměřena především na subjektivní hodnocení kvality stereoskopického videa, nalezneme nejen stručný popis nejpoužívanějších subjektivních metodik definovaných v doporučení ITU-R BT.2021 a stručný popis nejpoužívanějších stereoskopických zobrazovacích systémů. Ale je zde také nastíněno, jakým způsobem lze stereoskopická videa vytvářet a jaké důležité parametry by měly být správně nastaveny v závislosti na nahrávané scéně. Hlavní část práce se pak zabývá realizací vybrané subjektivní metodiky Single-stimulus (SS) v prostředí MATLAB a samotným hodnocením, jehož cílem je zjistit kvalitu stereoskopického videa v závislosti na velikosti přeslechu, zpoždění a stereobáze. V závěrečné části práce jsou následně graficky znázorněny výsledky hodnocení, z kterých je možné vypozařovat mnoho závislostí, na jejichž základě jsou nakonec stanoveny závěry práce.

Klíčová slova

Stereoskopické zobrazování, stereoskopický stativ, subjektivní hodnocení kvality stereoskopického videa, implementace v prostředí MATLAB, vlivy snižující kvalitu stereoskopického obrazu

ŠINDELÁŘ, Martin. *Quality evaluation of stereoscopic images by subjective method*, Pilsen, 2013. Diploma thesis. University of West Bohemia. Lecturer Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

Abstract

In introduction this diploma thesis, which is focused primarily on the quality evaluation of stereoscopic videos by subjective methods, we find not only a brief description of the most frequently used subjective methods defined in recommendations ITU-R BT.2021 and a brief description of the most frequently used 3DTV systems. But there is also outlined, how stereoscopic videos are created and what important parameters should be correctly set in depending on the recording scene. The main part of the thesis deals with implementation of the selected subjective methodology Single-stimulus (SS) in MATLAB and the actual evaluation, whose aim is to determine the quality of stereoscopic video in depending on the size of crosstalk, delay and stereo-base. In the final part is consequently graphically shows the results of evaluation, from which is possible to see a lot of dependencies on which are finally determined conclusions the thesis.

Key words

Stereoscopic displaying, stereoscopic tripod, quality evaluation of stereoscopic video by subjective methods, implementation in the MATLAB, effects of reducing the quality of stereoscopic images

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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

.....

podpis

V Plzni dne 11.4.2013

Bc. Martin Šindelář

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu této diplomové práce panu inženýrovi Ivo Veřtátovi Ph.D. za jeho čas strávený konzultacemi a za cenné připomínky, které mi pomohly k úspěšnému dokončení práce. Dále bych chtěl také poděkovat všem hodnotícím, za jejich subjektivní hodnocení a různé postřehy či připomínky.

Obsah

ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
SEZNAM OBRÁZKŮ	11
SEZNAM TABULEK.....	12
SEZNAM GRAFŮ	12
1 PRINCIP A HISTORIE STEREOSKOPIE	13
2 STEREOSKOPICKÝ ZÁZNAM	15
2.1 TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ JEDNOHO ZÁZNAMOVÉHO ZAŘÍZENÍ	15
2.1.1 Princip fyzického posuvu záznamového zařízení	15
2.1.2 Princip se soustavou zrcadel.....	16
2.1.3 Programový („umělý“) posuv.....	17
2.1.4 Princip kamerového systému v pohybu.....	19
2.2 TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ DVOU STEJNÝCH ZÁZNAMOVÝCH ZAŘÍZENÍ.....	20
2.2.1 Stereoskopický stativ.....	20
2.2.2 Návrh stereoskopického stativu.....	21
2.2.3 Synchronizace záznamových zařízení	22
2.3 FORMÁTY STEREOSKOPICKÉHO VIDEO.....	23
2.3.1 Sekvenční uspořádání (Frame sequential).....	24
2.3.2 Horizontální uspořádání (Side by Side).....	24
2.3.3 Vertikální uspořádání (Over/Under).....	25
2.3.4 Prokládané uspořádání (Interlaced).....	25
2.3.5 Vícepolové uspořádání (Multi-view).....	26
3 STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ	27
3.1 ZOBRAZOVAČE NA PRINCIPU OPTICKÉ FILTRACE	27
3.1.1 Anaglyph.....	27
3.1.2 Polarizační stereoskopické systémy	29
3.1.2.1 Princip s dvojicí projektorů a stříbrným plátnem	30
3.1.2.2 Princip televizoru se speciální polarizační maskou	31
3.2 ZOBRAZOVAČE NA PRINCIPU ČASOVÉHO MULTIPLEXU	32
3.3 ZOBRAZOVAČE NA PRINCIPU PROSTOROVÉHO MULTIPLEXU	34
3.3.1 Metoda s paralaxní barierou	34
3.3.2 Metoda s lentikulárními čočkami.....	35
3.3.3 Autostereoskopické systémy	36

4	SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY STEREOSKOPICKÉHO VIDEOA	38
4.1	METODA SINGLE-STIMULUS (SS)	39
4.2	METODA DOUBLE STIMULUS CONTINUOUS QUALITY SCALE (DSCQS)	40
4.3	METODA PAIR COMPARSION (PC)	41
4.4	METODA SINGLE STIMULUS CONTINUOUS QUALITY EVALUATION (SSCQE)	42
4.5	HODNOTÍČÍ STUPNICE	44
5	REALIZACE SUBJEKTIVNÍHO TESTOVÁNÍ V PROSTŘEDÍ MATLAB.....	46
5.1	UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ	47
5.2	REGISTRACE	48
5.3	JEDNOTLIVÉ TESTY	48
6	OBSAH TESTŮ	52
6.1	TESTY ZRAKU	53
6.1.1	<i>Test horizontální šilhavosti (Horizontal strabismus)</i>	<i>53</i>
6.1.2	<i>Test vertikální šilhavosti (Vertical strabismus).....</i>	<i>54</i>
6.1.3	<i>Test pootočeného vnímání (Cyklophoria)</i>	<i>54</i>
6.1.4	<i>Test vnímání stejné velikosti a tvaru objektu</i>	<i>54</i>
6.1.5	<i>Test schopnosti vnímat dva rozdílné obrazy jako jeden</i>	<i>55</i>
6.1.6	<i>Test schopnosti zaostřit na vnímaný 3D objekt.....</i>	<i>55</i>
6.2	ZÁVISLOST NA VELIKOSTI PŘESLECHU MEZI LEVÝM A PRAVÝM KANÁLEM	56
6.3	ZÁVISLOST NA VELIKOSTI ZPOŽDĚNÍ MEZI LEVÝM A PRAVÝM KANÁLEM.....	57
6.4	ZÁVISLOST NA VELIKOSTI STEREOBÁZE.....	58
7	VYHODNOCENÍ TESTŮ.....	60
8	ZÁVĚR	67
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	68
	PŘÍLOHY.....	1
	Příloha A – M-file – Hlavní program (Menu).....	1
	Příloha B – M-file - Registrace uživatele.....	2
	Příloha C – M-file – Test zraku (úvodní test)	3
	Příloha D – M-file – Přeslechy Test 1	7
	Příloha E – Stereoskopický stativ (výrobní výkres).....	11
	Příloha F – DVD.....	12

Úvod

Předkládaná práce, která je zaměřena na subjektivní hodnocení kvality stereoskopického obrazu, je rozdělena do tří hlavních částí. První část je věnována obecné teorii stereoskopie a metodikám využívaných pro subjektivní hodnocení, které jsou definovány v doporučení ITU-R BT.2021. Nalezneme zde tedy přehled nejznámějších principů, kterých je využíváno, jak při záznamu stereoskopického obrazu, tak i při jeho následném zobrazování. Tyto principy jsou dále mezi sebou také porovnány a je zde poukázáno i na možné problémy, které s sebou jednotlivé principy přinášejí.

Následující část práce je pak věnována realizaci stanovených cílů. Prvním důležitým cílem práce je vytvořit testové videosekvence, pomocí kterých bude možné sledovat dopad tří vybraných vlivů na kvalitu stereoskopického videa. Přičemž těmito třemi vybranými vlivy jsou: přeslech mezi levým a pravým stereo kanálem, vzájemné zpoždění těchto kanálů a rozdílná velikost stereobáze. K natočení videosekvencí s rozdílnou stereobází je však zapotřebí speciálního stereoskopického stativu, proto je zde nutné nadefinování dalšího cíle, jímž je právě návrh a realizace stereoskopického stativu.

V případě, splnění pouze těchto cílů však ještě subjektivní testování provádět nelze. Je totiž zapotřebí dále definovat, jakým způsobem se budou hodnotící videosekvence prezentovat, jakým způsobem se budou zaznamenávat výsledky a jakým způsobem se budou tyto výsledky vyhodnocovat. Doporučení ITU-R BT.2021, sice definuje několik nejpoužívanějších metodik pro hodnocení stereoskopického obrazu, které vycházejí z metodik pro běžný obraz, definovaných doporučením ITU-R BT.500. Problém je však v tom, že doposud nebyl vytvořen žádný program, který by umožňoval testování stereoskopického videa provádět. Proto posledním cílem v této části je realizace programu (např. v prostředí MATLAB) na základě některé z již nadefinovaných metodik a pomocí tohoto programu subjektivní hodnocení provést.

V závěrečné části práce je pak cílem data, získaná během všech prováděných subjektivních testů vyhodnotit a určit, jaká úroveň zmíněných vlivů je pro pozorování stereoskopických záznamů přijatelná, a která již nikoliv. Výsledky hodnocení by přitom měly být prezentovány nejen jako takzvané „DMOS“ (průměr dat získaných od všech hodnotících), ale měly by být prezentovány i s ohledem na charakter hodnotících. Například v závislosti na věku či pohlaví hodnotících. Hodnocení jednotlivých skupin hodnotitelů se totiž může poměrně dosti lišit a na základě této odlišnosti, mohou být stanoveny mnohé závěry.

Seznam symbolů a zkratek

fps	frames per second (snímků za sekundu)
MATLAB.....	Matrix laboratory (maticová laboratoř)
R, G, B, t.....	Maticové vyjádření obrazu (červená, zelená, modrá složka a čas)

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: MEOSKOP [6].....	13
OBRÁZEK 2: KOTOUČ DO MEOSKOPU [6]	13
OBRÁZEK 3: POSUVNÝ STATIV [7].....	15
OBRÁZEK 4: PRINCIP STEREOSKOPICKÉHO OBJEKTIVU SE SOUSTAVOU ČTYŘ ZRCADEL[5]	16
OBRÁZEK 5: STEREOSKOPICKÝ OBJEKTIV PANASONIC VW-CLT1 [8].....	17
OBRÁZEK 6: SOFTWARE VYTVOŘENÁ DIFERENCE	19
OBRÁZEK 7: PRINCIP KAMEROVÉHO SYSTÉMU V POHYBU	20
OBRÁZEK 8: STEREOSKOPICKÝ STATIV - NÁRYS	21
OBRÁZEK 9: STEREOSKOPICKÝ STATIV	22
OBRÁZEK 10: FOTOGRAFIE ZHOVENÉHO STEREOSKOPICKÉHO STATIVU	22
OBRÁZEK 11: SEKVENČNÍ USPOŘÁDÁNÍ	24
OBRÁZEK 12: HORIZONTÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ	24
OBRÁZEK 13: VERTIKÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ.....	25
OBRÁZEK 14: PROKLÁDANÉ USPOŘÁDÁNÍ.....	25
OBRÁZEK 15: VÍCEPOLOVÉ USPOŘÁDÁNÍ	26
OBRÁZEK 16: ANAGLYPH PROJEKCE [9].....	27
OBRÁZEK 17: PASIVNÍ 3D BRÝLE	29
OBRÁZEK 18: PRINCIP S DVOJICÍ PROJEKTORŮ A STŘÍBRNÝM PLÁTNEM [10]	30
OBRÁZEK 19: POLARIZAČNÍ MASKA	31
OBRÁZEK 20: PRINCIP TEKUTÝCH KRYSTALŮ [11]	33
OBRÁZEK 21: PRINCIP ČASOVÉHO MULTIPLEXU [12].....	34
OBRÁZEK 22: METODA S PARALAXNÍ BARIEROU [13].....	35
OBRÁZEK 23: METODA S LENTIKULÁRNÍMI ČOČKAMI [13].....	36
OBRÁZEK 24: STRUKTURA HODNOCENÍ SS.....	39
OBRÁZEK 25: OBECNÉ USPOŘÁDÁNÍ ZKUŠEBNÍHO SYSTÉMU PRO METODY DSCQS	40
OBRÁZEK 26: STRUKTURA TESTU DSCQS	41
OBRÁZEK 27: PŘÍKLAD STRUKTURY TESTOVÁNÍ METODOU PC (NA JEDNOM DISPLEJI)	42
OBRÁZEK 28: SCHÉMA HODNOCENÍ.....	46
OBRÁZEK 29: HLAVNÍ MENU.....	47
OBRÁZEK 30: REGISTRACE.....	48
OBRÁZEK 31: OBSAH TESTU	49

OBRÁZEK 32: "ZOBRAZOVACÍ" ČÁST CYKLU	49
OBRÁZEK 33: „HODNOTÍCÍ“ ČÁST – TEST ZRAKU	50
OBRÁZEK 34: „HODNOTÍCÍ“ ČÁST – SUBJEKTIVNÍ TEST	50
OBRÁZEK 35: PRŮBĚH TESTU	52
OBRÁZEK 36: TEST HORIZONTÁLNÍ ŠILHAVOSTI.....	53
OBRÁZEK 37: TEST HORIZONTÁLNÍ ŠILHAVOSTI.....	54
OBRÁZEK 38: TEST POTOČENÉHO VNÍMÁNÍ.....	54
OBRÁZEK 39: TEST STEJNÉHO SNÍMÁNÍ VELIKOSTI OBJEKTU	55
OBRÁZEK 40: TEST SCHOPNOSTI VNÍMAT DVA ROZDÍLNÉ OBRAZY JAKO JEDEN	55
OBRÁZEK 41: TEST SCHOPNOSTI ZAOSTŘIT NA VNÍMANÝ 3D OBJEKT.....	56
OBRÁZEK 42: SIMULACE PŘESLECHU V PROGRAMU MATLAB (SIMULINK)	56
OBRÁZEK 43: PŘESLECHY - OBSAH VIDEOSEKVENCÍ	57
OBRÁZEK 44: ZPOŽDĚNÍ - OBSAH VIDEOSEKVENCÍ.....	57
OBRÁZEK 45: REALIZACE ZPOŽDĚNÍ V PROGRAMU SONY MOVIE STUDIO.....	58
OBRÁZEK 46: STEREOBÁZE – OBSAH VIDEOSEKVENCÍ	59

Seznam tabulek

TABULKA 1: HODNOCENÍ KVALITY OBRAZU.....	44
TABULKA 2: HODNOCENÍ KVALITY HLOUBKY	45
TABULKA 3: HODNOCENÍ KVALITY VISUÁLNÍHO KOMFORTU.....	45
TABULKA 4: ZASTOUPENÍ JEDNOTLIVÝCH SKUPIN HODNOTÍCÍCH.....	60
TABULKA 5: POČET OHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH SÉRIÍ	60

Seznam grafů

GRAF 1: SPEKTRÁLNÍ PROPUSTNOST BRÝLÍ ANAGLYPH	28
GRAF 2: PŘÍKLAD VÝSLEDKŮ TESTOVÁNÍ METODOU SSCQE.....	43
GRAF 3: ZÁVISLOST KVALITY HLOUBKY NA VELIKOSTI PŘESLECHU.....	61
GRAF 4: ZÁVISLOST KVALITY VISUÁLNÍHO KOMFORTU NA VELIKOSTI PŘESLECHU	61
GRAF 5: ZÁVISLOST KVALITY HLOUBKY NA VELIKOSTI ZPOŽDĚNÍ ³	62
GRAF 6: ZÁVISLOST KVALITY VISUÁLNÍHO KOMFORTU NA VELIKOSTI ZPOŽDĚNÍ	62
GRAF 7: ZÁVISLOST KVALITY HLOUBKY NA VELIKOSTI STEREOBÁZE - 1 M.....	63
GRAF 8: ZÁVISLOST KVALITY VISUÁLNÍHO KOMFORTU NA VELIKOSTI STEREOBÁZE - 1 M	64
GRAF 9: ZÁVISLOST KVALITY HLOUBKY NA VELIKOSTI STEREOBÁZE - 10 M	65
GRAF 10: ZÁVISLOST KVALITY VISUÁLNÍHO KOMFORTU NA VELIKOSTI STEREOBÁZE – 10 M.....	65

1 Princip a historie stereoskopie

Pojmem stereoskopie se obecně nazývá technologie, která umožňuje pozorovateli vnímat promítanou dvourozměrnou scénu trojrozměrně. Pro vnímání trojrozměrného prostoru je přitom zapotřebí pozorovateli, pomocí dvou nezávislých kanálů, současně zobrazit dva plošně posunuté obrazy stejné scény, které byly pořízeny dvěma horizontálně posunutými záznamovými zařízeními. Vzdálenost, která mezi těmito zařízeními vzniká, je v odborné literatuře také nazývána jako stereobáze a bývá velice často nastavena na 65 – 70 mm, což odpovídá průměrné vzdálenosti očí člověka. Záznamovým zařízením a obecně problematikou pořizování, ať už stereoskopických statických obrázků, či pohybově bohatších videosekvencí, bude dále věnována celá kapitola 2 „Stereoskopický záznam“. Základním principem je však vždy umožnit pozorovateli vnímat stejný obraz ze dvou různých úhlů, aby si následně mohl jako v reálném světě, v mozku vytvářet plastický trojrozměrný obrázek.

Při pohledu do historie zjistíme, že princip stereoskopie není v současné době žádnou novinkou, a že její základ byl objeven Charlesem Wheatstonem již v roce 1832. A k praktickému využívání docházelo například už v éře černobílé fotografie na konci 19. století nebo v polovině století 20. s nástupem fotografie barevné. Již v těchto dobách však nebylo příliš komplikované stereoskopické obrázky zaznamenat, ale nedokonalosti nastávaly téměř vždy až při stereoskopickém zobrazování. První zobrazovací systém, který se u nás v éře barevné fotografie prodával pod názvem Meoskop (Obrázek 1), byl založený na principu prostorového multiplexu. Či-li v jeden okamžik pozorovatel, koukající do Meoskopu, viděl každým okem jiný (vertikálně posunutý) obraz. Obrazy v meoskopu přitom byly zobrazovány z diapozitivů umístěných ve speciálních kotoučcích, které obsahovaly většinou více obsahově souvisejících stereo obrázků, jak ukazuje Obrázek 2.



Obrázek 1: Meoskop [6]



Obrázek 2: Kotouč do Meoskopu [6]

Z principu meoskopu vyplývá, že jej bylo možné využívat výhradně pro zobrazování stereofotografií, i když byly zaznamenány i pokusy, při kterých se rychlým otáčením kotoučku docílilo určitého pohybu ve vnímané scéně. Pohyb však musel být periodický a velikost kotoučku značně omezovala maximální počet snímků takovéto „stereosekvence“. Z tohoto důvodu bylo tedy od meoskopu odstoupeno a prvního opravdu stereoskopického videa se svět dočkal až v roce 1922. Jednalo se tehdy o film *The Power of Love* a jeho zobrazování bylo založeno na principu Anaglyph (kapitola 3.1.1), jehož princip byl popsán již v roce 1891 Louisem Du Hauronem, ale až právě v roce 1922 se jej podařilo skutečně realizovat.

O necelých 15 let později, s příchodem prvních barevných filmů, se zájem o stereoskopii ještě zvýšil a vyvrcholil v roce 1952, kdy se začaly objevovat stereografické promítačky i v komerční sféře. Tento „boom“ však poměrně rychle odezněl a následoval strmý úpadek trvající téměř 60 let. Další mírný vzrůst zájmu je pak zaznamenán s nástupem počítačů v 70. letech 20. století, kdy byla stereoskopie využívána především k vědeckým účelům. Poslední nejvyšší nárůst zájmu o stereoskopii je již datován téměř do současnosti, kdy je využíváno ke stereoskopickému zobrazování především moderních LCD, či plasmových televizorů a uplatnění této technologie se rozrůstá do mnoha dalších odvětví (např.: lékařství, mikroskopie, atd.). Různým metodám zobrazování, které jsou v současné době hojně využívány, se bude podrobněji věnovat kapitola 3.

Historické údaje byly získány ze zdrojů [4] a [14].

2 Stereoskopický záznam

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak pro zaznamenání jakékoliv scény se zachováním prostorové informace, je nutné vytvořit dva rozdílné plošně posunuté obrazy téže scény, které budou při následném zobrazování této scény simulovat obraz viditelný levým respektive pravým okem. Způsobů, jakými lze tyto dva plošně posunuté obrazy získat, je několik. Obecně je však lze rozdělit do dvou skupin:

- a) technologie využívající jednoho záznamového zařízení
- b) technologie využívající dvou stejných záznamových zařízení

2.1 Technologie využívající jednoho záznamového zařízení

Do této první skupiny patří především technologie, které se využívaly již od samého zrodu stereoskopie a to převážně pro záznam tzv. 3D fotografií, kde princip je založený na skutečném fyzickém posuvu fotoaparátu o určitou pevně danou vzdálenost, která je nejčastěji, jak již bylo zmíněno výše, okolo 7 cm. Ale patří sem také systémy, které k vytvoření posuvu využívají speciálního objektivu se soustavou přesně natočených zrcadel. A nakonec i systémy, které pro vytvoření dvou rozdílných obrazů vyžadují speciálního softwarového zpracování. U posledních dvou systémů je přitom nutno podotknout, že oproti systému prvnímu, je jejich nespornou výhodou jejich možné využití nejen pro záznam 3D fotografií, ale také pro záznam nestatických videosekvencí.

2.1.1 Princip fyzického posuvu záznamového zařízení

Tento princip, který je z uvedených zajiště principem nejjednodušším, byl využíván již v počátcích stereoskopického fotografování na konci 19. století. Základem je pomocí posuvného zařízení vytvořit mezi jednotlivými vyfocenými snímky (pro levé a pravé oko) horizontální posuv. Jedno z prvních posuvných zařízení, které mělo posun nastavený pevně na 65 mm, ukazuje obrázek 3.



Obrázek 3: Posuvný stativ [7]

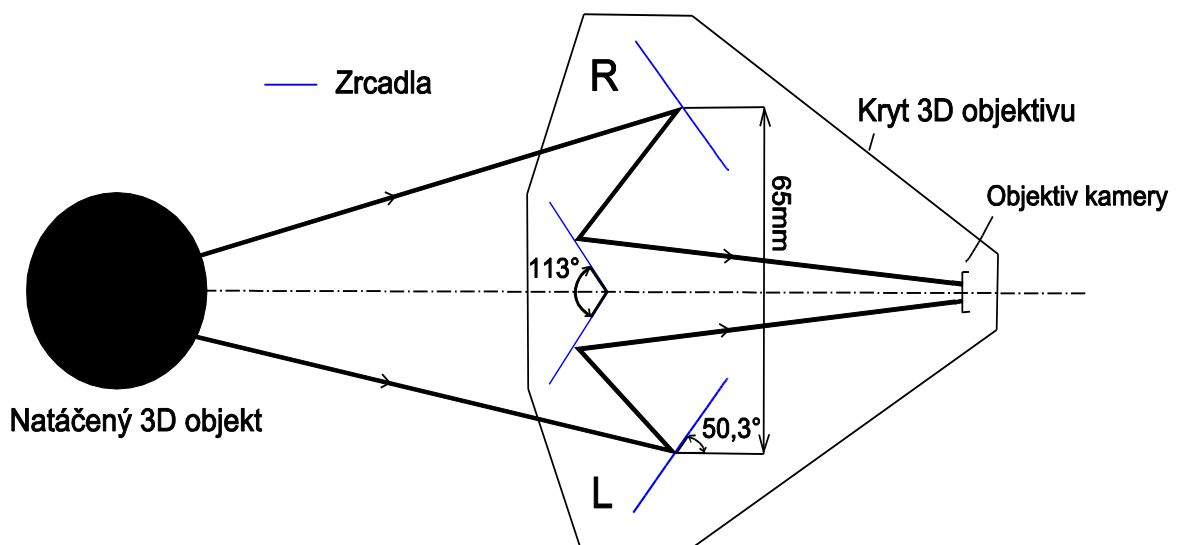
Další možná realizace posuvného zařízení může být postavena na základě otočného ramene, jehož střed otáčení se nachází ve středu stativu, na který je posuvné zařízení připevněno, a na konci tohoto ramene je pomocí otočného spoje připevněn fotoaparát. Postup

pořízení obou stereo snímků s takovýmto stavem je opět velice jednoduchý. Nejdříve je vyfocen snímek určený pro levé oko, při natočeném rameni doleva a v následujícím kroku je rameno pootočeno o 180° a vyfocen je snímek pro pravé oko. Při tom je však zapotřebí dbát na to, aby se fotografovaná scéna během přenastavení stavu nezměnila. Tento nedostatek praktického využití při fotografování věcí v pohybu byl jedním z hlavních důvodů, proč byl tento princip postupně nahrazen principy následujícími.

2.1.2 Princip se soustavou zrcadel

Základy tohoto principu, který umožňuje realizovat potřebný optický posuv, v nejjednodušším případě za pomoci pouze čtyř přesně natočených zrcadel, byly popsány již o mnoho let dříve, než došlo k jeho masivnějšímu využívání. A je tedy až s podivem, že se tzv. stereoskopické objektivy využívající tento relativně jednoduchý princip, začaly v komerční sféře objevovat až v nedávné budoucnosti. Kde se díky relativně nízké ceně staly zároveň objektivy pro stereoskopii nejpoužívanějšími.

Typické uspořádání zrcadel v takovémto stereoskopickém objektivu ukazuje Obrázek 4. Na něm jsou tlustými plnými čarami naznačeny dráhy světelných paprsků putujících od natáčeného objektu dvěma separátními cestami, až na objektiv záznamového zařízení. Přičemž všechny paprsky, které putují dráhou označenou písmenem „L“ dávají dohromady obraz, který bychom viděli levým okem. A naopak paprsky putující dráhou označenou písmenem „R“ dávají dohromady obraz viditelný pravým okem. Dále je zde vidět, že vzdálenost prvních zrcadel (pozn.: bráno ve směru šíření paprsků) je nastavena na přibližnou vzdálenost očí člověka (65 mm). A také typické natočení zrcadel pro případ natáčení relativně blízkých objektů.



Obrázek 4: Princip stereoskopického objektivu se soustavou čtyř zrcadel[5]

Z předchozí věty tedy vyplývá, že pro ideální natočení stereoskopické videosekvence je nutné natočení zrcadel měnit v závislosti na vzdálenosti pohybujícího se objektu. V praxi se však většinou nastaví stereoskopický objektiv vždy pouze na počátku natáčení a po celou dobu natáčení jedné scény se nemění.

Na obrázku je dále naznačeno, již zmíněnými plnými čarami, že každý obraz dopadá pouze na polovinu plochy objektivu kamery a tím je umožněno zaznamenávat oba obrazy současně v tzv. formátu „side by side“ (jeden vedle druhého). Více o tomto a jiných formátech pro záznam stereoskopických videosekvencí naleznete v podkapitole 2.3.

V praxi je teoreticky možné použít i nastavení objektivu, kdy obraz šířící se levou i pravou částí objektivu dopadá na celý objektiv záznamového zařízení. Takto nastavený stereoskopický objektiv lze použít, ale jen za předpokladu, že kamera, na kterou je objektiv připevněn, má možnost tyto dva rozdílné obrazy rozlišit (například pomocí rozdílné polarizace) a každý obraz zaznamenat zvlášť. Ve většině případů se však používá spíše prvně zmíněné nastavení objektivu, které využívá například i stereoskopický objektiv od společnosti Panasonic VW-CLT1, který byl využit k natáčení několika videosekvencí použitých v subjektivních testech a který je zobrazen na obrázku 5. Na tomto obrázku si mimo jiné můžeme všimnout i třech nastavovacích prvků, jimiž je možné v určitém rozsahu měnit natočení zrcadel.



Obrázek 5: Stereoskopický objektiv Panasonic VW-CLT1 [8]

2.1.3 Programový („umělý“) posuv

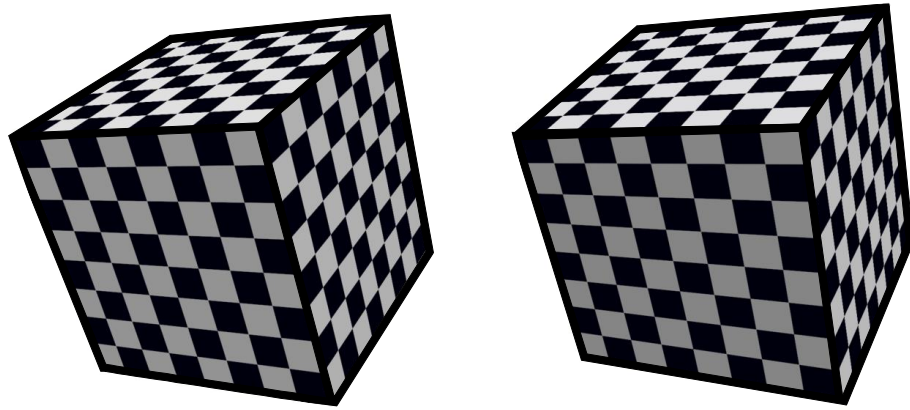
Metoda, která je běžně nazývána také jako konverze z 2D do 3D, využívá k docílení difference mezi jednotlivými obrazy softwarového zpracování. Přičemž toto zpracování obrazových dat se ve většině případů provádí až na straně zobrazovací, nikoliv přímo při

záznamu jako tomu bylo v metodách předcházejících. Je tedy patrné, že záznam je možno provádět téměř jakoukoliv běžnou (2D) digitální kamerou a výslednou videosekvenci následně zpracovat buď takzvaně „offline“ pomocí speciálního programu na PC nebo takzvaně „online“ pomocí funkcí implementovaných až přímo v procesorech nejmodernějších 3D televizorů.

Samotný převod do 3D je velice složitý a veliké množství matematických operací, které jsou při tomto převodu prováděny, zvyšuje požadavky na výkon procesoru, který tyto operace provádí. O jaké přesné operace se však jedná, ale není obecně příliš známo, protože každý výrobce, který se na tento segment zaměřuje, si používané postupy střeží jako výrobní tajemství. Nicméně existují dva základní principy, z nichž pravděpodobně většina výrobců vychází.

První princip je použitelný především pro statické scény, které jsou natáčeny kamerovým systémem v pohybu. Při takovýchto scénách je odhadnuta rychlost pohybu záznamového zařízení při natáčení a v závislosti na této rychlosti je pak obraz pro jedno oko uměle zpoždován o určitý časový úsek. Například tedy: Budeme-li mít scénu s leteckým pohledem na nějaký zámek, kde letadlo s kamerou se pohybuje z pohledu diváka například zleva doprava. Pak je takovýto pohyb detekován procesorem a obraz, který bude následně určen pro levé oko, bude v takovémto případě oproti obrazu pro pravé oko promítán s několika snímkovým zpožděním. A tím se mezi jednotlivými obrazy docílí požadované difference velmi podobné difference, které lze docílit například principem se soustavou zrcadel.

Druhý princip, který je oproti prvnímu výpočetně i principiálně podstatně náročnější, se využívá pro scény dynamické, kterých je, nutno podotknout, ve většině videosekvencí většina. Základem tohoto principu je schopnost identifikovat obrysy pohybujících se objektů, které jsou identifikovány na základě kontrastu vznikajícího na rozhraní 3D objektu a jeho pozadí. Z toho tedy plyne, že čím větší tento kontrast je, tím lépe je obrys objektu identifikovatelný. Obrys identifikovaného objektu je následně v obrazu pro každé oko „zkosen“ pod jiným úhlem a tím je uměle docílena difference, která by vznikla i v reálném světě v případě, že bychom se na tento objekt dívali každým okem z jiného úhlu tak, jak tomu ve skutečnosti opravdu je. Na obrázku 6 můžeme vidět příklad takto docílené difference.



Obrázek 6: Softwarově vytvořená diference

2.1.4 Princip kamerového systému v pohybu

Základní myšlenka, na které je tento princip založen, byla již částečně nastíněna v předchozí kapitole. Kde již bylo zmíněno, že kamerový systém, kterým chceme natočit danou statickou scénu, se musí vůči statické scéně pohybovat určitou (v ideálním případě konstantní) rychlostí. A dráha, po které se systém pohybuje, by se měla co nejvíce přibližovat části kružnice, jejíž středem je právě statická scéna, kterou chceme natočit. Tím je zajištěno, že vzdálenost kamerového systému od natáčené scény bude téměř konstantní. Pokud by totiž tato vzdálenost byla proměnná, nebo v nejhorším případě lineárně rostla či klesala, tak by byla proměnná i velikost natáčené scény v obraze, čímž by mohlo dojít ke zkreslení výsledného 3D vjemu.

Pokud je však scéna natočena správně, je následné zpracování videosekvence poměrně jednoduché. V závislosti na vzdálenosti a rychlosti pohybu záznamového zařízení, je obraz určený pro jedno oko (pro které, je určeno směrem pohybu) zpožděn o určitý počet televizních snímků. Jak velké toto zpoždění musí být, není obecně nikterak dáno, ale pokud známe optimální velikost stereobáze pro stejně vzdálený objekt, tak jej lze spočítat, tak jak je uvedeno v následujícím příkladu.

Příklad:

rychlost pohybu kamery $v = 5 \text{ km/h}$

vzdálenost od scény $r = 1,1 \text{ m}$

ideální stereobáze¹ ($r = 1,1 \text{ m}$) $s = 19 \text{ cm}$

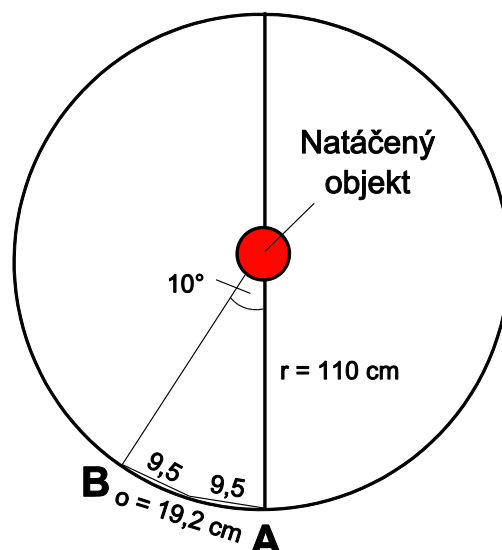
snímková frekvence kamery $f_s = 25 \text{ fps}$

$5 \text{ km/h} = 1,39 \text{ m/s} = 139 \text{ cm/s}$

Vzdálenost, kterou urazí kamera během trvání

jednoho snímku: $\frac{139}{25} = 5,56 \text{ cm}$

Výsledné zpoždění: $\frac{19,2}{5,56} = 3,4 \approx 3 \text{ snímky}$



Obrázek 7: Princip kamerového systému v pohybu

2.2 Technologie využívající dvou stejných záznamových zařízení

Základem těchto technologií je vždy tzv. stereoskopický stativ, který je osazen dvojicí stejných záznamových zařízení. V případě, že se jedná o dvojici fotoaparátů a scéna, kterou chceme fotografovat je statická, tak není potřeba žádného dalšího zařízení, které by zajišťovalo synchronní vyfotografování scény. V případě, že se ale chystáme zaznamenat pohybující se scénu, nebo dokonce videosekvenci pomocí dvojice videokamer, pak je nutné doplnit systém ještě o zařízení, zajišťující synchronizaci obou záznamových zařízení. Způsobů pro zajištění synchronizace je známo poměrně mnoho, a proto je tomuto tématu věnována celá podkapitola 2.2.3.

2.2.1 Stereoskopický stativ

Aby byl stereoskopický stativ univerzální a použitelný pro zaznamenání většiny scén, které chceme vyfotit popřípadě natočit, měl by umožňovat nastavení několika kritických parametrů. Nejdůležitějším parametrem, který je potřeba vždy nastavit v závislosti na vzdálenosti zaznamenávané scény, je stereobáze. Která by měla být umožněna měnit minimálně v rozmezí 65 mm až 300 mm. Dalším parametrem, který by měl kvalitní stativ umožňovat měnit, je úhel svíraný osami kamer. Tento by měl být umožněn měnit v rozsahu

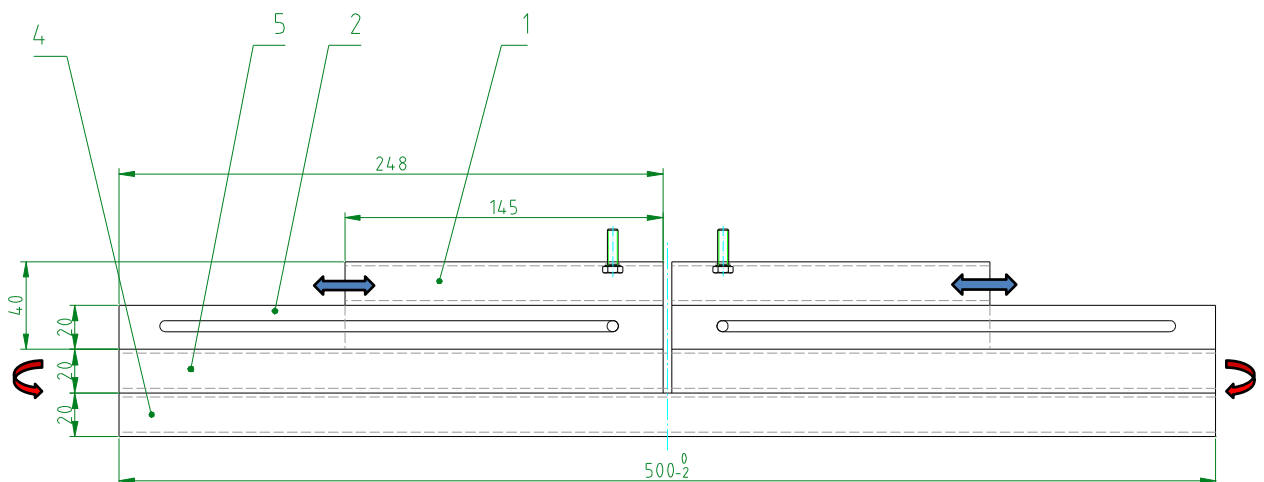
¹ Velikost ideální stereobáze pro objekt vzdálený 1,1 m, je zjištěna z výsledků subjektivních testů, kterým je věnována kapitola 7.

minimálně $0^\circ - 10^\circ$. Poslední a však neméně důležitou vlastností takového stativu by měla být jeho univerzálnost vzhledem k připevnění na tzv. tripod (trojnožku), respektive k možnosti osazení jakýmkoliv párem záznamových zařízení.

2.2.2 Návrh stereoskopického stativu

<u>Vlastnosti:</u>	Rozsah stereobáze	6,5 cm – 47 cm
	Úhel svíraný osami kamer	$0^\circ - 10^\circ$ (sbíhavě)
	Závít pro uchycení kamer	W 1/4"
	Rychloupínací prvek stativu	RC2/Q2

Jak je vidět z nárysu navrhovaného stativu, tak základ stativu tvoří nosná část (4), na které jsou pohyblivě připevněna dvě nezávisle pohybující se ramena (5), jejichž pohybem ve směru červených šipek lze nastavit úhel svíraný osami kamer v požadovaném rozmezí $0^\circ - 10^\circ$ (sbíhavě). Každé rameno je přitom tvořeno dvěma částmi, které jsou vůči sobě navzájem pohyblivé a to však pouze ve směru, který je znázorněn modrými šipkami. První pevná část ve tvaru písmene „U“ je vytvořena pevným spojením dílů (2) a (5) a tvoří takzvanou „kolejnici“ po které se pohybuje druhá pohyblivá část. Tato část je vytvořena spojením dílů (1) a (3) a její výsledný tvar, jak můžeme vidět na bokorysu stativu, připomíná písmeno „T“.

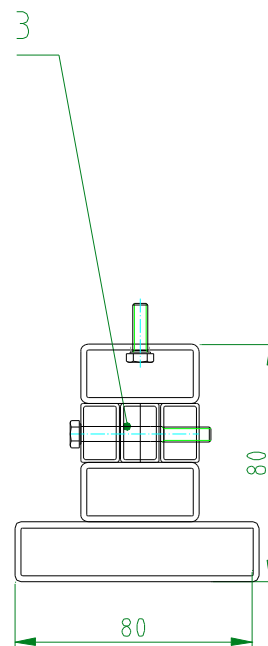


Obrázek 8: Stereoskopický stativ - nárys

Na výkresu si také můžeme všimnout, že v bočních dílech „kolejnici“ jsou vytvořeny vodící drážky, jimiž je v případě posouvání veden šroub, který je zároveň pevně spojený s částí pohyblivou. Tímto je tedy zajištěno nejen pohyblivé spojení obou částí, ale zároveň také určen maximální rozsah stereobáze 6,5 – 47 cm. V obou pohyblivých částech jsou dále umístěny také šrouby s takzvaným Whitworthovým závitem W 1/4", které slouží pro připevnění dvojice

záznamových zařízení. Délka těchto šroubů je 7 mm a v profilu jsou uchyceny pomocí gumového těsnění, které zároveň tvoří dosedací plochu kamer.

Z bokorysu stativu můžeme dále vyzorovat, že celý stativ je vyroben z hliníkových obdélníkových profilů, jejichž tloušťka je 2mm. Do profilu (2) je navíc podél vodící drážky vyfrézovaná stupnice, která napomáhá snadno a rychle nastavit požadovanou stereobázi. Celý stativ je zespoda ještě vybaven obdélníkovou rychloupínací destičkou označovanou jako RC2/Q2, která umožňuje rychlé připevnění na většinu prodáváných stativů. Na obrázku 10 je fotografie již zhotoveného stativu osazeného dvojicí kamer Panasonic HDC-SD800 a připevněného na tripod od společnosti Velbon. Kompletní výrobní výkres tohoto stativu je k dispozici v příloze E.



Obrázek 9: Stereoskopický stativ bokorys



Obrázek 10: Fotografie zhotoveného stereoskopického stativu

2.2.3 Synchronizace záznamových zařízení

Synchronizace záznamových zařízení je nezbytná, jak již bylo předesláno v úvodu kapitoly, především u nahrávání pohyblivých scén, kde může v určitých případech rušivě působit již poměrně malé vzájemné zpoždění (řádově několik snímků). Synchronizaci lze přitom zajistit několika možnými způsoby.

Prvním a zároveň nejjednodušším způsobem, je vytvořit výraznou zvukovou špičku, například tlesknutím, nebo jiným zdrojem hluku, kterou zaznamenají mikrofony obou použitých videokamer. A podle které pak při následném zpracování záznamů můžeme obě videosekvence zarovnat na stejný čas. Toto má však za následek porušení určité části zvukové stopy, což je jeden z důvodů, proč je tato metoda využívána prakticky jen při amatérských záběrech. Při kterých se ve většině případů využívá kamer, které ani využití jiného způsobu neumožňují.

Další možný způsob je využitelný pouze u typu kamer, které jsou vybaveny dálkovým ovladačem, který umožňuje ovládat obě dvě kamery najednou. V takovémto případě je synchronizace velice prostá a spočívá pouze v namíření ovladače na tuto dvojici a spuštění nahrávání. Tento způsob synchronizace není zdaleka ještě způsobem profesionálním, ale ve většině případů způsobem dostačujícím.

Poslední způsob je pak opět jako způsob předchozí využitelný pouze pro určitý druh videokamer. Konkrétně pro ty, které jsou vybaveny synchronizačními vstupy, do nichž jsou u obou kamer přiváděny z generátoru synchronizační impulsy. Tento generátor synchronizačních impulsů přitom může být buď externí, nebo může být v některých případech implementován přímo v jedné z kamer, ze které je pak signál přiváděn do synchronizačního vstupu kamery druhé.

Díky tomuto propojení je pak zajištěno, nejen absolutně přesné spuštění záznamu v obou kamerách, ale je zajištěna například i stejná doba expozice, nebo stejná snímková frekvence a to po celou dobu trvání záznamu. Což je jeden z hlavních důvodů, proč je tento způsob synchronizace prakticky jediným, který je využíván i u profesionálních stereoskopických kamerových systémů.

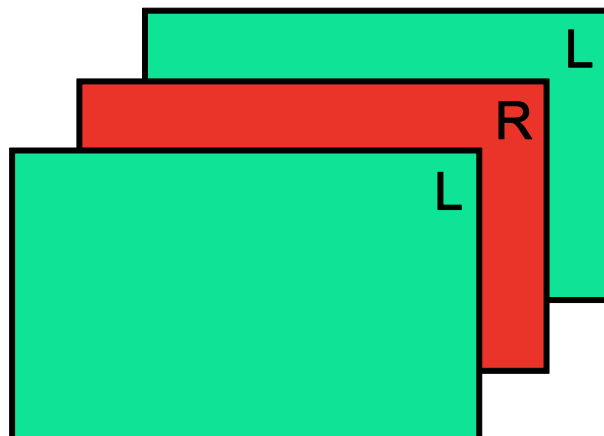
2.3 Formáty stereoskopického videa

S rostoucím počtem zařízení, které jsou schopny zaznamenávat, přehrávat či jinak zpracovávat stereoskopické snímky tvořené dvěma plošně posunutými obrazy, představujícími obrazy určené pro levé respektive pravé oko pozorovatele a rostoucím počtem výrobců těchto zařízení. Roste i nutnost jejich vzájemné kompatibility.

Z toho důvodu bylo standardizováno následujících pět základních formátů.

2.3.1 Sekvenční uspořádání (Frame sequential)

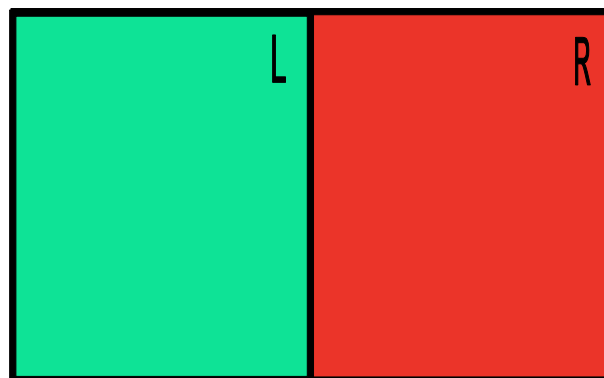
Anglický název prvního formátu lze volně přeložit jako sekvenci snímků, přičemž snímky v této sekvenci po sobě následují střídavě pro levé a pro pravé oko, tak jak je znázorněno na obrázku 11. Na tomto obrázku je znázorněno také, že sekvence snímků začíná snímkem určeným pro levé oko. Existují však případy, kdy sekvence začíná snímkem opačným. Z tohoto důvodu je tedy nutné, aby zařízení zpracovávající tento formát podporovala takzvanou funkci „swap L/R“, která umožní v případě potřeby snímky vzájemně prohodit.



*Obrázek 11: Sekvenční uspořádání
(levý snímek první)*

2.3.2 Horizontální uspořádání (Side by Side)

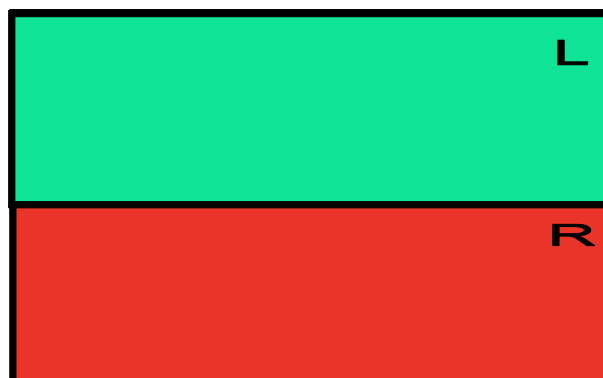
Formát Side by Side je ze všech uvedených formátů formátem nejpoužívanějším a podporují jej snad úplně všechna zařízení zpracovávající stereoskopické záznamy. Vyskytuje se přitom ve čtyřech různých modifikacích, které se liší buď v orientaci dvojice (levý snímek vlevo - pravý snímek vlevo) anebo v rozlišení jednotlivých snímků (plné - poloviční). Verzi s levým snímkem vlevo a polovičním rozlišením ukazuje obrázek 12.



*Obrázek 12: Horizontální uspořádání
(levý snímek první, poloviční šířka)*

2.3.3 Vertikální uspořádání (Over/Under)

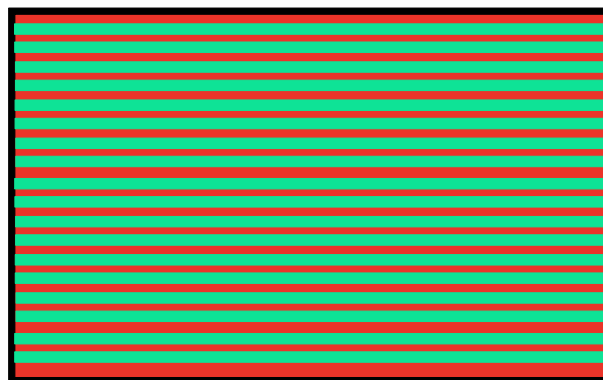
Tento formát je velice podobný formátu předchozímu a rovněž tak jej můžeme nalézt ve čtyřech různých variantách lišících se, buď v orientaci dvojice (levý nahoře - pravý nahoře), anebo v rozlišení jednotlivých snímků (plné - poloviční).



Obrázek 13: Vertikální uspořádání (levý snímek nahoře, poloviční výška)

2.3.4 Prokládané uspořádání (Interlaced)

Formát Interlaced, neboli proložený, je určený především pro televizory nebo projekory, které jsou vybaveny speciální polarizační maskou zajišťující rozdílnou polarizaci lichých a sudých řádků. (viz kapitola 2.1.2.2). Takováto zařízení pak mohou obrázky ve formátu Interlaced rovnou zobrazovat a nemusí provádět proklad až před samotným zobrazením, jak tomu ve

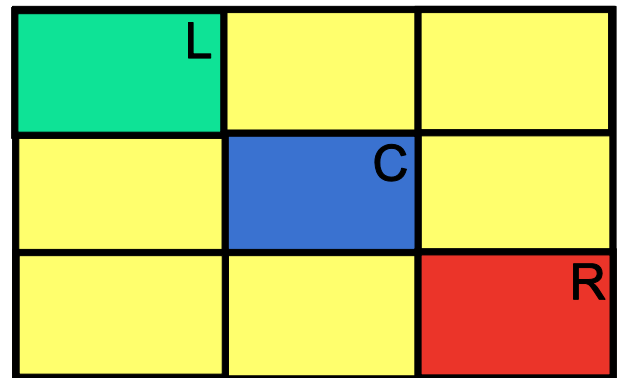


Obrázek 14: Prokládané uspořádání (pravý řádek první, poloviční výška)

většině případů z důvodu nízké využitelnosti tohoto formátu je. Z obrázku 14 pak můžeme vypožorovat, že stejně tak jako u předchozích metod se můžeme setkat se čtyřmi různými variantami, lišících se ve způsobu proložení (levý řádek první – pravý řádek první) nebo v rozlišení jednotlivých snímků (plné - poloviční). Dále také existují varianty s prokládáním po sloupcích, které jsou však využívány méně.

2.3.5 Vícepolové uspořádání (Multi-view)

Poslední formát Multi-view, je formátem určeným výhradně pro takzvané autostereoskopické zobrazovače, které pro svoji správnou funkci vyžadují nejen dva plošně posunuté obrazy, jako tomu je u většiny jiných stereoskopických zobrazovačů. Ale vyžadují i několik dalších plošně posunutých pohledů na tutéž scénu. Z tohoto důvodu, jak je vidět i na obrázku



*Obrázek 15: Vícepolové uspořádání
(9 polí, levý snímek první)*

15, je tedy jeden televizní snímek rozdělen do devíti polí. V polích na diagonále, jsou přitom umístěny snímky pořízené levou, centrální a pravou kamerou, kdežto v polích ostatních jsou umístěny snímky z těchto interpolované.

V některých případech se můžeme setkat i s formátem využívajícím jen pět z těchto devíti polí, v takovém to případě jsou k dispozici jen dva interpolované snímky. V každém případě je však nutné, stejně jako u všech formátů předchozích, definovat jaký snímek je první (levý snímek první – pravý snímek první) a v jakém rozlišení jsou snímky v jednotlivých polích k dispozici.

3 Stereoskopické zobrazování

Úkolem všech stereoskopických zobrazovacích systémů obecně je, vytvořit dva nezávislé separátní kanály, jimiž jsou pozorovateli zobrazovány dva rozdílné (plošně posunuté) obrazy, které byly pořízeny pomocí některé z metod uvedených v kapitole 2. Principů, jak tyto dva separátní kanály realizovat je přitom několik a podle toho, jakého principu je u zobrazovacího systému využito, lze obecně všechny zobrazovače rozdělit do třech základních skupin.

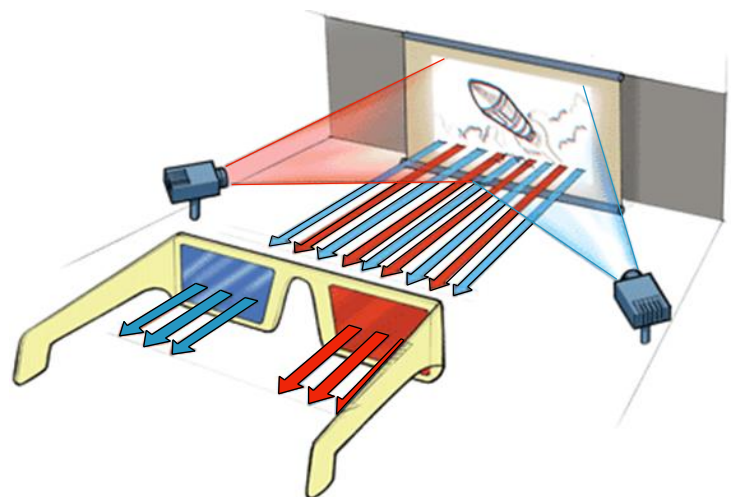
- Zobrazovače na principu optické filtrace
- Zobrazovače na principu časového multiplexu
- Zobrazovače na principu prostorového multiplexu

3.1 Zobrazovače na principu optické filtrace

Do této skupiny zobrazovačů, jak již název napovídá, patří především systémy využívající k rozlišení dvou rozdílných obrazů, různých vlastností optických filtrů. V případě, že se využívá vlastností takzvaných barevných filtrů, jejichž úkolem je propustit barevné odstíny natáčené scény shodné barvy s barvou filtru a naopak potlačit odstíny barvy odlišné, mluvíme o systémech nazývaných jako Anaglyph. V případě, že je však využito rozdílných polarizačních účinků optických filtrů, pak mluvíme o systémech polarizačních.

3.1.1 Anaglyph

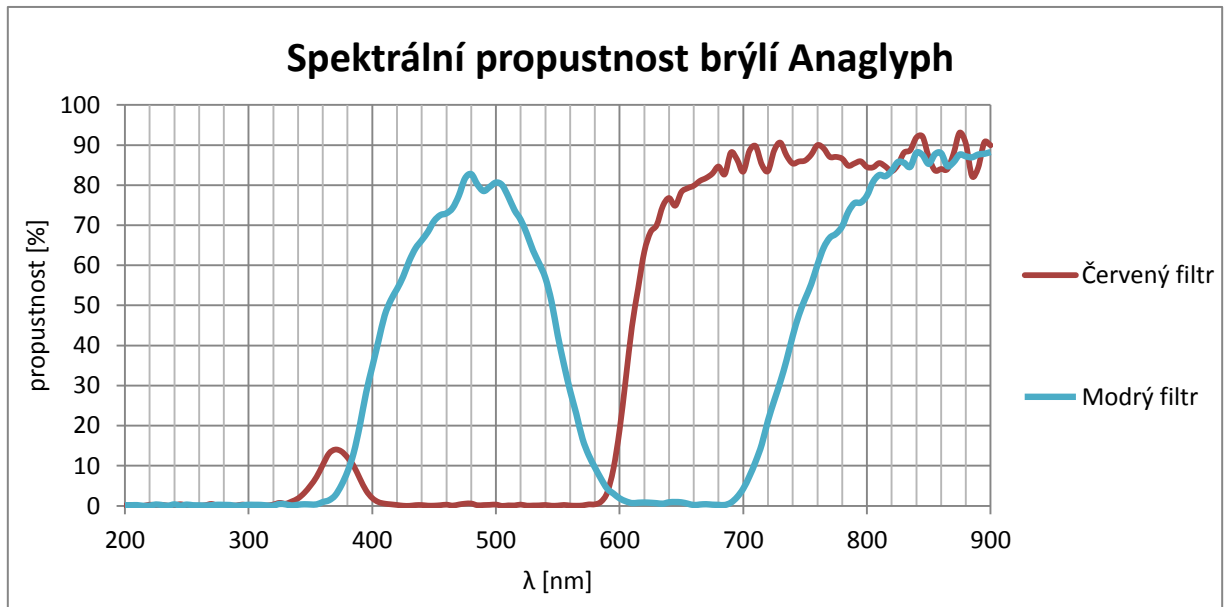
Systém Anaglyph patří mezi vůbec nejstarší metody využívané pro stereoskopické zobrazování a první zmínky sahají až do 30. let 19. století. Nejprve byl systém využíván jen pro zobrazování statických obrazů ve 3D, ale postupem času našel své uplatnění i ve filmu. Princip této zobrazovací metody spočívá v superpozici dvou



Obrázek 16: Anaglyph projekce [9]

různých obrazů, která je prováděna buďto přímo na promítacím plátně a to tak, že obraz pro každé oko je promítán samostatným projekčním systémem skrze různě barevné filtry (nejčastěji zelenomodrý a červený), jak ukazuje obrázek 16. Nebo již před zobrazováním za

pomocí programového zpracování. Pozorovatel, který chce následně pozorovat takto promítané obrazy trojrozměrně, musí mít nasazeny speciální brýle, vybavené různě barevnými filtry, shodnými s filtry použitými při promítání. Spektrální propustnost takovýchto brýlí, naměřená spektrometrem, je graficky znázorněna v grafu 1. Díky této barevné filtraci pak pozorovatel vnímá každým okem jen obraz, který je pro toto oko určený a v mozku si pak díky schopnosti vnímat prostor vytváří dojem trojrozměrného obrazu.



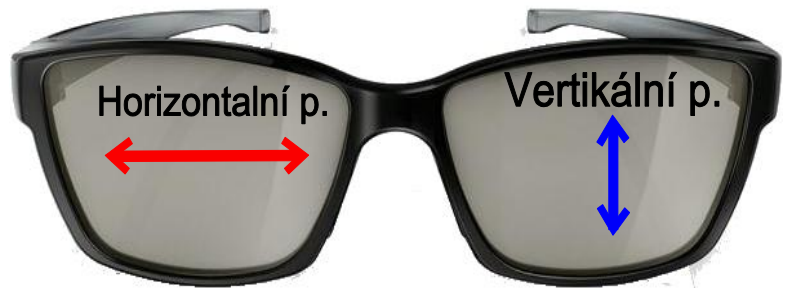
Graf 1: Spektrální propustnost brýlí Anaglyph

Klady a zápory:

- + Hlavní výhodou celého systému Anaglyph je zajisté jeho pořizovací cena ve srovnání s metodami ostatními a to i pro předpokládaný větší počet pozorovatelů. Cena jednorázových papírových brýlí vyobrazených na obrázku 16 se totiž pohybuje i v řádu jednotek korun za kus. Díky tomuto je metoda využívána dodnes a to především za účelem zobrazení třetího rozměru v tiskovinách a velmi levné spotřební elektronice.
- Naopak velkým nedostatkem metody Anaglyph je zkreslení barev při barevném zobrazování a s tím spojené i poměrně velké namáhání mozku při korekci chybějících barev. Proto většina pozorovatelů Anaglyph záznamů hodnotí pozorování jako nepříjemné.

3.1.2 Polarizační stereoskopické systémy

Jak již název těchto systémů napovídá, tak k odlišení dvou viditelných obrazů levým a pravým okem, je využito rozdílných polarizačních filtrů. Tyto filtry jsou přitom umístěny do speciálních brýlí, které známe většinou pod názvem „Pasivní 3D brýle“, což do jisté míry vypovídá o tom, že tyto brýle podobně jako brýle využívané u metody Anaglyph nejsou nikterak složité. Tuto skutečnost potvrzuje Obrázek 17, na kterém si můžeme všimnout dvou různě polarizovaných filtrů, z nichž každý je umístěný před opačným okem pozorovatele.



Obrázek 17: Pasivní 3D brýle

V praxi bylo z počátku využíváno, jak je na tomtéž obrázku znázorněno, filtru s horizontální, respektive vertikální polarizací, to však sebou neslo určité nevýhody. Hlavní nevýhodou této filtrace je poměrně přesně daný úhel natočení vůči zobrazovacímu zařízení. V případě, že by tento úhel nebyl dodržen, například natočením hlavy na stranu, začaly by se projevovat parazitní přeslechy, způsobené pronikáním horizontálně polarizovaného světla i skrze vertikální filtr a naopak.

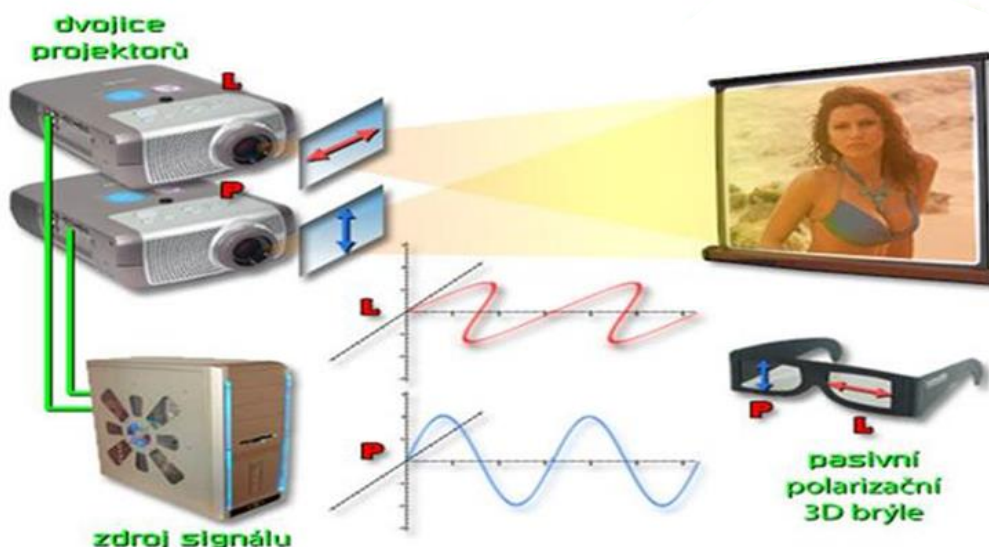
Tomuto lze předejít využitím kruhové polarizace, přičemž jeden z filtrů pak využívá kruhovou polarizaci levotočivou a druhý filtr kruhovou polarizaci pravotočivou (dnes nejčastěji využívaný princip u pasivních 3D brýlí). Tímto je již bezpečně zajištěno, že pokud bude obraz určený pro levé oko levotočivě polarizován, tak jej pozorovatel uvidí pouze levým okem a pokud bude pravotočivě polarizován, tak jej uvidí pouze pravým okem. A to při jakémkoliv natočení vůči zobrazovacímu zařízení.

Z uvedeného je tedy patrné, že zobrazovací zařízení musí zajistit nejen současné zobrazení dvou různých obrazů pro levé a pro pravé oko, ale taktéž musí zajistit rozdílnou polarizaci těchto obrazů. Zobrazovací systémy, které toto umožňují, mohou být založeny na jednom ze dvou základních principů.

- Princip s dvojicí projektorů a stříbrným plátnem
- Princip televizoru se speciální polarizační maskou

3.1.2.1 Princip s dvojicí projektorů a stříbrným plátnem

Tento první princip je využíván především v kinematografii nebo u zobrazovacích systémů, u kterých je předpokládán větší počet pozorovatelů. Zobrazení dvojice plošně posunutých obrazů u tohoto principu zabezpečuje pár projektorů doplněný o polarizační filtry shodných vlastností s filtry použitými v pasivních brýlích. Příklad s využitím horizontálního a vertikálního polarizačního filtru je znázorněn na obrázku 18.



Obrázek 18: Princip s dvojicí projektorů a stříbrným plátnem [10]

Na tomto obrázku je zdroj 3D signálu znázorněn pomocí počítače, do něhož jsou oba projektory připojeny. Počítač zde však neplní pouze roli přehrávače různých dat pro každý z projektorů, ale i funkci bloku zajišťujícího synchronizaci v zobrazování, jejíž důležitost byla popsána již v kapitole 2.2.3 a bude ověřena pomocí subjektivních testů v kapitole 7.

Pokud bychom však tak, jak je uvedeno na obrázku 18 promítali oba obrazy současně na běžné projekční plátno, tak by se 3D efekt z důvodu depolarizačních účinků běžných projekčních pláten nedostavil. Protože polarizované světlo dopadající na takovéto plátno se odráží depolarizované a to pak proniká oběma filtry umístěnými v pasivních brýlích. Této změně polarizace však lze předejít použitím plátna na bázi stříbra nebo plátna celostříbrného. Takovýto typ plátna totiž nevykazuje díky vysokému indexu odrazu depolarizační účinky, ale má zase naopak negativní vliv na velikost pozorovacích úhlů a s tím spojený i maximální počet současných pozorovatelů.

Klady a zápory:

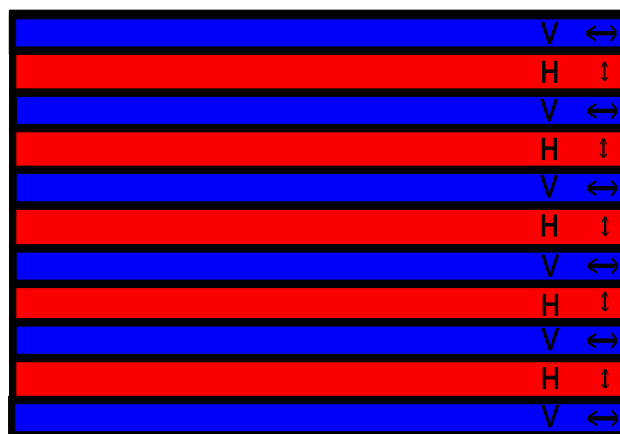
+ Hlavní výhodou tohoto principu je, podobně jako u systému Anaglyph, pořizovací cena polarizačních brýlí, které mohou být i v některých typech kin dokonce i určené pro jednorázové použití. Pořizovací náklady těchto brýlí mohou být i řádově desítky korun za kus. Je však na uvážení, zda tyto laciné brýle mají požadovanou kvalitu polarizačních filtrů, jejichž nedokonalost může vést k vzniku přeslechů (více o vlivu přeslechu na kvalitu 3D vjemu v kapitole 7).

Ve srovnání s technologiemi založenými na časovém multiplexu, je zajisté také výhodou, že v jeden okamžik divák vidí obraz určený jak pro levé oko, tak i obraz určený pro pravé oko, tím nedochází ke snižování zobrazovacího kmitočtu, což v krajních případech může mít za následek i vnímatelné „blikání“.

- Naopak hlavní nevýhodou celého systému je jeho velmi vysoká pořizovací cena zobrazovacího zařízení a především speciálního stříbrného plátna. Jeden m² tohoto stříbrného plátna se totiž může vyšplhat i na jednotky tisíc korun. Další nevýhodou může být i již zmíněný relativně malý pozorovací úhel a s tím související i menší počet možných současných pozorovatelů. V případě, že by totiž došlo k většímu vychýlení pozorovatele z optimální pozorovací osy, tak by tento pozorovatel mohl vidět některé části obrazu tmavší a v krajním případě některé ani nemusel vidět vůbec.

3.1.2.2 Princip televizoru se speciální polarizační maskou

Druhý princip, jak již jeho název napovídá, je oproti principu prvnímu určen spíše pro domácí využití a tam, kde je předpokládán menší počet pozorovatelů, který závisí především na velikosti 3D televizoru. 3D televizorem se přitom rozumí zobrazovací zařízení, vybavené speciální polarizační maskou, která je složena v nejjednodušším případě z horizontálně, respektive vertikálně polarizovaných filtrů, jak je znázorněno na obrázku 19.



Obrázek 19: Polarizační maska

Tato maska je přímo součástí zobrazovacího panelu televizoru a velikost jednotlivých optických filtrů je ve většině případů rovna rozměrům jedné zobrazované řádky. Rozměry této

řádky jsou přitom závislé nejen na velikosti celého zobrazovacího panelu, ale také na jeho rozlišení (v dnešní době nejčastěji 1920 x 1080 obrazových bodů). Tímto je tedy zajištěno, že světlo vyzářené lichými řádky obrazovky bude vertikálně polarizováno, zatímco světlo vyzářené sudými řádky bude horizontálně polarizováno. Pokud tedy budou zobrazovacím procesorem stereo obrazy proloženy tak, že liché řádky budou představovat obraz určený pouze pro pravé oko a naopak sudé řádky budou představovat obraz určený pouze pro levé oko. Pak divák, který se na tento televizor bude dívat skrze polarizační brýle (obrázek 17), uvidí každým okem jen obraz pro toto oko určený, díky čemuž je schopen vnímat jejich vzájemný horizontální posuv a posléze i třetí rozměr promítané scény.

V praxi se velice často také využívá konstrukce, kde polarizační maska není orientovaná tak, jak je uvedeno na obrázku 19, po řádcích, ale je orientované po sloupcích. V takovémto případě je nutné, aby zobrazovací procesor zařídil opět správný proklad stereo snímků tak, aby každým okem byl viditelný jen snímek pro toto oko určený. Ve většině případů má proto tento procesor implementované algoritmy, pomocí nichž dokáže do požadovaného formátu Interlaced (kapitola 2.3.4), zkonvertovat i stereoskopické záznamy předkládané v některém jiném normalizovaném formátu.

Klady a zápory:

- + Výhodou tohoto principu ve srovnání s principem předchozím jsou podstatně nižší pořizovací náklady zobrazovacího zařízení. Tyto náklady se samozřejmě odvíjí od požadované velikosti a rozlišení 3D televizoru, přesto jsou však nesrovnatelně nižší.

Ve srovnání s technologiemi založenými na časovém multiplexu, je stejně jako u předchozího principu výhodou, že v jeden okamžik divák vidí obraz, jak určený pro levé oko, tak i obraz určený pro pravé oko. Tím nedochází ke snižování zobrazovacího kmitočtu, což v krajních případech má za následek i vnímatelné „blikání“.

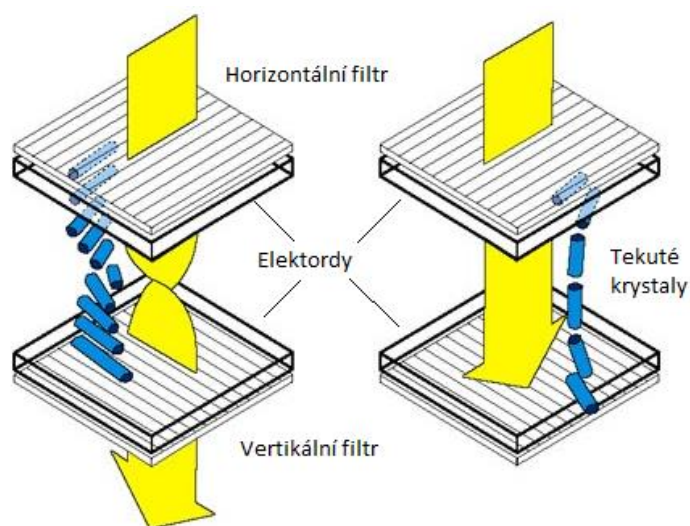
- Nevýhodou tohoto principu, jak oproti systémům založených na časovém multiplexu, tak oproti systémům s dvojicí projektorů, je naopak poloviční maximální rozlišení, které je k dispozici pro každý z dvojice stereo obrazů.

3.2 Zobrazovače na principu časového multiplexu

První 3D televizory využívající časové separace dvou různých kanálů se v komerční sféře začali objevovat přibližně až po roce 2007. Jejich princip by se mohl zdát na první pohled jednoduchý. Ve skutečnosti za celým zobrazováním však stojí důkladně promyšlený systém, v němž hlavní roli hrají uzávěrkové brýle přesně synchronizované se zobrazovacím zaříze-

ním. Zobrazovacím zařízením se rozumí z pravidla nějaký typ plasmového či LCD televizoru, v dnešní době nejčastěji s LED podsvícením. Úplně ojedinělým zobrazovačem však už dnes nebývá ani dataprojektor, který je vybavený zrovna tak, jako zmíněný televizor, speciální jednotkou pro stereoskopické zobrazování. Hlavním úkolem této jednotky není jen zajištění výše zmíněného synchronismu s aktivními brýlemi, ale i spolupráce se zobrazovacím procesorem a řízení celého procesu 3D zobrazování.

Jeden zobrazovací cyklus probíhá následovně: Nejprve jednotka pro stereoskopické zobrazování vyšle signál do uzávěrkových brýlí s informací, že v následujícím kroku bude zobrazen obraz pro levé oko. Brýle zareagují tak, že přivedou elektrické napětí na elektrody ohraničující oblast s tekutými krystaly znázorněnými na obrázku 20, která se nachází před pravým okem. Tímto se přestane měnit polarizace procházejícího horizontálně polarizovaného světla na vertikální, tak jako je tomu v klidovém stavu (obrázek 20 vlevo). A světlo neprojde skrze koncový vertikální filtr (obrázek 20 vpravo). Jinými slovy, pozorovatel, který se bude koukat s nasazenými brýlemi, bude mít zatemněné pravé oko. Pokud je toto zabezpečeno, může být již stereoskopickou jednotkou vyslán signál zobrazovacímu procesoru, aby byl zobrazen obraz pro levé oko.



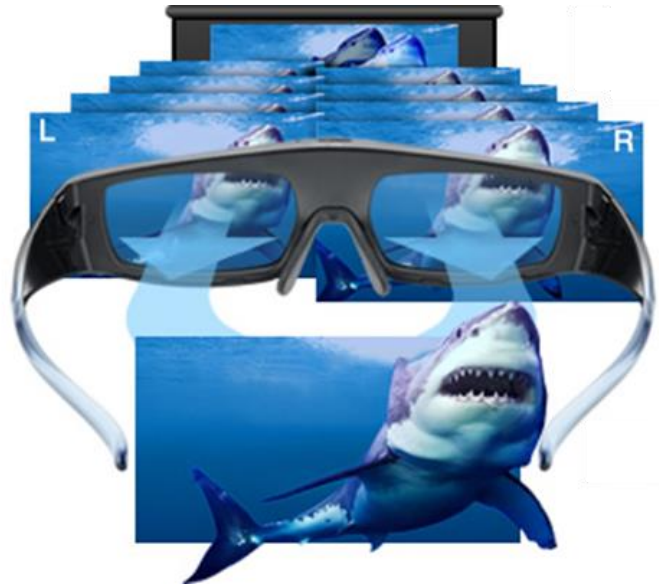
Obrázek 20: Princip tekutých krystalů [11]

Poté co uplyne čas pro zobrazení jednoho televizního snímku, tak se celý proces opakuje s tím rozdílem, že na televizi bude zobrazován obraz pro pravé oko a pomocí tekutých krystalů se bude zabránovat průchodu světla do oka levého. Při zobrazování stereoskopického videa jsou pak jednotlivé snímky střídavě zobrazovány, minimálně s frekvencí 100 Hz, tak jak je tomu znázorněno na obrázku 21.

Klady a zápory:

- + Hlavní výhoda vyplývá ze samotného principu časového multiplexu. Jelikož je v jeden časový okamžik zobrazen obraz pouze pro jedno oko, tak je možné v každém časovém okamžiku, vždy využít maximální rozlišení zobrazovacího zařízení.

- Naopak nevýhodou celého systému je poměrně vysoká pořizovací cena 3D brýlí, která není srovnatelná s žádným jiným popisovaným systémem. Cena samostatných aktivních brýlí se totiž u akumulátorových (dobíjecích) brýlí pohybuje i v řádu jednotek tisíc korun za kus.



Obrázek 21: Princip časového multiplexu [12]

3.3 Zobrazovače na principu prostorového multiplexu

Do této skupiny zobrazovačů řadíme poměrně novodobé systémy, jejichž hlavní výhodou oproti všem systémům ostatním, je nepotřeba 3D brýlí pro vytvoření dvou prostorově oddělených kanálů. Z tohoto důvodu jsou tyto systémy nazývány stereoskopickými systémy „bezbrýlovými“ (Glasses-free).

Při zrodu těchto systémů stáli jejich tvůrci před otázkou, jak docílit dvou separátních prostorově oddělených kanálů tak, aby tyto kanály byly odlišitelné pouze pomocí různého úhlu pohledu. Přičemž rozdíl mezi těmito různými úhly pohledu by, z důvodu relativně blízkého umístění očí člověka, měl být co nejmenší.

V dnešní době jsou známy dvě prakticky využitelné metody jak tohoto dosáhnout:

- Metoda s paralaxní bariérou
- Metoda s lentikulárními čočkami

3.3.1 Metoda s paralaxní bariérou

Princip této metody, který je názorně zobrazen na obrázku 22, je založený na takzvané paralaxní bariéře. Tato bariera je umístěna přímo před zobrazovacím panelem televizoru, mobilního telefonu, či jiného stereoskopického zobrazovacího zařízení a její úkolem je odstínit při konkrétním úhlu pozorování určité sloupce pixelů. Či-li při správném nastavení bariéry, pokud pozorovatel sleduje toto zařízení kolmo z předepsané vzdálenosti, tak vidí levým okem pouze sudé sloupce a pravým okem pouze liché sloupce.

Při správném proložení stereo obrazů tak, aby liché sloupce představovaly obraz určený

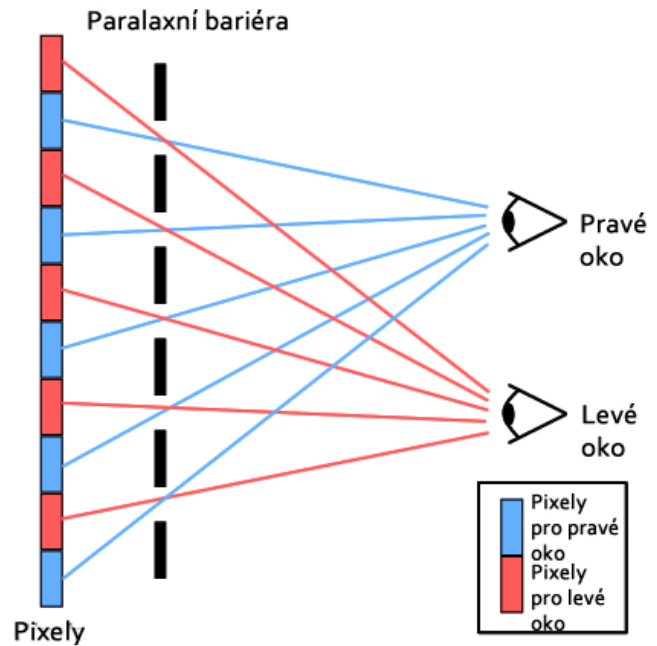
pro pravé oko a sudé sloupce obraz určený pro levé oko, je tedy možné docílit požadované 3D efektu.

Klady a zápory:

- + Výhodou této metody je nejen nepotřeba 3D brýlí, ale i její jednoduchost, která je hlavním důvodem, proč je tato metoda bezbrýlovou metodou cenově nedostupnější.

V případě, že je paralaxní bariéra navíc tvořena pomocí vrstvy s obsahem tekutých krystalů, lze za výhodu považovat i její snadné odstranění pomocí elektrického pole, a tím tak umožnit promítání ve 2D.

- Hlavní nevýhodou této metody, když pomineme poloviční maximální rozlišení, je bezesporu přesně definována pozice, ze které lze obrazovky s tímto systémem pozorovat. Při sebemenším malém vychýlení (i jednotky centimetrů) z této pozice, se může totiž stát, že pozorovatel uvidí každý z dvojice obrazů opačným okem, než pro které je určen.



Obrázek 22: Metoda s paralaxní bariérou [13]

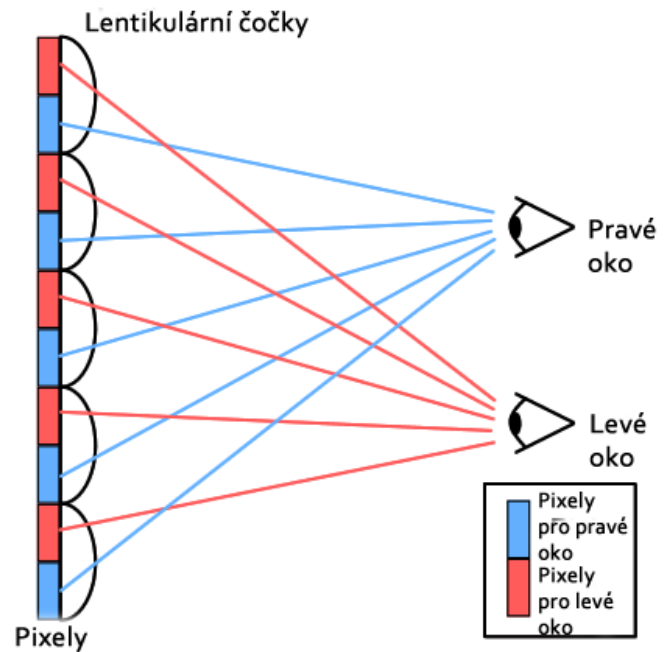
3.3.2 Metoda s lentikulárními čočkami

Druhý způsob, jak nasměřovat pozorovateli do každého oka jiný obraz, vychází z vlastností takzvaných lentikulárních čoček. Tyto speciálně zaoblené čočky totiž umožňují lámat světlo pod přesně definovaným úhlem a v případě, že vytvoříme precizně nastavené pole z těchto čoček, jak ukazuje obrázek 23. Lze pak opět docílit požadovaného jevu, kdy liché sloupce pixelů jsou vidět pouze pravým okem a sudé sloupce pixelů pouze levým okem. Tento princip není zřejmě principem nikterak novým, ale bylo jej využíváno již například při vytváření 3D fotografií, které jsou známy již několik desetiletí.

Klady a zápory:

- + Rovněž tak, jako u metody předchozí je hlavní výhodou nepotřeba 3D brýlí, oproti této metodě navíc metoda s lentikulárními čočkami umožňuje větší pozorovací úhel.

- Ve srovnání s metodami, které k vytvoření dvou separátních kanálů vyžadují 3D brýle, je tento pozorovací úhel ale stále daleko menší.



Obrázek 23: Metoda s lentikulárními čočkami [13]

3.3.3 Autostereoskopické systémy

Z principu funkce předchozích dvou metod je patrné, že jejich hlavní nevýhodou je poměrně striktně předepsaná pozice, ze které lze tyto zařízení pozorovat. Z toho vyplývá, i že na zařízení může současně koukat pouze jeden divák.

Tyto nedostatky jsou odstraněny právě systémy autostereoskopickými, jejichž hlavní výhodou je jejich možnost adaptování na změnu polohy pozorovatele. Která je detekována pomocí kamery, již je po celou dobu promítání pozorovatel sledován a na jejíž závislosti je následně vydán požadavek na adaptaci systému.

Adaptace může být provedena několika způsoby podle druhu využívaného systému.

- V případě, že je využito systému s parallaxní bariérou a pozorovatel se vychýlí o vzdálenost, která by znamenala přesně opačný vnímání promítaných obrazů (obraz pro pravé oko je vnímán levým okem a opačně), pak je tento stav detekován a stereo pár obrazů je prohozen.
- V případě však, že je pro zobrazování využito systému s lentikulárními čočkami, pak je nutné, využít čoček takzvané aktivních. Či-li čoček, které umožňují měnit úhel lomu světla v závislosti na velikosti přiloženého napětí na jejich elektrody. Velikost tohoto napětí mezi elektrodami je přitom úměrná velikosti výchylky pozorovatele z optimální pozorovací polohy.

Pomocí těchto adaptivních změn lze tedy docílit, že každé oko pozorovatele uvidí pouze obraz pro něj určený a výsledný 3D efekt by tedy neměl být závislý na poloze pozorovatele. Nejmodernější autostereoskopické systémy dokonce umožňují i sledování více současnými pozorovateli. Toto je umožněno díky více kamerám, které neustále každého z pozorovatelů sledují a vyhodnocují jeho polohu. V závislosti na té je pak každému uživateli zvlášť směřován jiný obraz do oka levého a jiný obraz do oka pravého. Z čehož plyne, že zobrazovací zařízení takovýchto systémů musí mít tolikrát větší rozlišení, kolikrát více současných pozorovatelů umožňují. Příkladem budiž televizor Toshiba 55ZL2G s maximálním rozlišením 3840 x 2160 (4K).

4 Subjektivní hodnocení kvality stereoskopického videa

Doporučení ITU-R BT.2021 popisuje mnoho různých metodik pro hodnocení kvality stereoskopického obrazu. V každé z těchto metodik však vždy figuruje řada videosekvencí, které byly zpracovány buďto zcela jinými systémy (např.: různými kompresními algoritmy), nebo systémy s různě nastavenými parametry (např.: různými přenosovými rychlostmi, atd.) a které jsou divákům zobrazovány na zobrazovacím panelu v sérii posuzovaných „Testovaných“ videosekvencí. V každé této sérii jsou diváci vždy vyzýváni, aby posoudili příslušné vlastnosti videosekvence (např.: kvalitu obrazu či kvalitu hloubky), dle předepsané stupnice. Jednotlivé metody se pak od sebe odlišují především ve způsobu prezentace jednotlivých videosekvencí divákovi a ve stupnici, která je využita při jejich hodnocení.

Posuzované parametry při hodnocení stereoskopického videa:

- a) Kvalita obrazu: Dopad na rozlišení stereoskopických 3D obrázků vlivem systému zobrazování (je hodnocena cesta mezi zdrojem testovaných obrázků a zobrazovacím zařízením).
- b) Kvalita hloubky: Dopad na vnímání hloubky stereoskopických 3D obrázků vlivem systému zobrazování (je hodnocena cesta mezi zdrojem testovaných obrázků a zobrazovacím zařízením).
- c) Visuální komfort: Dopad na komfort pozorování stereoskopických 3D obrázků vlivem systému zobrazování (je hodnocena cesta mezi zdrojem testovaných obrázků a zobrazovacím zařízením).

Doporučení ITU-R BT.2021 dále definuje podmnožinu čtyř metod z doporučení ITU-R BT.500 (Subjektivní hodnocení kvality 2D obrazu), které byly úspěšně využívány v posledních dvou desetiletích při řešení otázek týkajících se kvality obrazu, kvality hloubky a visuálního komfortu.

Těmito metodami jsou:

- Metoda Single-Stimulus (SS)
- Metoda Double-Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS)
- Metoda Pair-Comparison (PC)
- Metoda Single-Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)

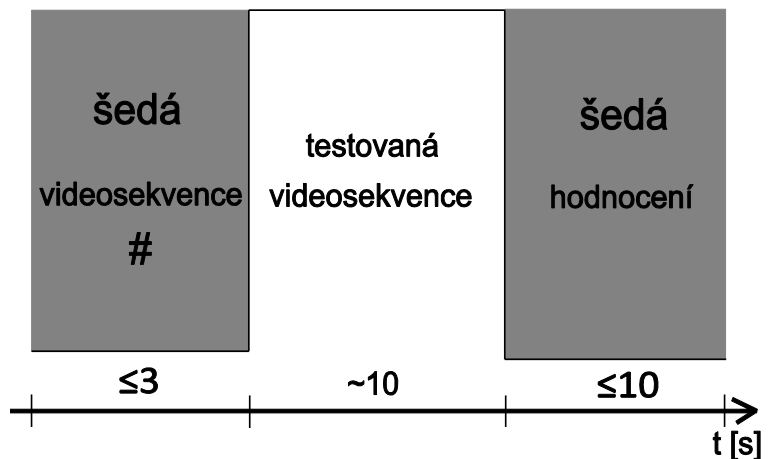
Tyto mohou být v případě potřeby použity i v mírně upravené formě, například s využitím jiné stupnice pro hodnocení visuálního komfortu, či stupnice jiné. Případné úpravy

však musí být při prezentaci výsledků bezpodmínečně uvedeny. Způsob prezentace a stupnice spojené s jednotlivými metodami pro hodnocení kvality obrazu, kvality hloubky a kvality vizuálního komfortu jsou shrnuty v závěru kapitoly v Tabulce 1, Tabulce 2, respektive v Tabulce 3.

4.1 Metoda Single-Stimulus (SS)

Proces hodnocení u této metody se skládá z řady testů, které mohou být v případě nutnosti rozděleny do několika testovacích sezení oddělených přestávkami (nejčastěji po 30 minutách). V každém testu se přitom hodnotí vždy pouze jedna videosekvence, která byla zpracována systémem, jež je předmětem zkoumání. V případě, že tento systém umožňuje nastavení nějakých parametrů, například již zmíněnou bitovou rychlost, pak je jeden test tvořen více takzvanými „Testovacími“ videosekvencemi.

Při každém hodnocení je přitom prezentovaná jedna „Testovací“ videosekvence, které předchází a po které následuje interval s šedým obrazem. Šedý obraz před videosekvencí může obsahovat například číslo videosekvence a měl by být zobrazen ≤ 3 s, zatímco šedý obraz následující po videosekvenci může obsahovat například připomínku k hodnoticímu měřítku nebo třeba pokyn pro hodnotící, aby začali s hodnocením. Přičemž tento obraz by měl být zobrazen tak dlouho, aby měl hodnotící dostatek času na hodnocení, ale zároveň by neměl přesáhnout dobu 10 s. Doba trvání samotné „Testované“ videosekvence by pak měla být okolo 10 s. Struktura typického procesu hodnocení metodou SS je znázorněna na Obrázku 24.



Obrázek 24: Struktura hodnocení SS

Výstupní data metody SS:

Ohodnocení každé testované sekvence jedním hodnotícím je obecně nazýváno jako „Opinion score“ (OS). Průměr takovýchto ohodnocení, získaných od více hodnotících se pak nazývá „Mean Opinion Score“ (MOS).

Pokud do hodnocení zaneseme i takzvanou „Referenční“ videosekvenci, která je vlastně verzí „testovací“ videosekvence, jež neprošla jakýmkoliv zpracováním. Je možné vypočítat i „Diference Opinion score“ (DOS), což je vlastně aritmetický rozdíl mezi ohodnocením „tes-

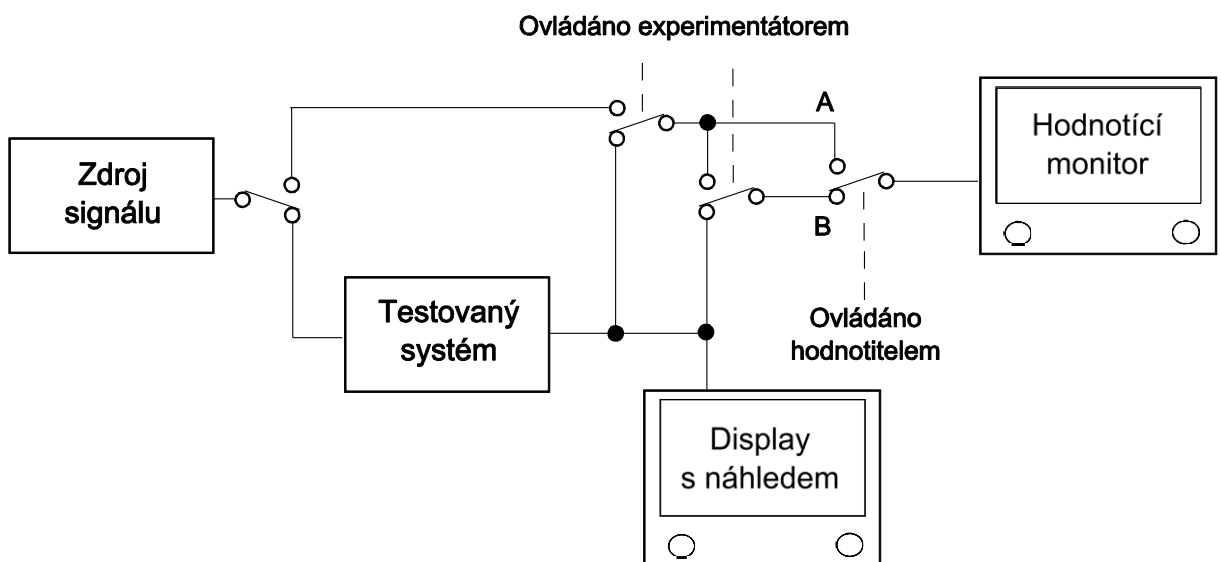
tované“ sekvence a ohodnocením sekvence „referenční“. Průměr všech těchto rozdílů, získaných od více hodnotících, se pak nazývá „Difference Mean Opinion Score“ (DMOS).

4.2 Metoda Double Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS)

Proces hodnocení touto metodou se podobně jako u metody předchozí skládá z řady testů, které mohou být v případě nutnosti rozděleny do několika testovacích sezení oddělených přestávkami (nejčastěji po 30 minutách). Testovací sezení se však liší tím, že každá testovací videosekvence je pozorovateli během jednoho hodnocení zobrazena dvakrát.

Podle počtu současných pozorovatelů přitom rozlišujeme dvě varianty:

- I. Pouze jeden pozorovatel
- II. Více současných pozorovatelů

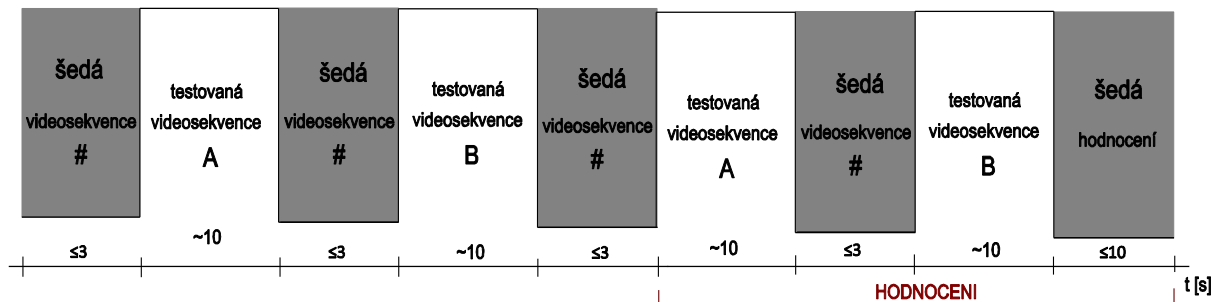


Obrázek 25: Obecné uspořádání zkušebního systému pro metody DSCQS

Při využití varianty I má pozorovatel možnost libovolně přepínat mezi obrazy A a B, či-li obrazem referenčním a obrazem zpracovaným systémem (viz. Obrázek 25). A to do té doby, dokud si neudělá vlastní názor na kvalitu každého z nich. Obvykle však hodnotitel tuto možnost využije pouze dvakrát až třikrát a to během prvních deseti sekund.

Pokud je využita varianta II, která uvažuje více současných pozorovatelů, je před zaznamenáním výsledků jednou nebo vícekrát zobrazena dvojice testovacích sekvencí, během jejíž trvání má hodnotitel získat vlastní názor na kvalitu. Poté je dvojice zobrazena jednou nebo vícekrát znova a během tohoto zobrazení jsou již zaznamenávány výsledky hodnocení. Počet opakování závisí na délce testovacích sekvencí. Pro statické snímky se využívá 3 - 4s sekvence s pěti opakováními, přičemž hlasování je vhodné provádět během posledních dvou opakování. Pro pohyblivé obrazy se naopak využívají nejčastěji 10s sekvence s pouze dvěma

opakováními, přičemž hlasování je vhodné provádět vždy během druhého opakování. Struktura prezentace je názorně zobrazena na Obrázku 26.



Obrázek 26: Struktura testu DSCQS

Výstupní data metody DSCQS:

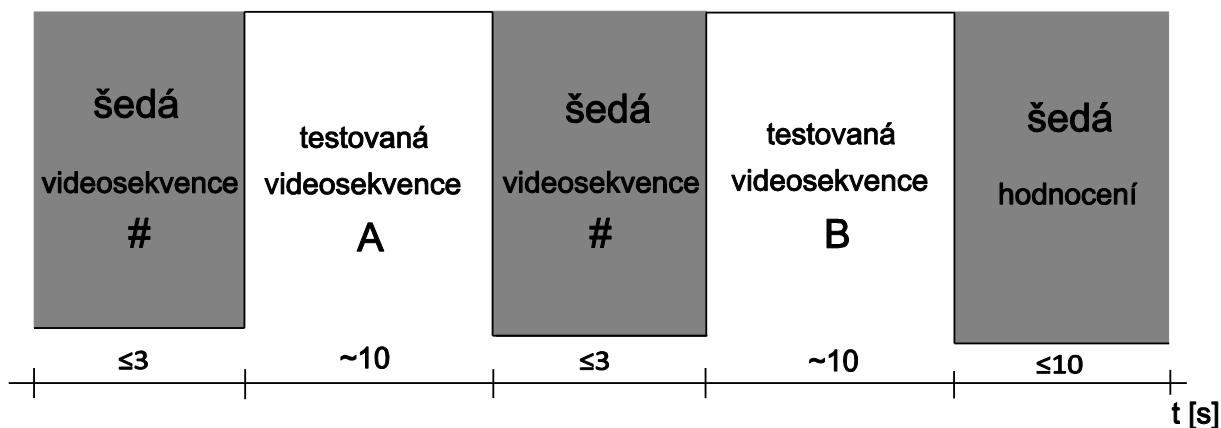
Ohodnocení „Testované“ a „Referenční“ verze každé sekvence, získané při testování systému, je využito pro výpočet „Difference Opinion score“. Ze kterého lze následně vypočítat opět průměr DMOS testovaného systému.

4.3 Metoda Pair Comparison (PC)

Metoda PC je, jak již název napovídá, založena na porovnávání dvou testovacích sekvencí, které jsou ve většině případů pozorovateli zobrazovány současně. A hned po jejich zobrazení může být tedy pozorovatel dotázán na to, jakou sekvenci upřednostňuje. Počet rozhodnutí je tedy závislý na počtu testovaných systémů, respektive parametrů těchto systémů. V případě, že máme tedy tři systémy (X, Y, Z), tak jsou do dvojic většinou uspořádány všechny možné kombinace XY, XZ, YZ (tzn. $n \cdot [n-1]$ kombinací). Navíc by měly být všechny dvojice zobrazeny v obou možných pořadích (např.: XY, YX).

Proces testování je přitom opět zahájen zobrazením šedé oblasti, která může obsahovat např. číslo následující videosekvence a měla by trvat ≤ 3 s. Poté již následuje první pár porovnávaných videosekvencí, přičemž jejichž doba trvání by měla být okolo 10 s.

Sekvence mohou být přitom, jak již bylo zmíněno, zobrazovány současně na dvou stejných displejích, vedle sebe na jednom displeji nebo postupně na jednom displeji. Pokud je využito nakonec zmíněného zobrazení, tak musí být jednotlivé sekvence opět odděleny šedým obrazem o trvání ≤ 3 s. Hodnotící proces je pak zakončen šedým obrazem obsahujícím např. pokyn pro hodnotící, aby začali s hodnocením. Doba trvání posledního obrazu by měla být tak dlouhá, aby si hodnotitel stačil vytvořit vlastní názor, neměla by však být delší než 10 s. Příklad struktury typického testování metodou PC je zobrazen na obrázku 27.



Obrázek 27: Příklad struktury testování metodou PC (na jednom displeji)

Výstupní data metody DSCQS:

Výstupními daty jsou úsudky o kvalitě z hlediska preferencí. Z těchto preferencí lze následně získat nejlepší a naopak samozřejmě i nejhorší testovanou videosekvenci.

4.4 Metoda Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)

I v rámci krátkých úseků stereoskopického videa v digitální formě, může poměrně široce kolísat úroveň kvality videa, kvality hloubky i vizuálního komfortu. Toto kolísání zpravidla závisí na obsahu scény, době trvání scény a základních třech rozměrech artefaktů. Z důvodu potřeby odstranění dopadu tohoto kolísání na výsledky byla vymyšlena metoda SSCQE. V SSCQE metodě se totiž hodnocení kvality videa, kvality hloubky a vizuálního komfortu provádí průběžně (tzn. mění se v závislosti na čase). A díky tomu tato metodika obecně nejlépe znázorňuje model současného domácího pozorování.

Zkušební materiály by měly být prezentovány v následujícím formátu:

- Programme Segment (PS): Programový segment (PS) odpovídá jednomu druhu programu (např.: sport, zprávy, drama, atd.) a je zpracováván podle jednoho z parametrů kvality (QP) v rámci hodnocení (např. bitové rychlosti). Každý PS by přitom měl být alespoň pět minut dlouhý.
- Test Session (TS): Testovací sezení (TS) je řada skládající se z jedné nebo více různých kombinací PS/QP, které nejsou nijak odděleny a jsou uspořádány do pseudo-náhodné řady. Každé TS obsahuje vždy alespoň jednou všechny PS a QP, nemusí však již nutně obsahovat všechny PS/QP kombinace. Každé sezení by mělo být dlouhé 30 až 60 minut.

- **Test Presentation (TP):** Presentace testu (TP) zahrnuje test v celé jeho délce. TP však nemusí být vcelku, ale lze ji rozdělit do menších TS, aby bylo možné během maximální doby trvání posoudit kvalitu všech párů PS/QP. Je-li však počet PS/QP párů omezen, může prezentace testu (TP) obsahovat vícekrát stejné TS, aby bylo dosaženo dostatečně dlouhé doby trvání.

Nejjednodušší formát zkoušky by tedy byl v případě použití jediného programového segmentu (PS) a při testování jednoho parametru kvality (QP).

Pro hodnocení kvality služeb může být zaveden také i zvuk. V tomto případě, výběr vhodného zvukového doprovodu, před provedením testu, by měl být považován za stejně důležitý, jako výběr samotného videomateriálu.

Výstupní data metody (SSCQE):

Výstupní data ze všech zkušebních sezení by měla být shromážděna a využita pro výpočet koncového „Mean quality score“ (MQS), které by mělo být udáváno jako funkce času $q(t)$, na časovém úseku, který odpovídá programovému segmentu, zkušebnímu sezení, či délce jedné videosekvence. Příklad časového průběhu MQS během jednoho zkušebního sezení ukazuje Graf 2.



Graf 2: Příklad výsledků testování metodou SSCQE

4.5 Hodnotící stupnice

Metoda pro subjektivní hodnocení kvality	Trvání sekvence	Binární stupnice	Diskrétní stupnice	Kontinuální stupnice
Single-Stimulus (SS)	~ 10 s		5 4 3 2 1	Výborný Dobry Ucházející Špatný Úplně zkažený
Double Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS)	~ 10 s			Výborný Dobry Ucházející Špatný Úplně zkažený
Stimulus-Comparsion (SC)	~ 10 s	A x B	3 O hodně lepší 2 Lepší 1 Mírně lepší 0 Stejně -1 Mírně horší -2 Horší -3 O hodně horší	
Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)	~ 3-5 min			Výborný Dobry Ucházející Špatný Úplně zkažený

Tabulka 1: Hodnocení kvality obrazu

Metoda pro subjektivní hodnocení kvality	Trvání sekvence	Binární stupnice	Diskrétní stupnice	Kontinuální stupnice
Single-Stimulus (SS)	~ 10 s		5 4 3 2 1	Výborný Dobry Ucházející Špatný Úplně zkažený
Double Stimulus Continuous Quality Scale (DSCQS)	~ 10 s			Výborný Dobry Ucházející Špatný Úplně zkažený

Stimulus-Comparision (SC)	~ 10 s	A x B	3 O hodně lepší 2 Lepší 1 Mírně lepší 0 Stejně -1 Mírně horší -2 Horší -3 O hodně horší	
Single Stimulus Continous Quality Evaluation (SSCQE)	~ 3-5 min			Výborný Dobrý Ucházející Špatný Úplně zkažený

Tabulka 2: Hodnocení kvality hloubky

Metoda pro subjektivní hodnocení kvality	Trvání sekvence	Binární stupnice	Diskrétní stupnice	Kontinuální stupnice
Single-Stimulus (SS)	~ 10 s		5 4 3 2 1	Velice pohodlné Pohodlné Slabě nepohodlné Nepohodlné Velmi nepohodlné
Double Stimulus Continous Quality Scale (DSCQS)	~ 10 s			Velice pohodlné Pohodlné Slabě nepohodlné Nepohodlné Velmi nepohodlné
Stimulus-Comparision (SC)	~ 10 s	A x B	3 O hodně lepší 2 Lepší 1 Mírně lepší 0 Stejně -1 Mírně horší -2 Horší -3 O hodně horší	
Single Stimulus Continous Quality Evaluation (SSCQE)	~ 3-5 min			Velice pohodlné Pohodlné Slabě nepohodlné Nepohodlné Velmi nepohodlné

Tabulka 3: Hodnocení kvality vizuálního komfortu

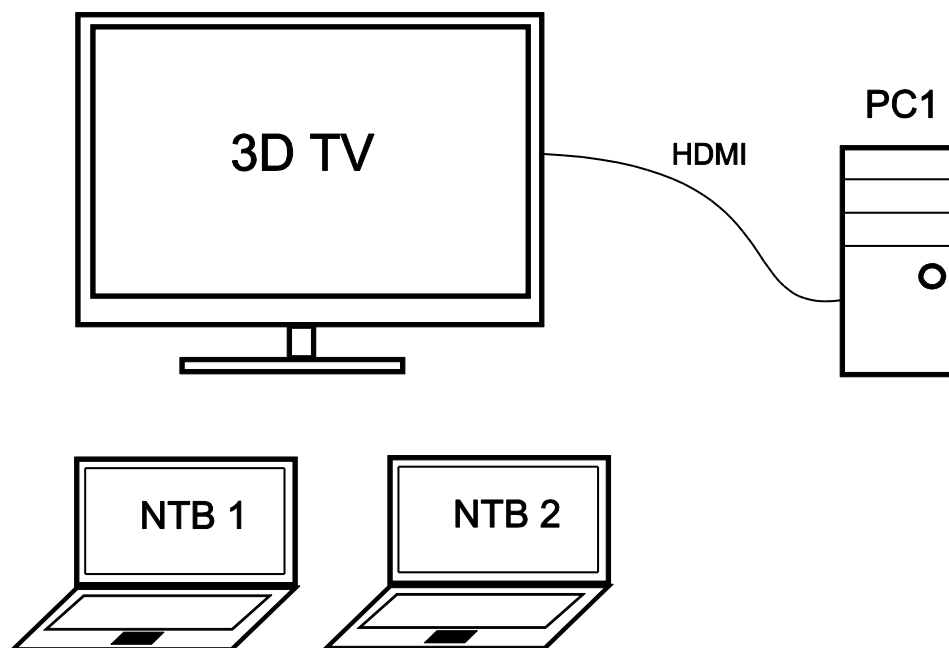
5 Realizace subjektivního testování v prostředí MATLAB

Před samotnou realizací některé subjektivní metodiky, jež byla popsána v předchozí kapitole, je důležité položit si několik základních otázek:

- Co bude předmětem testování?
- Jaké vybavení je k dispozici?
- Kolik současně hodnotících osob je vyžadováno?
- Kolik času bude na testování k dispozici?
- Jakým způsobem budou získaná data vyhodnocována?

Na základě odpovědí na tyto otázky byla vybrána metoda Single-Stimulus, která je z uvedených metod nejen nejméně časově náročná, ale také relativně uživatelsky jednoduchá. Díky čemuž se může uživatel soustředit pouze na vnímání sledovaných parametrů 3D videosekvencí a není dále nikterak zatěžován, například přepínáním mezi obrazy jako je tomu u metody DSCQS, atd.

Koncepce celého testování byla pak zvolena tak, aby umožňovala hodnotit i více uživatelům současně. Na obrázku 28, na kterém je tato koncepce znázorněna, si tedy můžeme všimnout, že hodnocené videosekvence jsou na 3D TV promítány současně pro všechny uživatele z jednoho hlavního PC, ke kterému je tato televize prostřednictvím HDMI kabelu připojena. A hodnocení je následně prováděno na přenosných počítačích, vybavených prostředím MATLAB, jejichž počet odpovídá právě počtu hodnotících.



Obrázek 28: Schéma hodnocení

5.1 Uživatelské rozhraní

Jak již bylo předesláno, tak cílem realizace je vytvořit co uživatelsky nejjednodušší program, který bude umožňovat nejen provádět samotné subjektivní hodnocení, ale bude umožňovat například i získání několika důležitých informací o uživateli, nebo také provádět test zraku uživatele.

Hlavní program (příloha A), který je uživatelem spuštěn jako první, je tedy jakýmsi „Hlavním MENU“, jehož grafickou podobu nám ukazuje obrázek 29.



Obrázek 29: Hlavní MENU

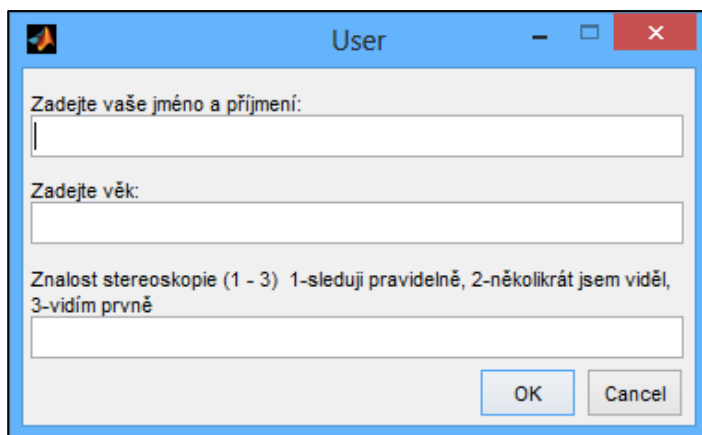
Grafická podoba tohoto okna a ostatně i všech ostatních oken, která jsou během hodnocení uživateli zobrazována, je realizována pomocí jednotlivých příkazů „*uicontrol*“. Tento příkaz totiž slouží k vytvoření jak jednotlivých textových polí, tak i jednotlivých potřebných tlačítek, která jsou ještě společně s tvorbou rámečků třemi nejpoužívanějšími grafickými prvky.

Hlavní program tedy nejdříve spustí příkazem „*run*“ výpis hlavního menu a následně pomocí cyklu „*while*“ testuje s periodou 200 ms stav jednotlivých tlačítek. A to až do doby dokud uživatel stisknutím tlačítka, buďto program neukončí, anebo nespustí některý z prováděných testů. Spouštění jednotlivých testů, respektive programů, které testy provádějí, je realizováno opět příkazem „*run*“ a to v závislosti na právě stisknutém tlačítku. Přiřazení jednotlivých testů konkrétním tlačítkům je zajištěno příkazem „*switch*“, jehož parametrem je právě číslo stisknutého tlačítka.

Pokud chceme mít navíc zajištěno, že po skončení zvoleného testu, program nebude ukončen, ale bude umožňovat spustit test další, pak musí celý hlavní program probíhat taktéž v cyklu „*while*“, který je možné ukončit pouze stisknutím tlačítka „Ukončit hodnocení“.

5.2 Registrace

První volbou uživatele v Hlavním MENU je vždy registrace. Při stisknutí tlačítka registrace je tedy spuštěn program (příloha B), jehož úkolem je zjistit několik požadovaných informací o uživateli. Toto je realizováno příkazem „inputdlg“, který vypsáním okna (obrázek 30) umožní uživateli po-



Obrázek 30: Registrace

žadované informace (jméno a příjmení, věk a znalost stereoskopie) zadat. Tyto informace jsou uloženy do proměnné „jmeno“ a jsou dále využívány až při ukládání získaných dat na konci jednotlivých testů. Ukládání se provádí do složky se jménem uživatele, která je vytvořena na konci programu příkazem „mkdir“, ve stejné složce kde se právě spuštěný program nachází.

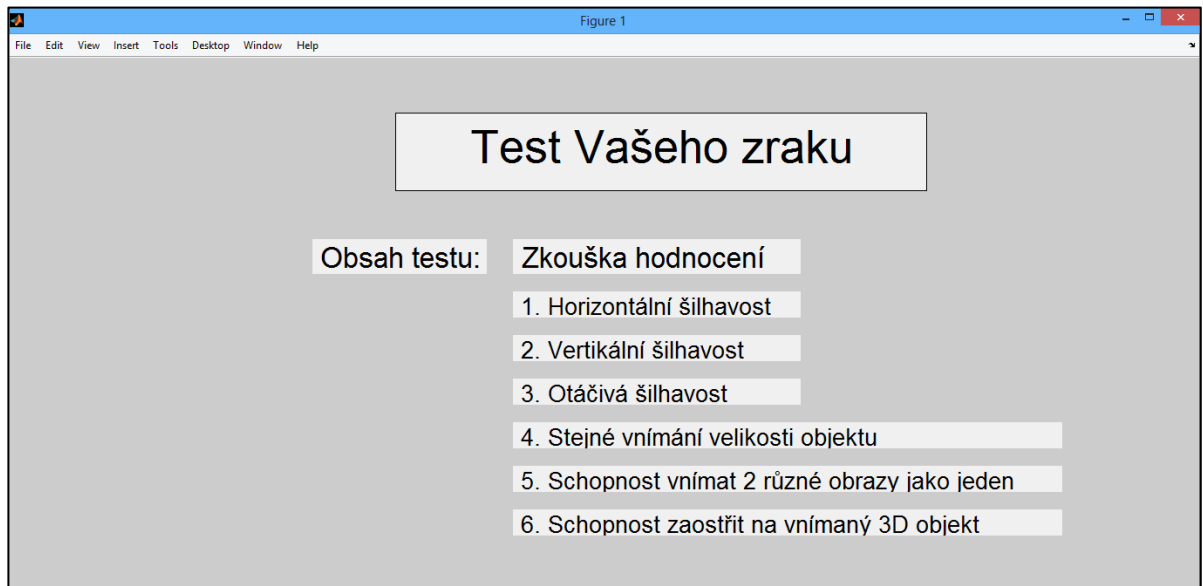
5.3 Jednotlivé testy

Realizace jednotlivých prováděných testů, včetně testu zraku, je velice podobná a liší se prakticky pouze v počtu opakování hlavního cyklu „for“, který je dán počtem videosekvencí v testu, a textech, které jsou během testu vypisovány na obrazovku. Z tohoto důvodu bude v této kapitole popsán a v příloze C uveden pouze jeden zástupce a to test zraku. Všechny ostatní M-file jsou k dispozici pouze v elektronické podobě na příloženém disku DVD.

Na obrázku 28 jsme viděli, že přenosné počítače, na kterých je hodnocení prováděno, nejsou nikterak propojené se zobrazovacím systémem a mohlo by se tak na první pohled zdát, že není zajištěna žádná synchronnost mezi zobrazováním a hodnocením. Synchronnost je však zajištěna následujícím způsobem. Nejprve je na stolním PC v programu Stereoscopic player, který umožňuje přehrávat stereoskopická videa a předávat je přes rozhraní HDMI do televize přímo ve zvoleném formátu Side-by-Side, spuštěn vytvořený playlist (libovolný test). V první videosekvenci z tohoto playlistu je následně uživatel vyzván, aby přesně po odpočítávání spustil požadovaný test. Za předpokladu, že je tedy test přesně spuštěn a že doba přehrání jedné videosekvence je 30 s, můžeme pak pouhým periodickým vkládáním stejně velkého zpoždění do programu, mezi jednotlivá hodnocení, zajistit potřebnou synchronnost.

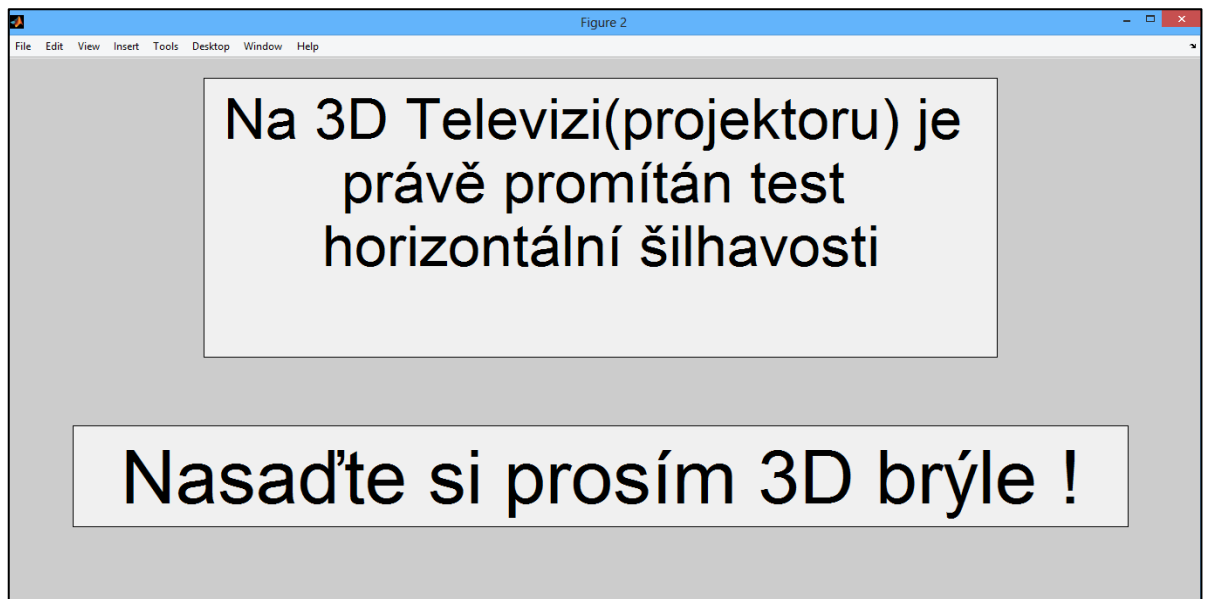
Při spuštění programu je nejprve uživatel seznámen s obsahem testu (obrázek 31), a v případě, že se jedná o první test, či-li test zraku, je uživateli spuštěno taktéž cvičné hodno-

cení. Jehož úkolem je nejen seznámit uživatele s programem, ale také jej seznámit se způsobem hodnocení a hodnotícími stupnicemi.



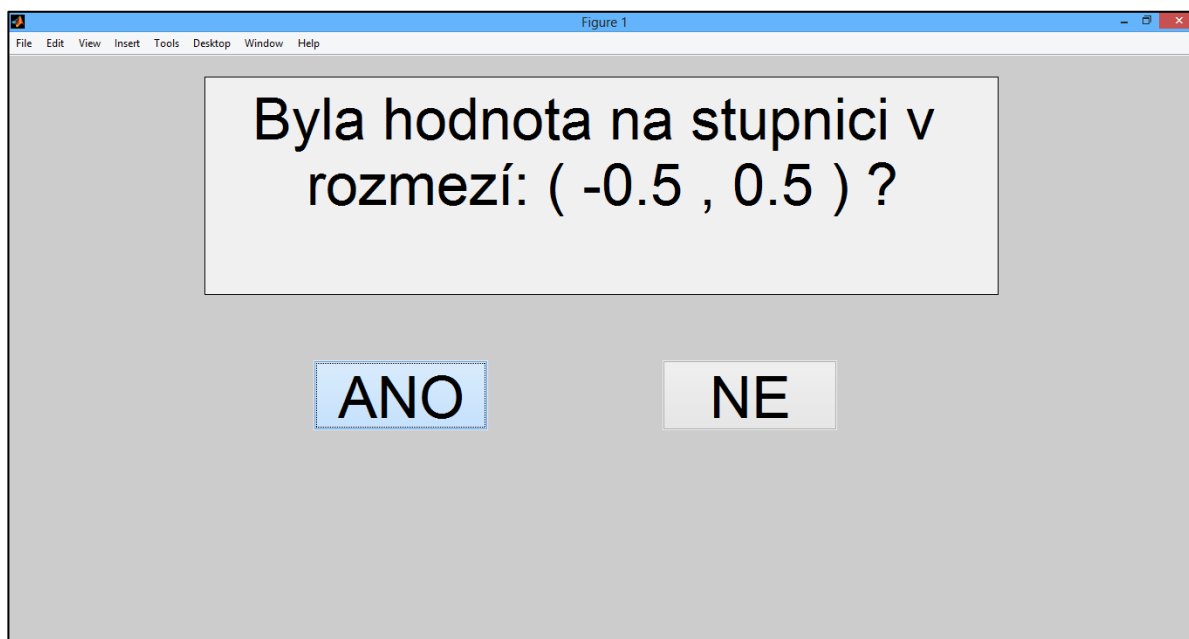
Obrázek 31: Obsah testu

Celý program, jak již bylo předesláno, je tedy tvořený jedním hlavním cyklem „for“, jehož počet opakování je dán počtem jednotlivých testů (v případě testu zraku tedy 7x). Každý cyklus je přitom rozdělen na dvě části, část „Zobrazovací“ a část „Hodnotící“. Zobrazovací částí se rozumí doba, během které je na 3D televizoru promítána zkušební videosekvence, respektive některý z testů zraku. Během této doby je program pozastaven pomocí příkazu „pause“ a na přenosném počítači je zobrazena obrazovka (obrázek 32), která informuje uživatele o tom, který test právě probíhá a taktéž jej vyzývá k nasazení 3D brýlí.

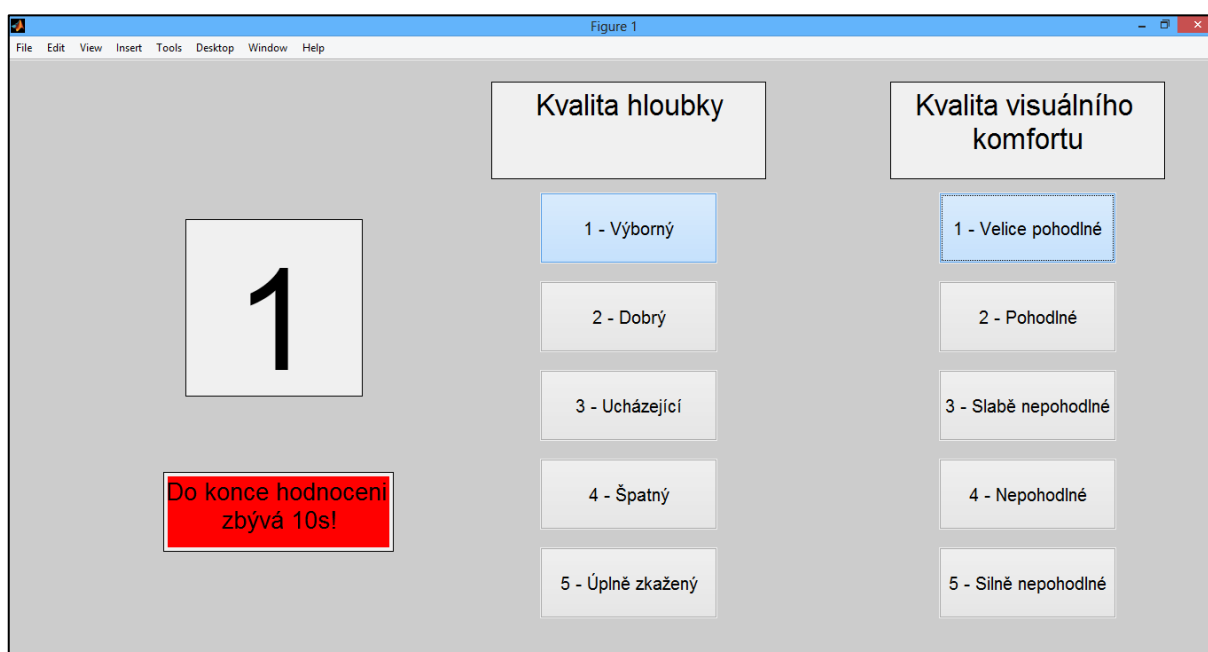


Obrázek 32: "Zobrazovací" část cyklu

V následující hodnotící části je pak nejdříve pomocí příkazu „close“ zavřeno okno s předchozí obrazovkou a až poté je zobrazením nového okna uživatel požádán o subjektivní hodnocení. V případě, že se jedná o hodnotící část některého z testů zraku, pak je uživatel dotazován formou otázek „ANO – NE“, jak ukazuje obrázek 33. V případě, že se však jedná o hodnotící část některého z prováděných subjektivních testů, pak je uživatel dotázán na hodnocení dle měřítek definovaných doporučením ITU-R BT.2021 (Tabulka 2 a 3 v kapitole 4.5), jak ukazuje obrázek 34.



Obrázek 33: „Hodnotící“ část – Test zraku



Obrázek 34: „Hodnotící“ část – Subjektivní test

Na obrázku 34 si také můžeme všimnout červeného pole, které uživateli ukazuje zbývající čas na hodnocení. Toto pole je vypisováno na hodnotící obrazovce dodatečně a to 10 s před ukončením hodnocení. Na závěr hodnotící části jsou v dalším cyklu „for“ pomocí příkazu „get“ testovány stavy všech tlačítek na hodnotící obrazovce a v případě, že je některé tlačítek v prvním sloupci (hodnocení kvality hloubky) ve stisknutém stavu (log. 1), pak je hodnocení v názvu tlačítka uloženo do prvního řádku proměnné „hodnocení“. V případě, že je označeno více tlačítek, pak je do této proměnné uloženo hodnocení nejhorší. Podobně je tomu i při načítání hodnocení kvality vizuálního komfortu. To je však ukládáno do druhého řádku téže proměnné.

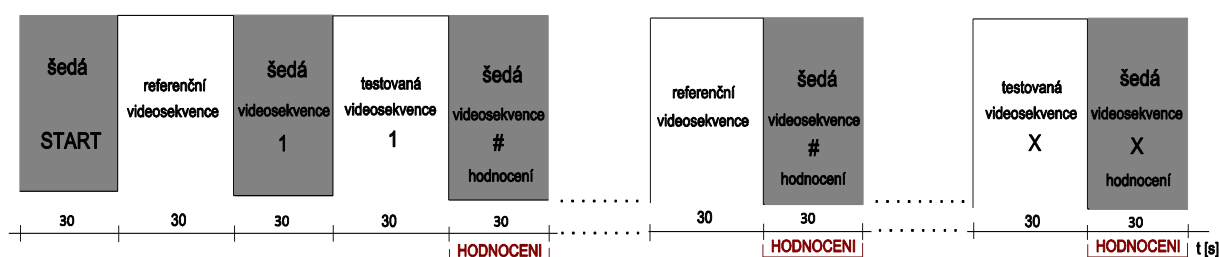
Na závěr celého programu, to znamená po ukončení hlavního cyklu „for“, je v případě popisovaného testu zraku vypsána obrazovka s informací, zda je zrak uživatele v pořádku, či nikoli. V případě programu se subjektivním hodnocením je vypsána nejdříve obrazovka s poděkováním za hodnocení. A během doby jejího zobrazení (7 s), jsou za pomoci série příkazů „xlswrite“ výsledky hodnocení uložené v proměnné „hodnoceni“ přepsány do sešitu aplikace MS Excel. Uloženého ve složce se jménem uživatele, která byla vytvořena, při jeho zaregistrování.

6 Obsah testů

Cílem všech testů, které byly v rámci této diplomové práce prováděny, je zjistit závislost kvality stereoskopického videa na vlivech tuto kvalitu snižujících. Přičemž vlivy snižujícími kvalitu stereoskopického videa, které jsou v této práci předmětem zkoumání, jsou:

- Přeslech mezi levým a pravým kanálem
- Zpoždění mezi levým a pravým kanálem
- Rozdílná velikost stereobáze

Každému tomuto vlivu přitom bylo věnováno několik rozdílných testů, které se od sebe lišily obsahem a parametry jednotlivých videosekvencí.



Obrázek 35: Průběh testu

Na obrázku 35, kde je názorně zobrazen průběh jednotlivých testů, si můžeme všimnout, že na začátku každého testu je uživateli vždy nejprve přehrána takzvaná referenční videosekvence. Čímž se rozumí originální videosekvence bez snížené kvality, která v tomto případě není hodnocena. Po této videosekvenci již následují videosekvence testované, které po sobě nenásledují podle postupně zvyšující se úrovně zkoumaného vlivu (např.: přeslechu), ale aby nebyl hodnotící tímto ovlivněn, tak jsou přehrávány náhodně. Na obrázku si dále také můžeme všimnout, že mezi testovanými videosekvencemi je přehrávána ještě jednou i videosekvence referenční, která je však v tomto případě již hodnocena. Toto je z důvodu kontroly pozornosti hodnotitelů. Kde je sledováno, zda tato videosekvence byla ohodnocena nejlépe.

Pro natáčení všech 3D videosekvencí bylo využito celkem dvou různých záznamových zařízení. První zařízení, které bylo využito především pro záznam videosekvencí s rozdílnou stereobází, je založeno na principu uvedeném v kapitole 2.2.1. Základem tohoto principu je vyrobený stereoskopický stativ umístěný na „tripod“ od společnosti Velbon, který je dále osazen dvojicí kamer Panasonic HDC-SD800. Obě tyto kamery umožňují ovládání pomocí dálkového ovladače a díky tomu bylo možné využít pro synchronizaci záznamu nejen metodu „se zvukovou špičkou“ uvedenou v kapitole 2.2.3, ale i synchronizaci dálkovým ovladačem. Druhým záznamovým zařízením využívajícím naopak principu jednoho záznamového zařízení, konkrétně principu se soustavou zrcadel, jehož princip byl popsán v kapitole 2.1.2, byla

kamera Panasonic HDT-SDC750 se stereoskopickým objektivem VW-CLT1. Tímto zařízením pak byly nahrány všechny testové videosekvence ostatní.

V testech bylo dále využito, kromě těchto videosekvencí, i videosekvencí s informativními texty pro hodnotitele (např.: pokyny pro spuštění testování, čísla právě hodnocených videosekvencí, atd.). Tyto videosekvence byly vytvořeny v programu Sony Movie Studio, ve kterém byly zároveň převedeny i do požadovaného formátu Side-by-Side.

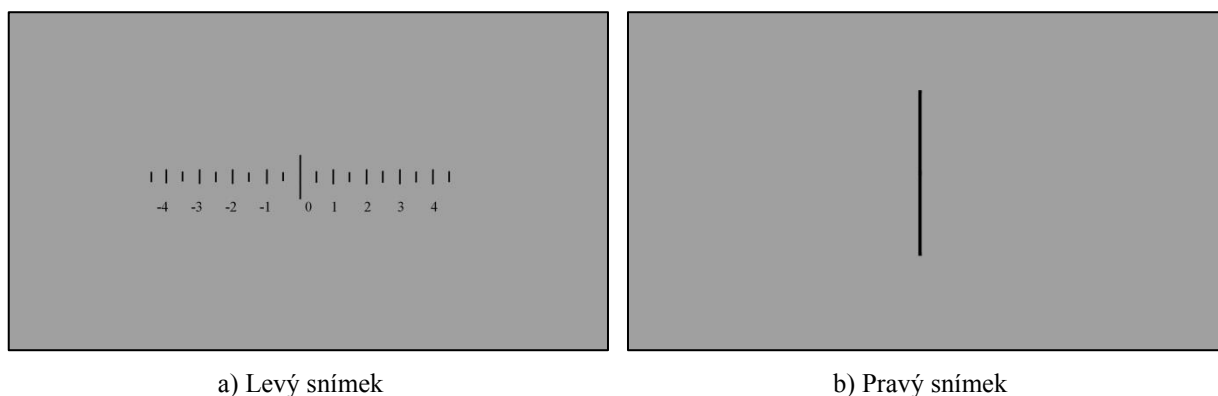
Formát Side-by-Side byl zvolen nejen proto, že je formátem relativně jednoduchým a často používaným, ale především z důvodu, že je výstupním formátem zároveň i všech natočených videosekvencí. A díky této shodě je při následném zobrazování, možné použít stejné nastavení stereoskopického zobrazovacího zařízení během celé doby testování.

6.1 Testy zraku

Úkolem těchto testů, které by měl absolvovat každý hodnotící před začátkem hodnocení, je zamezit vnesení chyb do výsledků, způsobených několika různými poruchami zraku. Celé testování zraku se tedy skládá z celkem šesti různých testů, které jsou schopny nejčastěji vyskytující se vady zraku, jež mají vliv na vnímání stereoskopického videa, odhalit.

6.1.1 Test horizontální šilhavosti (Horizontal strabismus)

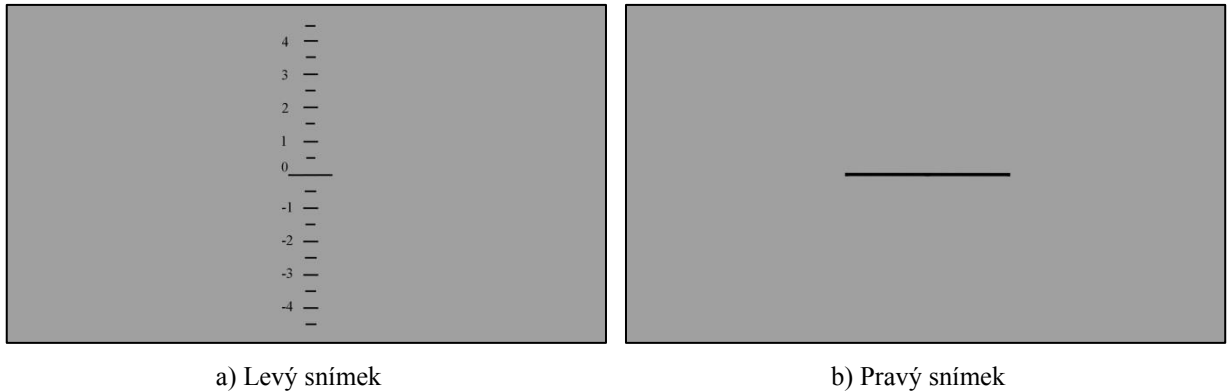
Během tohoto testu jsou uživatelům nejprve po dobu 15 s, zobrazeny dva rozdílné obrazy, jež ukazují obrázek 36. A to tak, že uživatel levým okem vidí pouze stupnici a pravým okem pouze tenkou svislou čáru, kterou by v případě, že je jeho zrak v pořádku, měl vnímat přesně ve středu stupnice. Po dobu následujících 15 s, jsou pak obrazy navzájem prohozeny, aby byla případná zjištěná horizontální šilhavost potvrzena tím, že uživatel s touto vadou bude svislou čáru vnímat v prvním časovém intervalu vychýlenou na jednu stranu a druhém časovém intervalu na stranu opačnou.



Obrázek 36: Test horizontální šilhavosti

6.1.2 Test vertikální šilhavosti (Vertical strabismus)

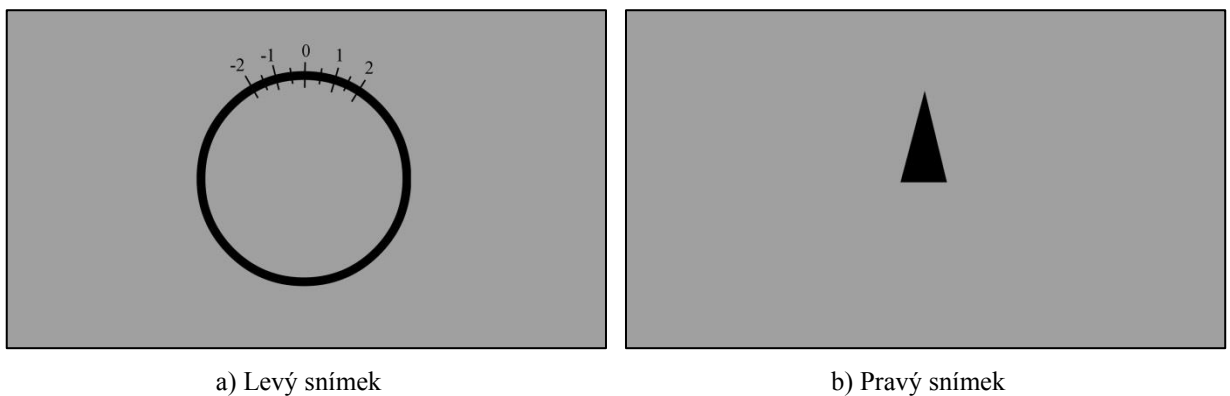
Test vertikální šilhavosti je téměř shodný s testem šilhavosti horizontální, rozdíl je pouze v promítaných obrazech, jež jsou orientovány vertikálně (obrázek 37).



Obrázek 37: Test horizontální šilhavosti

6.1.3 Test pootočeného vnímání (Cyklophoria)

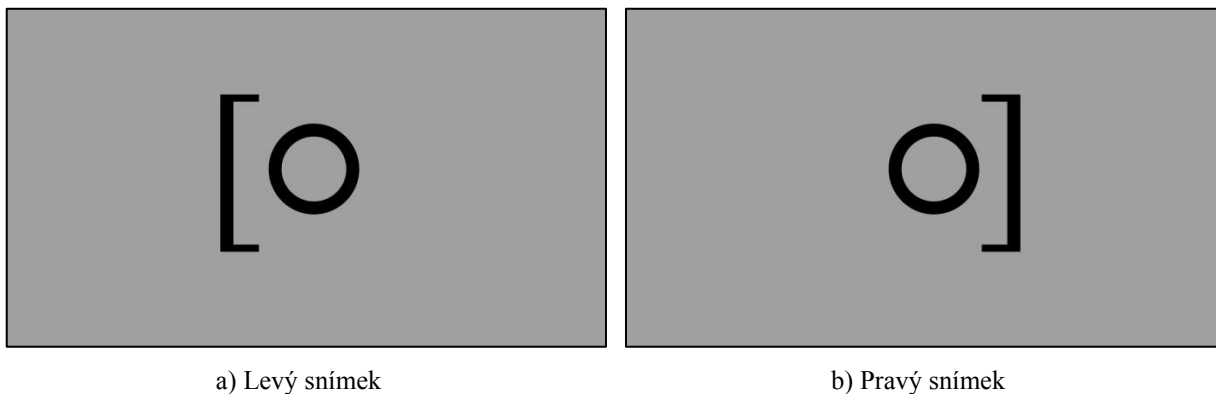
Během tohoto testu je, podobně jako u testů předchozích, uživateli promítána pro jedno oko pouze stupnice a pro druhé oko pouze ručička, na tuto stupnici ukazující. V případě, že uživatel vnímá tuto ručičku, v ideálním případě na středu stupnice, nebo pokud se její poloha okolo středu pohybuje, pak je jeho zrak v pořádku.



Obrázek 38: Test pootočeného vnímání

6.1.4 Test vnímání stejné velikosti a tvaru objektu

Cílem tohoto testu je odhalit rozdílné vnímání velikosti a tvaru objektu každým okem. Uživateli jsou tedy promítány dva rozdílné obrazy (Obrázek 39) o stejné velikosti. A tento uživatel by měl oba obrazy stejně velké také vnímat. V případě, že tomu tak není, pak není zrak uživatele v pořádku.



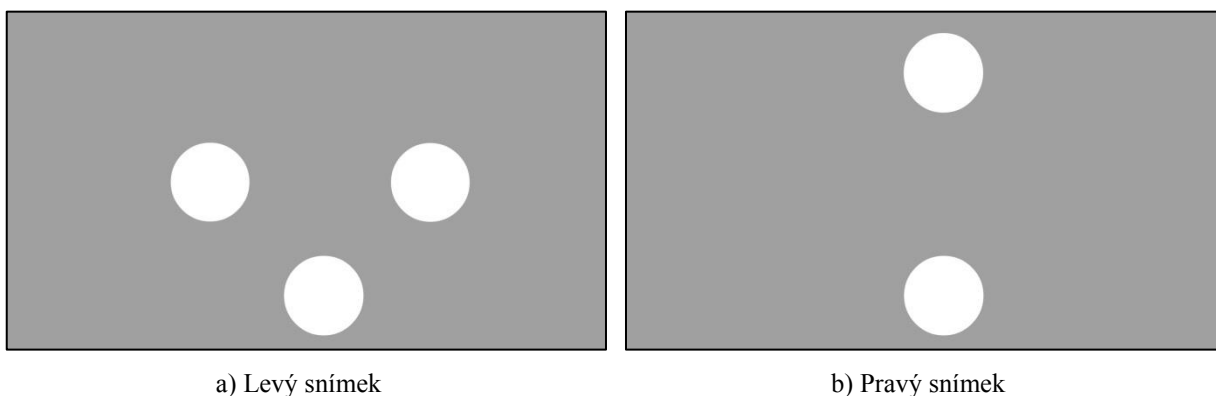
a) Levý snímek

b) Pravý snímek

Obrázek 39: Test stejného snímání velikosti objektu

6.1.5 Test schopnosti vnímat dva rozdílné obrazy jako jeden

Ačkoliv by se mohlo zdát, že schopnost vnímat dva rozdílné obrazy jako jeden má z reálného života prakticky každý, tak je až s podivem, že pokud jsou obrazy z větší části odlišné, tak tuto schopnost ztrácí, podle některých zdrojů až 20% populace. Během testu jsou tedy uživatelům zobrazovány celkem čtyři bílé tečky, ovšem některé z teček jsou viditelné pouze jedním okem, jak ukazuje obrázek 40. V ideálním případě, by však všechny měly být vnímány naprosto stejně.



a) Levý snímek

b) Pravý snímek

Obrázek 40: Test schopnosti vnímat dva rozdílné obrazy jako jeden

6.1.6 Test schopnosti zaostřit na vnímaný 3D objekt

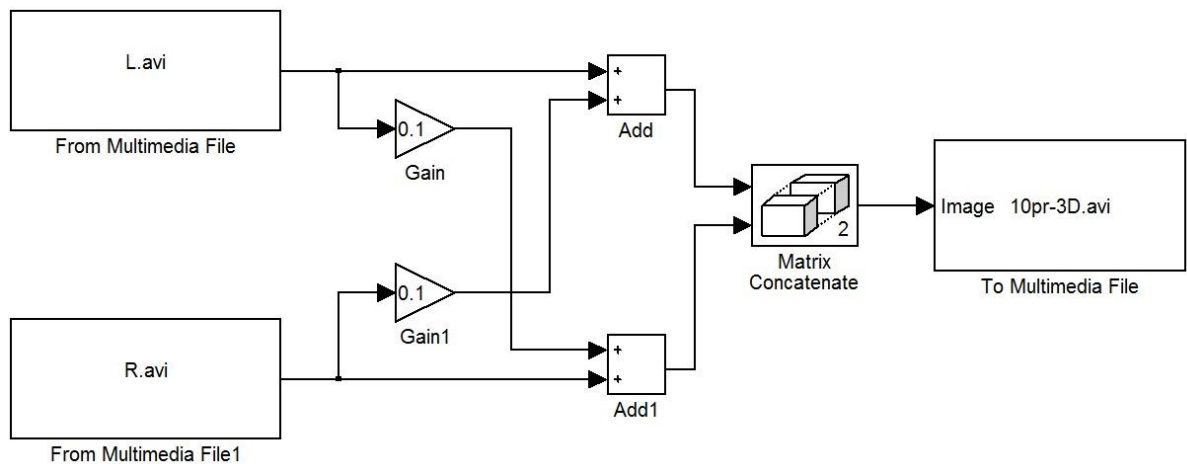
Jak již název posledního z testů napovídá, tak jeho cílem je otestovat stejnou schopnost ostření obou očí uživatele. Toto je provedeno na základě takzvaných Snellenových optotypů, přičemž uživatel vidí část stejně velkých znaků „E“ pouze levým okem, část oběma očima a část pouze pravým okem. V případě, že je tedy zrak uživatele v pořádku, nebo je jeho korekce zraku brýlemi správná. Pak by měl být tento uživatel schopen zaostřit na všechny stejně velké znaky, nacházející se v jedné řádce, stejně.



Obrázek 41: Test schopnosti zaostřit na vnímaný 3D objekt

6.2 Závislost na velikosti přeslechu mezi levým a pravým kanálem

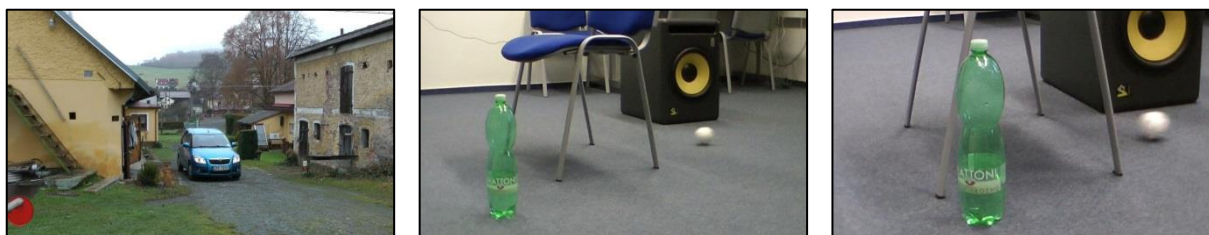
Za účelem zjištění vlivu velikosti přeslechu na subjektivně vnímanou kvalitu hloubky, respektive kvalitu vizuálního komfortu, byly prováděny celkem tři různé testy. Každý z těchto testů se skládal z celkem sedmi obsahově stejných videosekvencí, z nichž dvě videosekvence byly videosekvencemi referenčními a zbylých pět videosekvencí obsahovalo 10% - 50% přeslech. Tento přeslech byl simulován v programu Simulink, jež je součástí výpočetního prostředí MATLAB, pomocí několika implementovaných bloků, jejichž uspořádání je zobrazeno na obrázku 42.



Obrázek 42: Simulace přeslechu v programu MATLAB (Simulink)

První dva bloky, nazvané „From Multimedia File“, načítají dva rozdílné videosoubory v rozlišení 960 x 1080 (pro levé a pro pravé oko) do dvou různých čtyřrozměrných matic (R, G, B, t). Do každé z těchto matic je následně pomocí bloků „Gain“ a „Add“ přičteno vždy požadované množství, v zobrazeném případě 10 %, zisku z matice opačné. V bloku „Matrix Concatenate“ jsou již pak matice spojeny do jedné výsledné matice (1920 x 1080), čímž je zajištěno vytvoření požadovaného formátu Side-by-Side. Pomocí bloku „To Multimedia File“

je pak nakonec vytvořen výsledný požadovaný videosoubor (*.avi) s určitou velikostí implementovaného přeslechu.



a) Test 1

b) Test 2

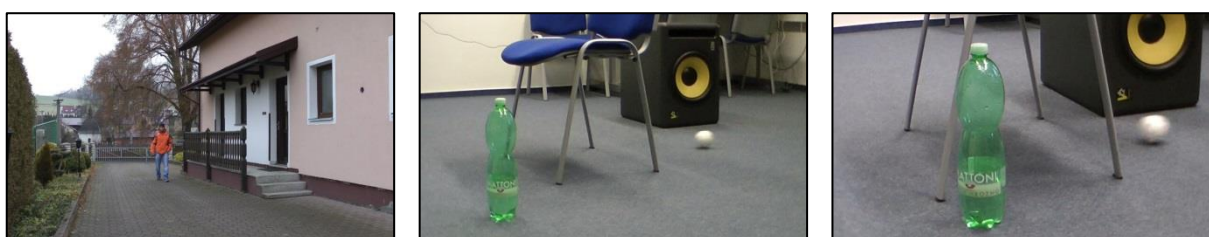
c) Test 3

Obrázek 43: Přeslechy - obsah videosekvencí

Na obrázku 43 je následně znázorněn obsah videosekvencí v jednotlivých testech. Můžeme si zde tedy všimnout, že první test je zaměřen spíše na objekty natáčené z relativně velké vzdálenosti, které se pohybují rychlostí do 5 km/h. Druhý test je pak zaměřen na objekty natáčené ze střední vzdálenosti 2 – 5 m, které se pohybují rychlostí v rozmezí 5 – 10 km/h. A poslední test je zaměřený na objekty relativně blízké a rychle se pohybující (10 km/h <). Díky tomuto můžeme pozorovat nejen závislost kvality stereoskopického videa na velikosti přeslechu, ale i na vzdálenosti natáčeného objektu, respektive na jeho rychlosti.

6.3 Závislost na velikosti zpoždění mezi levým a pravým kanálem

Podobně jako u testování závislosti na velikosti přeslechu, tak i u testování závislosti na velikosti zpoždění mezi jednotlivými kanály, byly použity celkem tři testy s různým obsahem videosekvencí. Obsah těchto videosekvencí ukazuje obrázek 44, na kterém si můžeme všimnout, že testy 2 a 3 jsou obsahově stejné jako testy 2 a 3 z testování předešlého. Rozdíl je však v testu prvním, kde je sice zachována rychlost pohybu (chůze člověka) do 5 km/h, ale je zde větší dynamika v obraze (posun nohou a rukou, naklánění těla, otáčení hlavou, atd.), což umožňuje snazší pozorovatelnost vlivu zpoždění.



a) Test 1

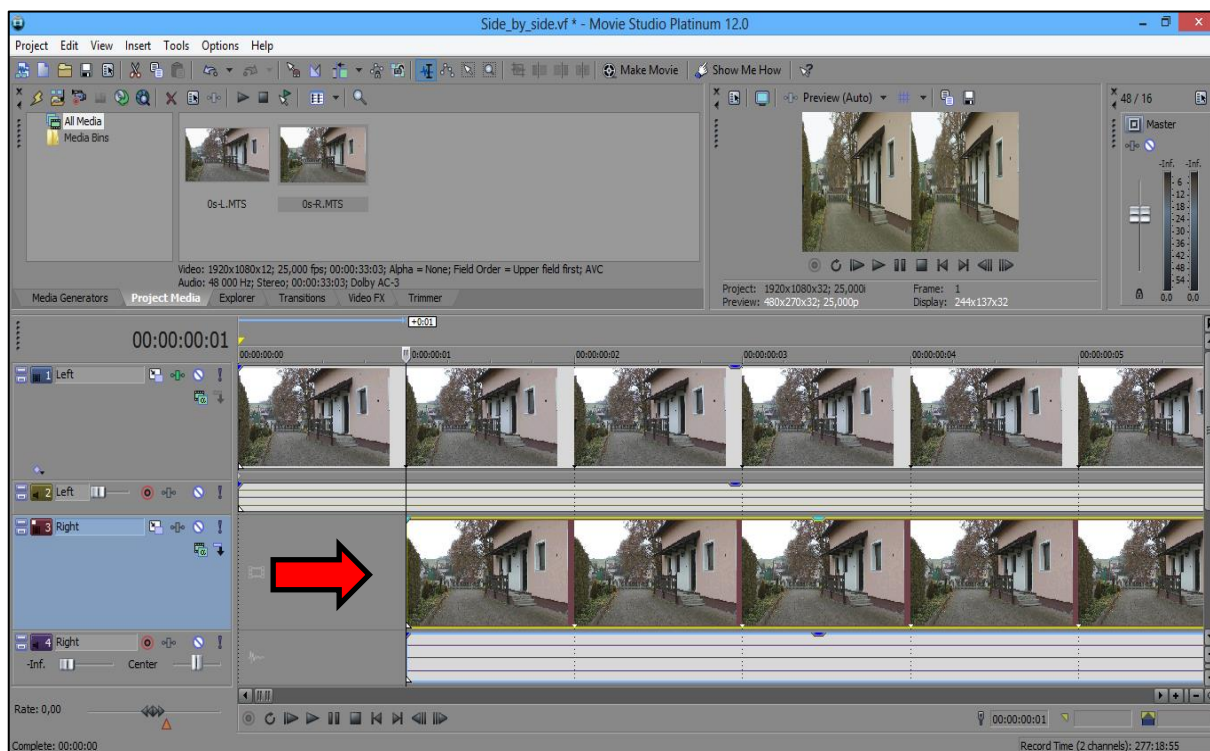
b) Test 2

c) Test 3

Obrázek 44: Zpoždění - obsah videosekvencí

Každý z těchto testů obsahoval celkem sedm různých videosekvencí, přičemž opět dvě videosekvence byly videosekvencemi referenčními. To znamená, videosekvence pro levé i pro pravé oko byly přehrávány synchronně. Následujících pět videosekvencí poté již obsahovaly

valo různé zpoždění o velikosti jeden až pět snímků. Realizaci tohoto zpoždění, jež byla prováděna v programu Sony Movie Studio, lze provést následovně. V programu je nejdříve nutné, jak ukazuje obrázek 45, do dvou vytvořených stop načíst zvlášť videosekvenci pro levé oko a zvlášť videosekvenci pro pravé oko. Ve zvukových stopách těchto videosekvencí pak nalézt vytvořenou zvukovou špičku a tím zkontrolovat správnost synchronizace. V případě, že je synchronizace v pořádku, můžeme realizovat zpoždění pouhým vzájemným posunutím jednotlivých stop (na obrázku 45 znázorněno červenou šipkou). Ve vlastnostech projektu je dále nutné nastavit požadovaný výstupní formát stereoskopického videa (side-by-side) a příkazem „Pair as stereoscopic subclip“ obě videosekvence složit do jedné. Nakonec je zapotřebí vybrat požadovaný formát výstupní videosekvence (v práci byl zvolen *.m2ts) a spustit renderování.



Obrázek 45: Realizace zpoždění v programu Sony Movie Studio

6.4 Závislost na velikosti stereobáze

Závislosti kvality stereoskopického videa na velikosti stereobáze byly věnovány celkem dva páry testů. První pár testů, jehož obsah videosekvencí ukazuje obrázek 46 a), je zaměřen na objekty natáčené z relativně blízké vzdálenosti (1 – 1,5 m). Přičemž rozdíl mezi jednotlivými testy v tomto páru je v úhlu svíraném osami kamer při natáčení. V prvním testu byl tento úhel nastaven na 0° , zatímco v testu druhém, byl úhel nastaven na 10° .



a) Test 1, 2



b) Test 3, 4

Obrázek 46: Stereobáze – obsah videosekvencí

Druhý pár testů byl pak věnován spíše objektům natáčeným z větší vzdálenosti, kde hlavní dominantou scény, jak ukazuje obrázek 46 b), je zahradní altán ve vzdálenosti 10 m od kamerového systému. Rozdíl mezi jednotlivými testy v páru byl opět v úhlu svíraném osami kamer při natáčení, kde tento úhel byl pro Test 3 nastaven na 0° a pro Test 4 na 5° .

Každý z těchto čtyř testů obsahoval přitom vždy deset různých testových videosekvencí, které byly natáčeny s různě nastavenou velikostí stereobáze, v rozmezí 7 – 43 cm s krokem 4 cm. Videosekvence referenční u těchto testů byla vybrána na základě subjektivního hodnocení autora a vedoucího práce. V případě však, že hodnotící neohodnotil tuto „referenční“ videosekvenci nejlépe, tak jeho hodnocení nebylo vyřazeno, tak jako tomu bylo u testů předchozích, ale bylo i tak zahrnuto do celkového vyhodnocení.

7 Vyhodnocení testů

Subjektivní hodnocení bylo prováděno, dle již zmíněného schématu (obrázek 28 v úvodu kapitoly 5), kde pro zobrazování testových videosekvencí byl použit 3D televizor značky Panasonic. Konkrétně se jednalo o model TX-L42ET5E, který pro stereoskopické zobrazování využívá polarizačního multiplexu a každý hodnotící musel mít tedy v době přehrávání nasazeny pasivní polarizační 3D brýle. Optimální pozorovací vzdálenost takto velkého televizoru (42"), za předpokladu promítaného rozlišení 1920 x 1080, je definována doporučením ITU-R BT.2022 jako 3,2 násobek výšky obrazu, tedy okolo 190 cm. Vezmeme-li dále v potaz, že optimální pozorovací úhel takového televizoru je $< 31^\circ$, pak je patrné, že hodnocení mohlo být prováděno maximálně s dvěma současnými hodnotiteli.

Z tohoto důvodu bylo hodnocení velice časově náročné a bylo prováděno po dobu celkem tří měsíců, během kterých testování absolvovalo celkem 39 hodnotících. Tito byli rozděleni podle pohlaví, podle věku a podle znalosti stereoskopie do několika různých skupin, jejichž obsazení ukazuje tabulka 4.

Podle pohlaví			Podle věku			Podle znalosti stereoskopie ²		
Celkem	Muži	Ženy	≤ 20	21-50	$51 \leq$	1	2	3
39	28	11	5	27	7	4	21	14

Tabulka 4: Zastoupení jednotlivých skupin hodnotících

Z časových důvodů však ne všichni hodnotící absolvovali vždy všech deset testů, ale někteří absolvovali jen například jednu či dvě série testů, zabývajících se jedním vlivem snižujícím kvalitu. Počet ohodnocení jednotlivých sérií je zobrazen v tabulce 5.

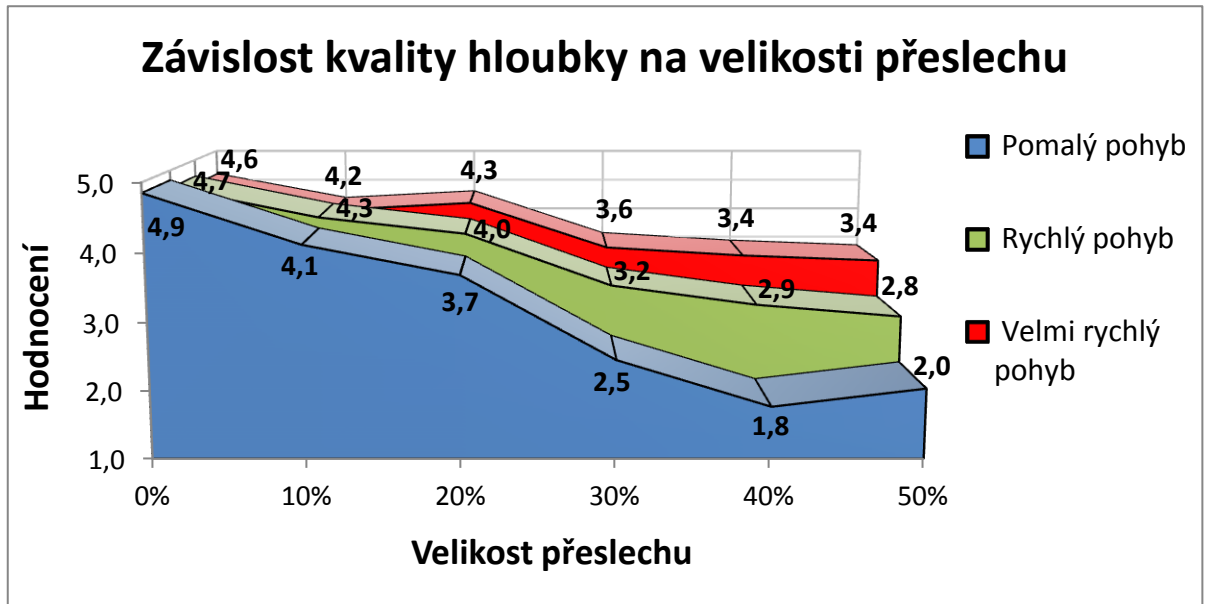
Testování vlivu		
Přeslechu	Zpoždění	Stereobáze
35	32	32

Tabulka 5: Počet ohodnocení jednotlivých sérií

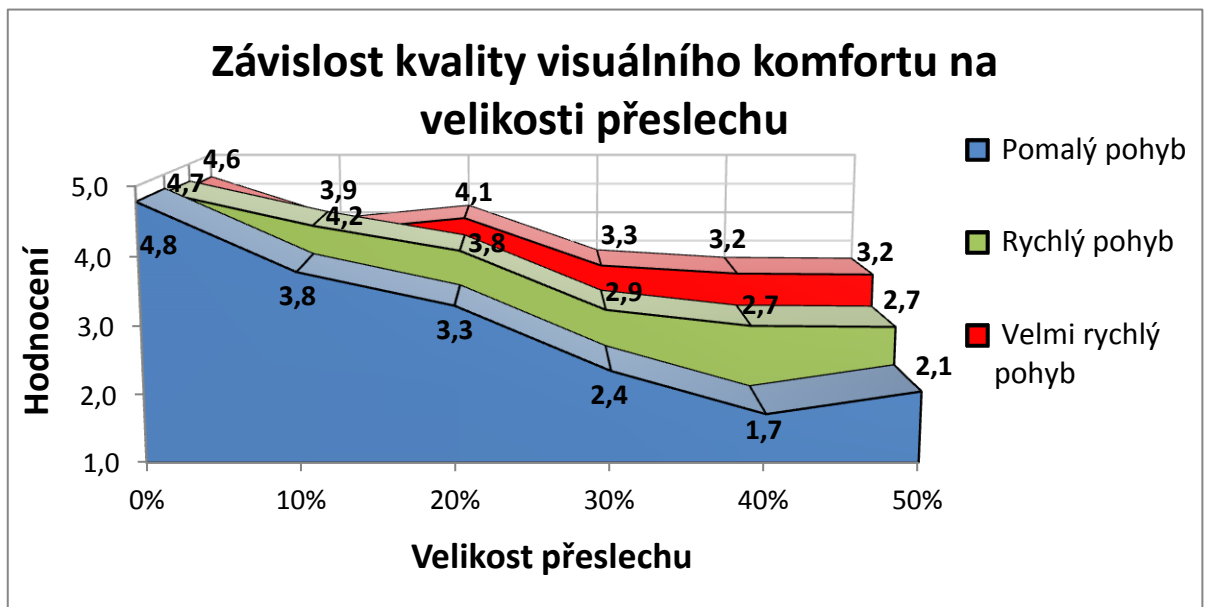
Z dat, získaných během hodnocení, bylo následně pomocí programu MS Excel, vypočteno a graficky znázorněno několik různých závislostí. Na základě statistických údajů zobrazených v tabulce 4, bylo totiž možné vyhodnotit nejen sledované „difference mean opinion score“ (průměrné hodnocení), ale bylo možné vyhodnotit zvlášť například i hodnocení jednotlivých věkových skupin nebo hodnocení mužů a žen. A sledovat tak různé odlišnosti a závislosti.

² Znalost stereoskopie: 1 = „sleduji pravidelně“, 2 = „několikrát jsem viděl“, 3 = „vidím prvně“

V závěru práce jsou však z důvodu přehlednosti graficky znázorněny pouze takzvané vážené průměry hodnocení. Kde největší váha (1,5) je přiřkládána hodnocení hodnotících, kteří sledují stereoskopické záznamy pravidelně, a naopak nejmenší váha (0,5) je přiřkládána hodnocení hodnotících, kteří se se stereoskopickým videem ještě nesetkali. Ostatním hodnocením se váha nemění a zůstává na hodnotě „1“.



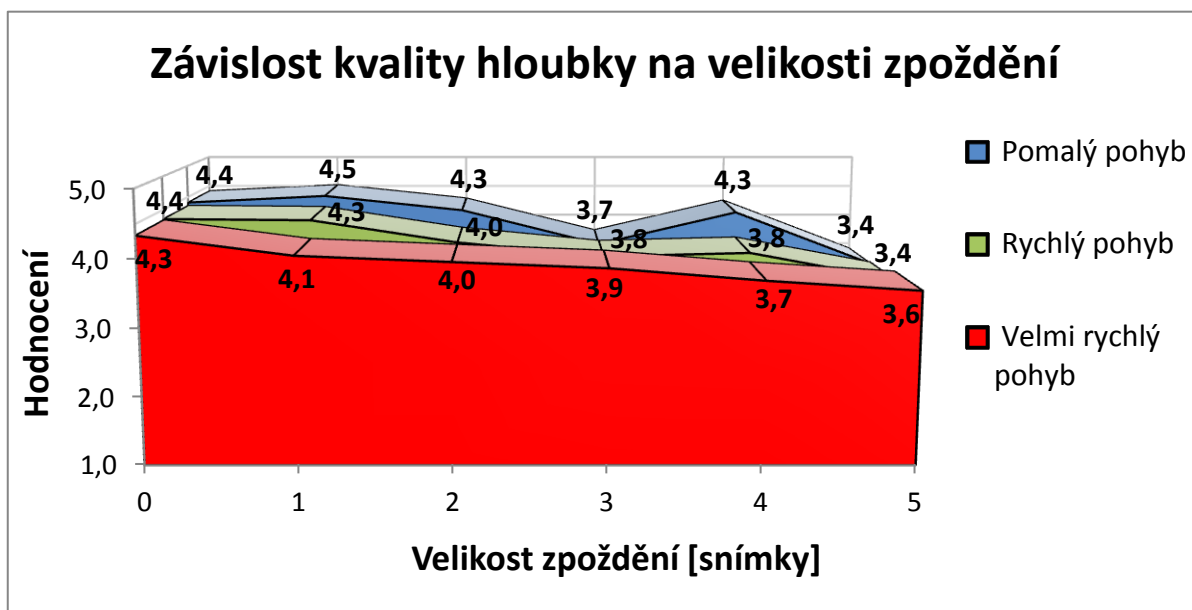
Graf 3: Závislost kvality hloubky na velikosti přeslechu



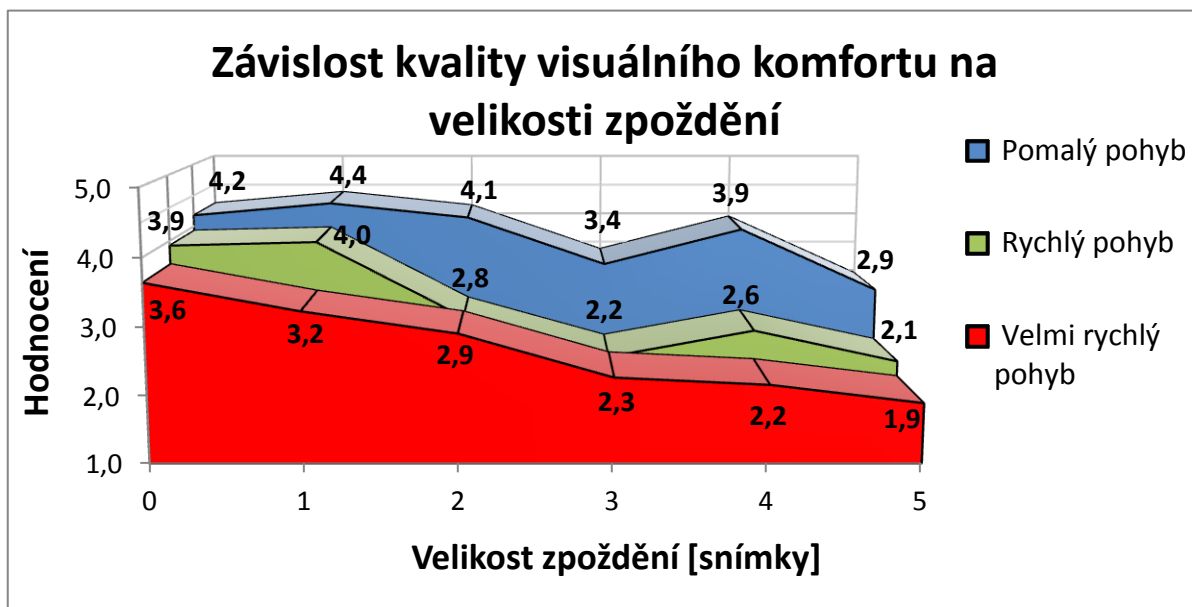
Graf 4: Závislost kvality vizuálního komfortu na velikosti přeslechu

Vyhodnocení první série testů zabývajících se vlivem velikosti přeslechu, je názorně zobrazeno pomocí 3D grafů 3 a 4. Na nichž si můžeme všimnout, že kvalita obou sledovaných parametrů se snižuje nejen v závislosti na velikosti přeslechu, ale i v závislosti na rychlosti

pohybu, respektive vzdálenosti natáčeného objektu. A lze tedy obecně říci, že čím menší vzdálenost a naopak čím větší rychlost natáčeného objektu, tím je kvalita stereoskopického videa lepší. Dále lze také konstatovat, že i minimální přeslech o velikosti 10 % je pro diváka pozorovatelný a má vliv, jak na snížení kvality hloubky, tak i kvality vizuálního komfortu. Závěr tedy zní: „Přeslech mezi jednotlivými stereo kanály by měl vždy být po celou dobu promítání menší než 10 %.



Graf 5: Závislost kvality hloubky na velikosti zpoždění ³

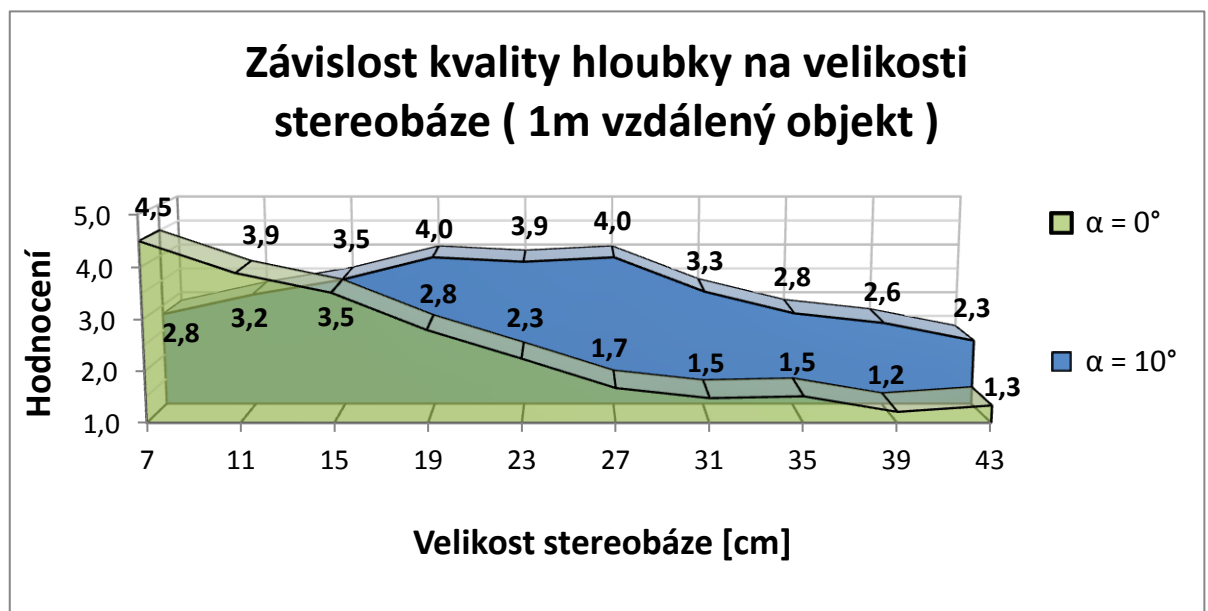


Graf 6: Závislost kvality vizuálního komfortu na velikosti zpoždění ³

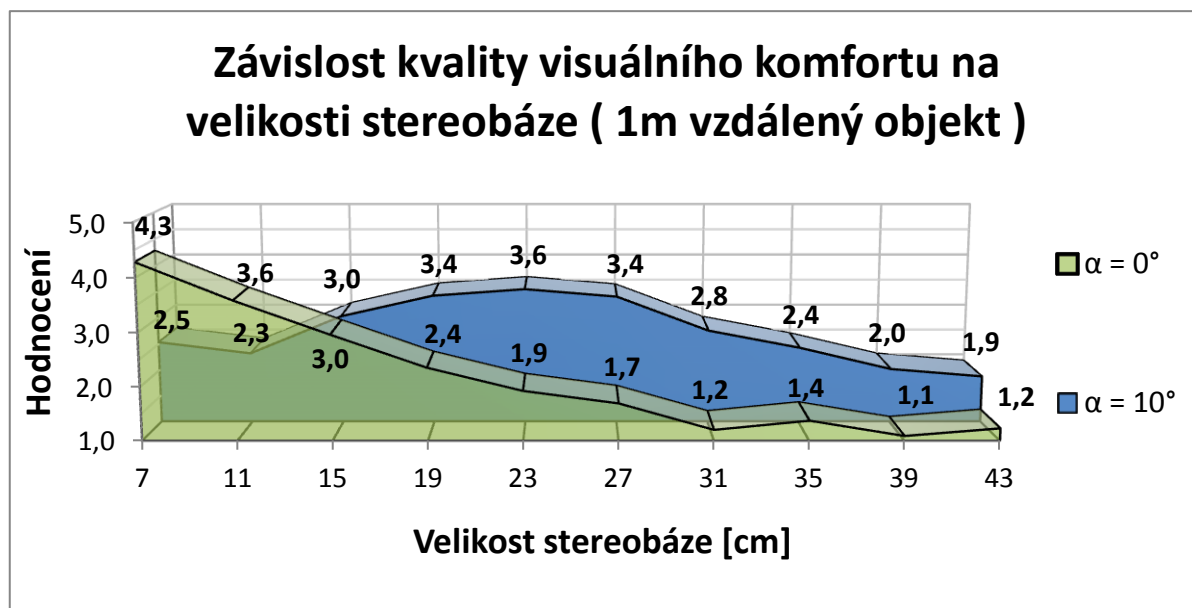
³ Doba trvání jednoho snímku je rovna 40 ms => snímková frekvence kamery = 25 fps.

Z grafického vyjádření hodnocení druhé série testů, jejímž předmětem bylo zkoumání vlivu zpoždění, je vidět, že závislost hodnocení na velikosti tohoto zpoždění nemusí být vždy lineární a například u periodicky pohybujících se objektů by mohla značně kolísat. V případě, že se však jedná o pohyb neperiodický nebo jen částečně periodický, jako tomu bylo u pohybu v jednotlivých testech. Pak lze obecně říci, že kvalita stereoskopického videa s rostoucí velikostí zpoždění a rostoucí rychlostí pohybu natáčeného objektu klesá. Za částečně periodický pohyb lze přitom považovat například chůzi člověka směrem ke kameře (Test 1), kde periodicky se pohybují nohy člověka, ale celé jeho tělo se pohybuje lineárně (neperiodicky).

Z grafu 6 můžeme dále vyčíst, že pokud pohyb ve středně vzdálené až vzdálené scéně nepřekročí rychlost 5 km/h, pak lze akceptovat odchylku v synchronizaci až do velikosti dvou snímků. V případě, že je však tato rychlost překročena, nebo pokud je zkrácena vzdálenost natáčeného objektu, pak je jakékoliv vzájemné zpoždění neakceptovatelné. Závěr tedy zní: „Při natáčení pohybujícího se středně vzdáleného až blízkého objektu, jehož rychlost pohybu přesahuje hodnotu 5 km/h, je jakákoliv odchylka ve snímkové synchronizaci vyloučena.“



Graf 7: Závislost kvality hloubky na velikosti stereobáze - 1 m

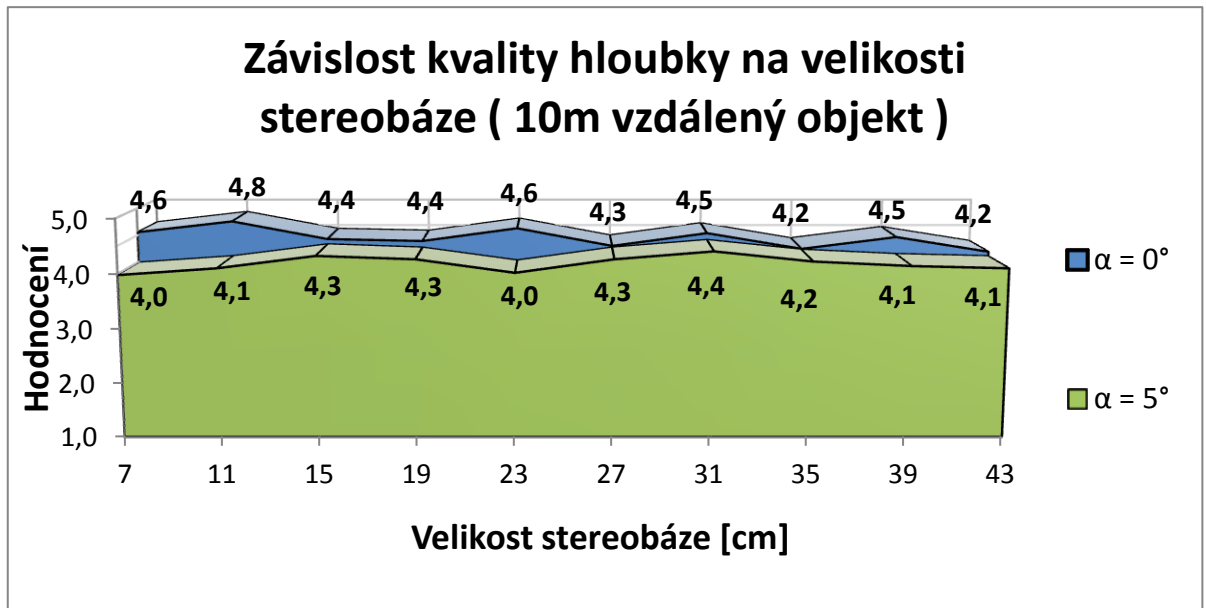


Graf 8: Závislost kvality vizuálního komfortu na velikosti stereobáze - 1 m

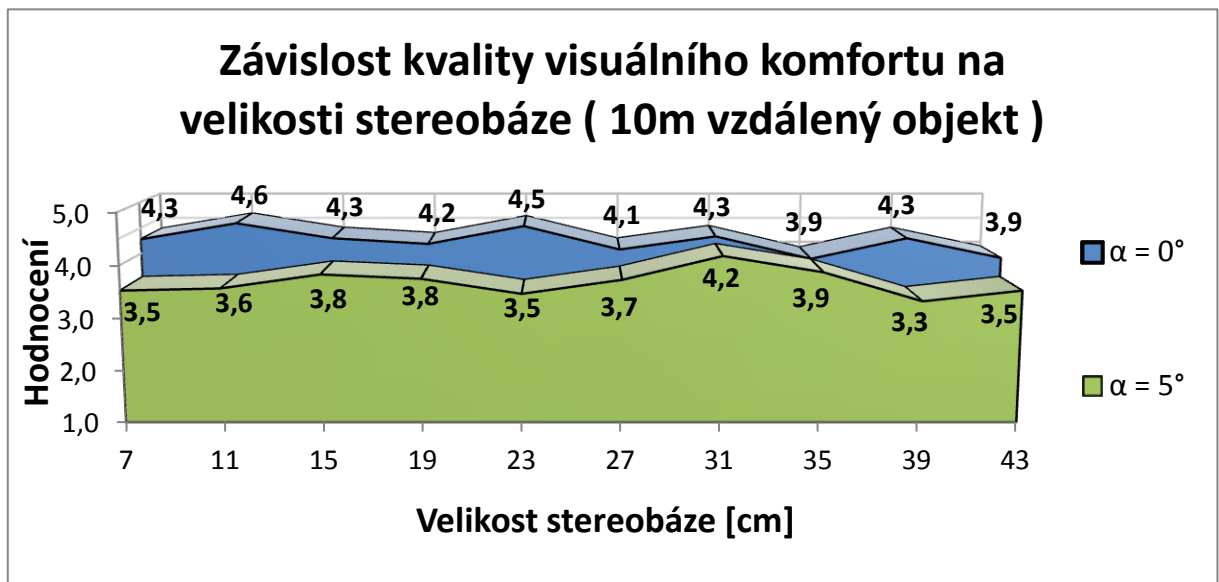
Z vyhodnocení testů 1 a 2, prováděných za účelem zjištění optimálního nastavení stereoskopického stavivu, při natáčení blízkých objektů plyne, že pro nejpohodlnější pozorování je nejvhodnější nastavení stereobáze na velikost 7 cm a úhel mezi osami kamer na 0° . Tím je tak nejlépe navozena situace reálného vidění člověka, který nešilhá a vzdálenost, jehož očí je přibližně rovna právě velikosti 7 cm. Modrá křivka nám dále ukazuje, že v určitých případech je možné při nastaveném úhlu 10° použít i nastavení stereobáze v rozmezí 19 – 27 cm. Při tomto nastavení je však bezpodmínečně nutné, aby se všechny natáčené objekty nacházely přibližně ve stejné vzdálenosti od kamerového systému. Pokud totiž toto není dodrženo, je pozorování takovýchto záznamů z důvodu křížení os kamer, dosti nepohodlné.

Nastavení jiného úhlu mezi osami kamer než je 0° se však obecně příliš nedoporučuje a to především z důvodu, že je pozorovatel při pozorování takto pořízených videosekvencí nucen k mírnému podvědomému šilhání, které může vést v krajním případě i k trvalému zhoršení zraku. Závěrem lze tedy říci, že: **„Pro natáčení relativně blízkých objektů je vhodné nastavení stereobáze na velikost 7 cm, přičemž úhel svíraný osami kamer by neměl být jiný než 0° .“**

Skutečnost, že videa natáčená s jiným než 0° úhlem jsou subjektivně hodnocena jako horší, je potvrzena i grafickým vyhodnocením testů 3 a 4 (Graf 9 a 10). Z těchto grafů je sice vidět, že rozdíl mezi hodnocením videosekvencí natáčených s úhlem 5° a hodnocením videosekvencí natáčených s úhlem 0° , není při větší vzdálenosti natáčeného objektu, již tak velký. Přesto však tři nejlépe ohodnocené videosekvence byly natočeny s úhlem 0° a velikostí stereobáze 11, 23 respektive 31 cm.



Graf 9: Závislost kvality hloubky na velikosti stereobáze - 10 m



Graf 10: Závislost kvality vizuálního komfortu na velikosti stereobáze – 10 m

„Pro natáčení vzdálenějších objektů je proto vhodné stejně jako pro natáčení blízkých objektů použít úhel svíraný osami kamer 0° . Ovšem optimální velikost stereobáze je velice závislá na natáčené scéně, z výsledků hodnocení však lze usoudit, že její velikost je vhodné volit v rozmezí 7 – 23 cm.“

Z detailního vyhodnocení, jež je k dispozici v elektronické podobě na příloženém DVD disku a které obsahuje zvlášť hodnocení jednotlivých věkových skupin a zvlášť hodnocení mužů a žen, je dále možné vypořádat, že hodnocená kvalita stereoskopického videa v závislosti na velikosti stereobáze ženami je lepší než tatáž kvalita hodnocená muži. Rozdíl mezi hodnocením v průměru dosahuje hodnoty 0,3 stupně a je způsoben především rozdílnou

průměrnou vzdáleností očí žen a mužů. Další možný vliv na tento rozdíl by mohla mít i obecně větší kritičnost mužů, což se však v ostatních testech (vliv přeslechu, vliv zpoždění) neprojevalo.

Z detailního vyhodnocení jednotlivých věkových skupin, dále již žádné závislosti vypořovány nebyly. Rozdíl v hodnocení jednotlivých skupin se totiž s rostoucím počtem hodnotících limitně blíží nule.

8 Závěr

Z vyhodnocení výsledků prováděných testů, které byly uvedeny v předchozí kapitole, je patrné, že všechny zkoumané vlivy (přeslech, zpoždění, velikost stereobáze) mají znatelný dopad na vnímanou kvalitu stereoskopického videa. Dále je z tohoto vyhodnocení také viditelné, že míra dopadu na tuto kvalitu silně závisí na obsahu videosekvence. A proto je nutné brát v potaz, že pokud budeme mít nějakou jinou scénu, byť tato scéna bude podobného charakteru jako scéna v konkrétním testu, tak subjektivní hodnocení této scény se může oproti hodnocení, jež je uvedené v kapitole 7, mírně lišit.

Podmínky pro natáčení stereoskopických videosekvencí pomocí dvou stejných záznamových zařízení (princip uvedený v kapitole 2.2) a zhotoveného stereoskopického stativu, lze však obecně stanovit takto:

- Pro natáčení relativně blízkých objektů je vhodné nastavit velikost stereobáze na hodnotu 7 cm a úhel svíraný osami kamer nastavit na 0° .
- Zatímco pro natáčení vzdálenějších objektů je vhodné zvolit stereobázi o trochu větší v rozmezí 7 – 23 cm a úhel svíraný osami kamer nastavit na 0° .

Během hodnocení bylo také zjištěno, že doby trvání jednotlivých testových videosekvencí a doby vyhrazené na hodnocení, které jsou definovány doporučením ITU-R BT.2021, jsou pro hodnocení kvality stereoskopického videa nedostačující. A proto byly obě tyto doby při realizaci metody Single-stimulus prodlouženy na 30 s. S případným rostoucím počtem současných hodnotitelů je však na zváženu, zda časový interval na hodnocení ještě neprodloužit.

Celý proces hodnocení je v budoucnosti možné opakovat a sledovat tak například rozdíly v hodnocení jednotlivých skupin rozdělených i podle jiných kritérií, než podle věku či znalosti stereoskopie. Nebo například sledovat vliv použité technologie, které je využíváno pro stereoskopické zobrazování. Vždyť například vlivem relativně velkého rozdílu kontrastních poměrů plasmových televizorů a dataprojektorů, mohou být některé vlivy snižující kvalitu vnímány zcela odlišně. Dále je možné s drobnými úpravami ve vypisovaných textech a s použitím jiných stereoskopických videosekvencí, metodiku realizovanou v prostředí MATLAB dokonce využít i pro jiné subjektivní hodnocení stereoskopického videa.

Bylo by však do budoucna přínosem, vylepšit několik kritických částí tohoto systému, jakyými jsou například synchronizace zobrazovací a hodnotící části nebo vyhodnocování získaných dat, která by při větším počtu hodnotících mohla být v programu MS Excel příliš náročná.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BENOIT, Michel. *Digital Stereoscapy – Scene to screen 3D production Workflow*. ISBN 978-1-480-15709-5.
- [2] BEECH, Michael. *Mastering 2D to 3D conversion*. 2th edition, vyd. New York, 2009. ISBN 978-0-9817741-2-1.
- [3] ŘÍČNÝ, Václav. Přichází 3D televize. Jak funguje trojrozměrné zobrazování? *Digizone.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/trojrozmerne-zobrazovani-a-3d-televize/>
- [4] PETR, P. Stereofotografie - třetí rozměr ve fotografii. *Fotokamzici.com* [online]. 2008 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.fotokamzici.com/aktuality/stereofotografie-treti-rozmer-ve-fotografii/222>
- [5] FLOYD, J., P. GEIPEL a A.M. KEMPF. 3D measurements and Phantom studies of a turbulent opposed jet flame. *Sciencedirect.com* [online]. 2010 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001021801000249X>
- [6] *Fotoskoda.cz* [online]. 2010 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: www.fotoskoda.cz
- [7] 3D Stereo Cameras and rigs. *Flickrriver.com* [online]. 12.3.2013 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: http://www.flickrriver.com/groups/3d_stereo_cameras/
- [8] VW-CLT1 3D Conversion Lens. *Panasonic.com* [online]. 2011 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.panasonic.com.au/Products/Camcorders/Accessories/Lenses/VW-CLT1/>
- [9] 3D movies' technology, a revolution!. *Olivieris.toile-libre.org* [online]. 2011 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://olivieris.toile-libre.org/index.php?pg=18&id=18>
- [10] BENEDIKOVIČ, Josef. Jak funguje 3D technologie. *Cinemo.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://cinemo.cz/3d-technologie>
- [11] VON LOEHNEYSEN, Ulrich. LCD Technology Explained. *Televisions.com* [online]. 2008 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.televisions.com/tv-articles/LCD-The-Dominator.php>
- [12] 3D Projection. *Panasonic.net* [online]. 2013 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://panasonic.net/avc/projector/products/ae7000/features2.html>
- [13] Auto Stereoskopie. *Lanpartybrno.cz* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://navody.lanpartybrno.cz/?sekce=av3>
- [14] SPIRO, Lisa. A Brief History of Stereographs and Stereoscopes. *Connexions* [online]. 2006 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://cnx.org/content/m13784/latest/>

- [15] THE MATHWORKS, INC. *Matlab product help* [online]. 2013 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/index.html>
- [16] RECOMMENDATION ITU-R BT.500-11 - *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*, 2002.
- [17] RECOMMENDATION ITU-R BT.2021 - *Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems*, 2012.
- [18] RECOMMENDATION ITU-R BT.2022 - *General viewing conditions for subjective assessment of quality of SDTV and HDTVtelevision pictures on flat panel displays*, 2012.

Přílohy

Příloha A – M-file – Hlavní program (Menu)

```
clc;

% definice proměnných

prom=0;
pravda0=1;
pravda=1;

run Vyberova_obrazovka
while pravda0==1 % cyklus, který je ukončen tlačítkem "Ukončit hodnocení"
while pravda==1 % cyklus, který načítá volbu v menu
    for i=1:13
        prom=get(d(i),'Value');
        if prom==1
            test=i; % vybraný test
            pravda=0; % ukončení cyklu while
            set(d(i),'Value',0); % odznačení stisknutého tlačítka
        end
    end
    end
    pause(0.2);
end
switch test % Přepínač (switch) zajistí spuštění vybraného testu nebo ukon-
    čení hodnocení
    case 1
        run Test_zraku
    case 2
        run Preslechy_Test1
    case 3
        run Preslechy_Test2
    case 4
        run Preslechy_Test3
    case 5
        run Zpozdeni_Test1
    case 6
        run Zpozdeni_Test2
    case 7
        run Zpozdeni_Test3
    case 8
        run Stereobaze_Test1
    case 9
        run Stereobaze_Test2
    case 10
        run Stereobaze_Test3
    case 11
        run Stereobaze_Test4
    case 12
        pravda0=0;
        close all
    case 13
        run Registrace
    otherwise
        pravda=1;
end
test=0; % zpětné nastavení proměnných do počátečního stavu
pravda=1;
end
```

Příloha B – M-file - Registrace uživatele

```
clc

% registrace uživatele a vytvoření jeho složky

figure('Position',[0 0 1920 1080]); % vytvoření prázdného okna
pole = {'Zadejte vaše jméno a příjmení:', 'Zadejte věk:',
        'Znalost stereoskopie (1 - 3) 1 - sleduji pravidelně,
        2 - několikrát jsem viděl, 3 - vidím prvně'};
jmeno = inputdlg(pole, 'User', 1); % vytvoření okna, které vyplní uživatel
mkdir(cell2mat(jmeno(1))); % vytvoření nové složky se jménem uživatele
pause(0.5); % pauza 0.5 s
close(1); % zavření prázdného okna

% konec
```

Příloha C – M-file – Test zraku (úvodní test)

```

clc

% definice proměnných

rychlost=30; % v případě pomalejšího PC, ze kterého se spouští
             % videosekvence, vhodné změnit na 31
videni=zeros(1,6);
hodnoceni=zeros(2,10);

% tvorba úvodní obrazovky (obsah testu)

figure('Position',[0 0 1920 1080]); % vytvoření prázdného okna
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[445 545 610 90]);
        % vytvoření obdélníkového rámečku (dána poloha a rozměry)
text1 = uicontrol('Style','text','String','Test Vašeho zraku','Position',
[450 550 600 80]);
        % vytvoření textového pole (dána poloha a rozměry)
set(text1,'FontSize',40); % změna velikosti písma v textovém poli
text2 = uicontrol('Style','text','String','Obsah testu:','Position',
[350 450 200 40]);
set(text2,'FontSize',25);
text3 = uicontrol('Style','text','String',' 1. Horizontální
šilhavost','Position',[580 400 330 30]);
set(text3,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text4 = uicontrol('Style','text','String',' 2. Vertikální
šilhavost','Position',[580 350 330 30]);
set(text4,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text5 = uicontrol('Style','text','String',' 3. Otáčivá
šilhavost','Position',[580 300 330 30]);
set(text5,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text6 = uicontrol('Style','text','String',' 4. Stejné vnímání velikosti
objektu','Position',[580 250 630 30]);
set(text6,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text7 = uicontrol('Style','text','String',' 5. Schopnost vnímat 2 různé
obrazy jako jeden','Position',[580 200 630 30]);
set(text7,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text8 = uicontrol('Style','text','String',' 6. Schopnost zaostřit na
vnímaný 3D objekt','Position',[580 150 630 30]);
set(text8,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text9 = uicontrol('Style','text','String',' Zkouška
hodnocení','Position',[580 450 330 40]);
set(text9,'FontSize',25,'HorizontalAlignment','left');
pause(16); % pauza - 15s doba zobrazení obsahu testu + 1s rezerva pro
           % načtení videosekvence
close(1); % zavření okna

for k=0:6 % hlavní cyklus hodnocení - 7 cyklů (zkušební videosekvence +
        % 6 testů zraku)

% obrazovka mezi hodnoceními

switch k % přepínač (switch) určuje, jaká věta bude vypsaná na hodnotícím
        % monitoru během promítání videosekvence
case 0
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítána zkušební
videosekvence'];
pauza=rychlost;

```



```

case 1
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test horizontální
      šilhavosti'];
case 2
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test vertikální
      šilhavosti'];
case 3
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test otáčivé
      šilhavosti'];
case 4
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test stejného
      vnímání velikosti a tvaru objektu'];
case 5
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test schopnosti
      vnímat 2 různé obrazy jako jeden'];
case 6
vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítán test schopnosti
      ostření na vnímaný 3D objekt'];
end

figure('Position',[0 0 1920 1080]);
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[225 345 910 330]);
text1 = uicontrol('Style','text','String',vypis,'Position',
                 [230 350 900 320]);
set(text1,'FontSize',50);
text00 = uicontrol('Style','frame','Position',[75 145 1210 120]);
text2 = uicontrol('Style','text','String','Nasaďte si prosím 3D
                 brýle!','Position',[80 150 1200 110]);
set(text2,'FontSize',65);
pause(pauza);
close(1);

% hodnotící obrazovka zkušební videosekvence

if k==0 % bude použita jen v prvním cyklu (při zkušební videosekvenci)
figure('Position',[0 0 1920 1080]); % vytvoření prázdného okna
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[200 300 200 200]);
      % vytvoření obdélníkového rámečku (dána poloha a rozměry)
text00 = uicontrol('Style','frame','Position',[995 545 310 110]);
text000 = uicontrol('Style','frame','Position',[545 545 310 110]);
text1 = uicontrol('Style','text','String',mat2cell(k),'Position',
                 [210 310 180 180]);
      % vytvoření textového pole (dána poloha a rozměry)
text2 = uicontrol('Style','text','String','Kvalita vizuálního
      komfortu','Position',[1000 550 300 100]);
text3 = uicontrol('Style','text','String','Kvalita hloubky',
      'Position',[550 550 300 100]);
set(text1,'FontSize',120); % změna velikosti písma v textovém poli
set(text2,'FontSize',25);
set(text3,'FontSize',25);
b(1)= uicontrol('Style','togglebutton','String','5 - Velice
      pohodlné','Position',[1050 450 200 80]);
b(2)= uicontrol('Style','togglebutton','String','4 - Pohodlné',
      'Position',[1050 350 200 80]);
b(3)= uicontrol('Style','togglebutton','String','3 - Slabě
      nepohodlné','Position',[1050 250 200 80]);
b(4)= uicontrol('Style','togglebutton','String','2 - Nepohodlné',
      'Position',[1050 150 200 80]);
b(5)= uicontrol('Style','togglebutton','String','1 - Silně
      nepohodlné','Position',[1050 50 200 80]);
set(b(1),'FontSize',15);

```

```

set(b(2), 'FontSize', 15);
set(b(3), 'FontSize', 15);
set(b(4), 'FontSize', 15);
set(b(5), 'FontSize', 15);
b(6)= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', '5 - Výborný',
    'Position', [600 450 200 80]);
b(7)= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', '4 - Dobrý',
    'Position', [600 350 200 80]);
b(8)= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', '3 - Ucházející',
    'Position', [600 250 200 80]);
b(9)= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', '2 - Špatný',
    'Position', [600 150 200 80]);
b(10)= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', '1 - Úplně zkažený',
    'Position', [600 50 200 80]);
set(b(6), 'FontSize', 15);
set(b(7), 'FontSize', 15);
set(b(8), 'FontSize', 15);
set(b(9), 'FontSize', 15);
set(b(10), 'FontSize', 15);
pause(31); % pauza - 30s doba trvání videosekvence + 1s rezerva pro
    načtení videosekvence

% vypsání varovné hlášky 10sek před koncem hodnocení

text0000 = uicontrol('Style','frame','Position', [175 125 260 90]);
text4 = uicontrol('Style','text', 'String','Do konce hodnoceni zbývá
    10s!', 'Position', [180 130 250 80]);
set(text4, 'FontSize', 20, 'BackgroundColor', 'r');
pause(10)
close(1);

else

% hodnotící obrazovka testu zraku

figure('Position', [0 0 1920 1080]); % vytvoření prázdného okna
    if (0<k)&(k<4) % soubor podmínek if určuje podle právě běžícího
        cyklu, jaká otázka bude hodnotícímu položena
        vypis=['Byla hodnota na stupnici v rozmezí: ( -0.5 , 0.5 ) ?'];
    elseif k==4
        vypis=['Zdáli se Vám obě dvě závorky stejně velké ?'];
    elseif k==5
        vypis=['Viděli jste čtyři stejné tečky ?'];
    elseif k==6
        vypis=['Podařilo se Vám stejně zaostřit na všechna písmena
            v poslední řadě ?'];
    end
text0 = uicontrol('Style', 'frame', 'Position', [225 405 910 250]);
    % vytvoření obdélníkového rámečku (dána poloha a rozměry)
text1 = uicontrol('Style', 'text', 'String', vypis, 'Position',
    [230 410 900 240]);
    % vytvoření textového pole (dána poloha a rozměry)
set(text1, 'FontSize', 50); % změna velikosti písma v textovém poli
b1= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', 'ANO', 'Position',
    [350 250 200 80]);
b2= uicontrol('Style','togglebutton', 'String', 'NE', 'Position',
    [750 250 200 80]);
set(b1, 'FontSize', 50);
set(b2, 'FontSize', 50);

```

```
% vypsaní varovné hlášky 5s před koncem hodnocení

pause(16); % pauza 15s (3/4 doby trvání hodnocení 20s) + 1s rezerva pro
           načtení videosekvence zobrazené v době hodnocení na TV
text0000= uicontrol('Style','frame','Position',[175 125 260 90]);
text4= uicontrol('Style','text','String','Do konce hodnoceni zbývá
           5s!','Position',[180 130 250 80]);
set(text4,'FontSize',20,'BackgroundColor','r');
           % změna velikosti písma a barvy pozadí v textovém poli

% načítání hodnocení

pause(5); % pauza 5s (1/4 doby trvání hodnocení 20s)
hod1=0; % počáteční vynulování proměnné
hod1=get(b1,'Value'); % načte stav tlačítka "ANO" (1=je aktivní)
           if hod1==1 % pokud je tlačítko "ANO" aktivní je přidána do vektoru
                   vidění log. 1
                   videni(1,k)=1;
           end
close(1);
end

% obrazovka s výsledky

figure('Position',[0 0 1920 1080]);
if(videni(1,1)==1)&(videni(1,2)==1)&(videni(1,3)==1)&(videni(1,4)==1)
    &(videni(1,5)==1)&(videni(1,6)==1)
    zrak=['Váš zrak je v pořádku!']; % pokud bylo na všechny otázky odpo-
    vězeno "ANO" je vypsáno, že zrak hodnotícího je v pořádku
else
    zrak=['Váš zrak bohužel není v pořádku!'];
    % v ostatních případech byl test zraku neúspěšný
    text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[225 155 960 90]);
    text1 = uicontrol('Style','text','String','Hodnocení kvality nemůže
    pokračovat !','Position',[230 160 950 80]);
    set(text1,'FontSize',40,'BackgroundColor','r');
end
text2 = uicontrol('Style','frame','Position',[225 405 910 180]);
text3 = uicontrol('Style','text','String',zrak,'Position',
    [230 410 900 170]);
set(text3,'FontSize',50);
pause(7);
close(1);

% konec
```

Příloha D – M-file – Přeslechy Test 1

Pozn.: Protože se všech deset M-file, které představují jednotlivé testy, téměř shoduje a liší se pouze v počtu opakování hlavního cyklu *for* (7x či 11x), názvu listu, do kterého se ukládá hodnocení a v obsahu okna s poznámkou. Je v příloze D uveden pouze jeden z těchto M-file. Ostatní M-file jsou k dispozici v elektronické podobě na přiloženém disku DVD.

```

clc

% definování proměnných

hodnoceni=zeros(2,6);
b=zeros(1,10);

% tvorba úvodní obrazovky

figure('Position',[0 0 1920 1080]); % vytvoření prázdného okna
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[445 545 610 90]);
    % vytvoření obdélníkového rámečku (dána poloha a rozměry)
text1 = uicontrol('Style','text','String','Závislost stereoskopického
    vjemu na velikosti přeslechu mezi kanály L a R','Position',
    [450 550 600 80]);
    % vytvoření textového pole (dána poloha a rozměry)
set(text1,'FontSize',25);
    % změna velikosti písma v předchozím textovém poli
text2 = uicontrol('Style','text','String','Obsah testu:','Position',
    [350 480 200 40]);
set(text2,'FontSize',25);
text3 = uicontrol('Style','text','String','    Referenční videosekvence
    ( 0 % přeslech)','Position',[580 480 630 30]);
set(text3,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text4 = uicontrol('Style','text','String','1. Hodnocená videosekvence
    ( 10 % přeslech)','Position',[580 440 630 30]);
set(text4,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text5 = uicontrol('Style','text','String','2. Hodnocená videosekvence
    ( 20 % přeslech)','Position',[580 400 630 30]);
set(text5,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text6 = uicontrol('Style','text','String','3. Hodnocená videosekvence
    ( 30 % přeslech)','Position',[580 360 630 30]);
set(text6,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text7 = uicontrol('Style','text','String','4. Hodnocená videosekvence
    ( 40 % přeslech)','Position',[580 320 630 30]);
set(text7,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text8 = uicontrol('Style','text','String','5. Hodnocená videosekvence
    ( 50 % přeslech)','Position',[580 280 630 30]);
set(text8,'FontSize',20,'HorizontalAlignment','left');
text14 = uicontrol('Style','text','String','pozn.: 3D stativ,
    pomalý pohyb, děda auto','Position',[50 80 300 20]);
set(text14,'FontSize',12,'HorizontalAlignment','left');
    % vytvoření poznámky - právě probíhající test
pause(15); % pauza - 15s doba zobrazení obsahu testu + 1s rezerva pro
    načtení videosekvence
close(1); % zavření okna

for k=0:6 % hlavní cyklus hodnocení - 7 cyklů (referenční videosekvence +
    6 testovaných)

```

```

% obrazovka mezi hodnoceními

if k==0 % podmínka "if" určuje, jaká bude vypsaná věta na hodnotícím
        monitoru během promítání videosekvence
    vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítána referenční
        videosekvence'];
    pauza=41; % pauza - 10s videosekvence startující hodnocení +
        30s zkušební videos. + 1s rezerva na načtení videos.
else
    vypis=['Na 3D Televizi(projektoru) je právě promítána hodnocená
        videosekvence číslo ',mat2str(k)];
    pauza=rychlost; % proměnná "rychlost" je definována a nastavena
        v M-file "Test_zraku.m"
end
end
figure('Position',[0 0 1920 1080]);
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[225 345 910 270]);
text1 = uicontrol('Style','text','String',vypis,'Position',
    [230 350 900 260]);
set(text1,'FontSize',50);
text00 = uicontrol('Style','frame','Position',[75 145 1210 120]);
text2 = uicontrol('Style','text','String','Nasaďte si prosím 3D brýle!',
    'Position',[80 150 1200 110]);
set(text2,'FontSize',65);

text14 = uicontrol('Style','text','String','pozn.: 3D stativ, pomalý
    pohyb, děda auto','Position',[50 80 300 20]);
set(text14,'FontSize',12,'HorizontalAlignment','left');
% vytvoření poznámky - právě probíhající test
pause(pauza);
close(1);

% hodnotící obrazovka

if k>0 % k>0 protože referenční video se nehodnotí
figure('Position',[0 0 1920 1080]);
text0= uicontrol('Style','frame','Position',[200 300 200 200]);
text00= uicontrol('Style','frame','Position',[995 545 310 110]);
text000= uicontrol('Style','frame','Position',[545 545 310 110]);
text1= uicontrol('Style','text','String',mat2cell(k),'Position',
    [210 310 180 180]);
text2= uicontrol('Style','text','String','Kvalita vizuálního
    komfortu','Position',[1000 550 300 100]);
text3= uicontrol('Style','text','String','Kvalita hloubky',
    'Position',[550 550 300 100]);
text4 = uicontrol('Style','text','String','pozn.: 3D stativ,
    pomalý pohyb, děda auto','Position',[50 80 300 20]);
set(text1,'FontSize',120);
set(text2,'FontSize',25);
set(text3,'FontSize',25);
set(text4,'FontSize',12,'HorizontalAlignment','left');
b(1)= uicontrol('Style','togglebutton','String','5 - Velice
    pohodlné','Position',[1050 450 200 80]);
b(2)= uicontrol('Style','togglebutton','String','4 - Pohodlné',
    'Position',[1050 350 200 80]);
b(3)= uicontrol('Style','togglebutton','String','3 - Slabě
    nepohodlné','Position',[1050 250 200 80]);
b(4)= uicontrol('Style','togglebutton','String','2 - Nepohodlné',
    'Position',[1050 150 200 80]);
b(5)= uicontrol('Style','togglebutton','String','1 - Silně
    nepohodlné','Position',[1050 50 200 80]);
set(b(1),'FontSize',15);

```

```

set(b(2),'FontSize',15);
set(b(3),'FontSize',15);
set(b(4),'FontSize',15);
set(b(5),'FontSize',15);
b(6)= uicontrol('Style','togglebutton','String','5 - Výborný',
    'Position',[600 450 200 80]);
b(7)= uicontrol('Style','togglebutton','String','4 - Dobrý',
    'Position',[600 350 200 80]);
b(8)= uicontrol('Style','togglebutton','String','3 - Ucházející',
    'Position',[600 250 200 80]);
b(9)= uicontrol('Style','togglebutton','String','2 - Špatný',
    'Position',[600 150 200 80]);
b(10)= uicontrol('Style','togglebutton','String','1 - Úplně zkažený',
    'Position',[600 50 200 80]);
set(b(6),'FontSize',15);
set(b(7),'FontSize',15);
set(b(8),'FontSize',15);
set(b(9),'FontSize',15);
set(b(10),'FontSize',15);
pause(21);

% vypsání varovné hlášky 10sek před koncem hodnocení

text0000= uicontrol('Style','frame','Position',[175 125 260 90]);
text4= uicontrol('Style','text','String','Do konce hodnocení zbývá
    10s! ','Position',[180 130 250 80]);
set(text4,'FontSize',20,'BackgroundColor','r');

% načítání hodnocení po uplynutí doby 30 (20+10) sekund

pause(10);
hod1=0; hod2=0; % počáteční vynulování
for i=1:5
    hod1=get(b(i),'Value');
    if hod1==1
        hodnoceni(2,k)=i; % Kvalita vizuálního komfortu
    end
    hod2=get(b(i+5),'Value');
    if hod2==1
        hodnoceni(1,k)=i; % Kvalita hloubky
    end
end
close(1);
end
end

% poděkování za hodnocení

figure('Position',[0 0 1920 1080]);
text0 = uicontrol('Style','frame','Position',[225 405 910 120]);
text1 = uicontrol('Style','text','String','Děkuji za vaše hodnocení',
    'Position',[230 410 900 110]);
set(text1,'FontSize',50);

% zapsání hodnoceni do sešitu aplikace MS Excel (do složky se jménem uživa-
tele)

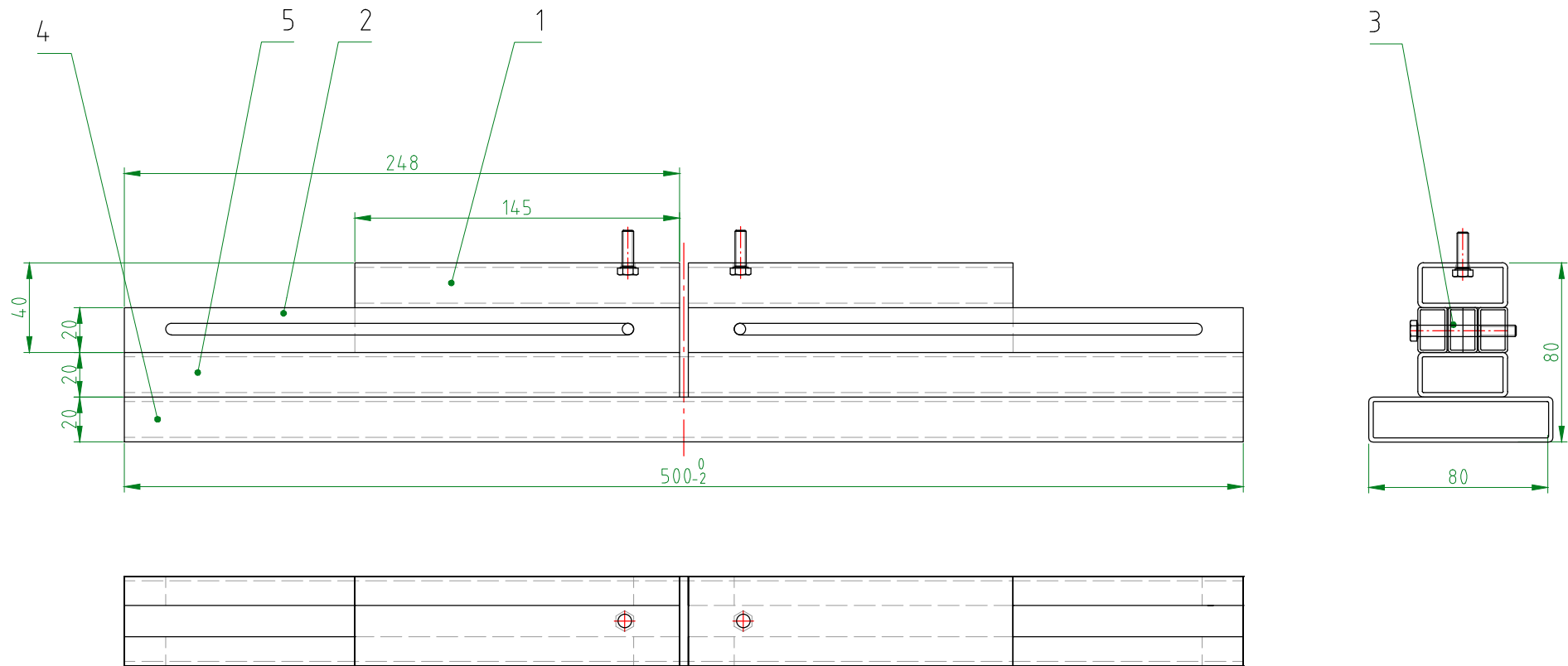
file = xlswrite([pwd,'\','cell2mat(jmeno(1)),'\1.Přeslechy.xls'],
    cellstr('Jméno a Příjmení'),'1. Pomalý pohyb,auto');
file = xlswrite([pwd,'\','cell2mat(jmeno(1)),'\1.Přeslechy.xls'],
    cellstr('Věk'),'1. Pomalý pohyb,auto','B1:B1');

```

```
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    cellstr('Znalost stereoskopie'), '1. Pomalý pohyb, auto', 'C1:C1');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    jmeno(1), '1. Pomalý pohyb, auto', 'A2:A2');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    jmeno(2), '1. Pomalý pohyb, auto', 'B2:B2');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    jmeno(3), '1. Pomalý pohyb, auto', 'C2:C2');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    cellstr('Kvalita hloubky'), '1. Pomalý pohyb, auto', 'A3:A3');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    cellstr('Kvalita vizuálního komfortu'), '1. Pomalý pohyb,
    auto', 'A4:A4');
file = xlswrite([pwd, '\', cell2mat(jmeno(1)), '\1.Přeslechy.xls'],
    hodnoceni, '1. Pomalý pohyb, auto', 'B3:G4');

pause(7); % 7s zobrazení děkovací obrazovky
close(1);

% konec
```



- Poz. 5 248x20x40 AlMgSi0,5F22 2ks
- Poz. 4 500x20x40 AlMgSi0,5F22 1ks
- Poz. 3 145x20x13 AlMgSi0,5F22 2ks
- Poz. 2 248x20x13 AlMgSi0,5F22 4ks
- Poz. 1 145x40x40 AlMgSi0,5F22 2ks

 FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ZÁPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI KAE	PROMÍTÁNÍ	MÉŘÍTKO	CELK.HMOTNOST	ZMĚNA 1	
	KRESLIL	M.ŠINDELÁŘ	DATUM	7.3.2013	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
	TECH.REFERENT	Z.HOLÉČEK	DATUM		ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
	SCHVÁLIL	SCHVÁLIL	DATUM		TYP DOKUMENTU PŘÍLOHA-E
	NÁZEV	STEREO-STATIV		ISO 16016	ČÍSLO VÝKRESU 732013
					LISTŮ/LIST 1/1

Příloha F – DVD

