



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky

Konfigurace stereoskopického systému

Stereoscopic system configuration

Diplomová práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Multimediální technika

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Vitek, Ph.D.

Bc. Dominik Vozák

Praha 2014

Prohlášení

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

V Praze dne 5. května 2014

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Stanislavu Vítkovi, Ph.D. za jeho odborné rady. Děkuji svým blízkým za toleranci, morální a finanční podporu během mého studia.

Abstract

In this work there is the study of sensing stereoscopic scene methods. The whole issue has been described in detail, including all the needed parameters. Test sequences have been made on the base of studies to evaluate the effect of the stereoscopic system configuration. Qualitative evaluation was carried out by means of subjective tests. Based on the results we are able to adjust the stereo system for convenient visual experience of the viewer.

Keywords

stereoscopy, binocular vision, parallax, stereoscopic base, stereoscopic window

Abstrakt

V této práci se nachází studie metod snímání stereoskopické scény. Celá problematika byla podrobně popsána včetně všech potřebných parametrů. Na základě studie byly vytvořeny testovací videosekvence zaměřené na vyhodnocení vlivu konfigurace stereoskopického systému. Kvalitativní vyhodnocení bylo provedeno formou subjektivních testů. Díky výsledkům jsme schopni nastavit stereoskopický systém pro pohodlný vizuální zážitek diváka.

Klíčová slova

stereoskopie, binokulární vidění, paralaxa, stereoskopická báze, stereoskopické okno

Obsah

Úvod	9
1 Stereoskopie	11
1.1 Human visual system (HVS).....	11
1.2 Binokulární vidění.....	13
1.3 Lidské vnímání hloubky.....	14
1.3.1 Monokulární vnímání hloubky	14
1.3.2 Binokulární vnímání hloubky.....	16
1.4 Paralaxa	17
2 Metodika snímání stereoskopické scény	19
2.1 Základní pojmy snímání.....	19
2.1.1 Stereoskopická báze	19
2.1.2 Pravidlo 1/30	21
2.1.3 Hloubka ostrosti.....	21
2.1.4 Stereoskopické okno.....	22
2.1.5 Stereo Comfort Zone	26
2.1.6 Depth Budget.....	27
2.1.7 Depth Script, Depth Chart	30
2.2 Technické prostředky	31
2.2.1 Side by Side	32
2.2.2 Beam Splitter	33
2.3 Metody snímání.....	34
2.3.1 Paralelní metoda	34
2.3.2 Toe-in metoda.....	36
2.3.3 Off-axis metoda	38
2.4 Výpočet stereoskopické báze	39

2.4.1	Metoda 1	39
2.4.2	Metoda 2	43
2.5	Stereoskopické chyby	46
2.5.1	Cardboard Effect:	47
2.5.2	Puppet Theater Effect	48
2.5.3	Crosstalk	48
3	Tvorba stereoskopického obsahu	49
3.1	Potřebné nástroje	49
3.2	Příprava scén	50
3.3	Subjektivní hodnocení scén	52
3.4	Vyhodnocení	54
	Závěr	63
	Reference	65
	Přílohy	72
4.1	Ukázka subjektivního dotazníku	73
4.2	Tabulky výsledků subjektivního hodnocení	75
4.3	Stereoskopické chyby	80
4.4	Ukázka vytvořeného kalkulátoru stereoskopické báze	81
4.5	Obrázky pořízené během snímání a hodnocení	82
4.6	Obsah přiloženého CD	83

Seznam obrázků

Obr. 1 - Řez okem [O1].....	11
Obr. 2 - Hustota rozložení receptorů	12
Obr. 3 - Vnímání hloubky monokulárně.....	15
Obr. 4 - Druhy paralaxy podle zobrazení předmětu	18
Obr. 5 - Změna stereoskopické báze	20
Obr. 6 - Porušení stereoskopického okna	23
Obr. 7 - Dynamic floating window.....	24
Obr. 8 - Umístění SW na základě metody snímání [O2]	25
Obr. 9 - Comfort Zone.....	26
Obr. 10 - Depth Budget	27
Obr. 11 - Změna paralaxy v závislosti na velikosti plátna [O3]	29
Obr. 12 - Depth Script [O4].....	30
Obr. 13 - Side by Side Rig [O5]	32
Obr. 14 - Beam Splitter Rig [O6]	33
Obr. 15 - Paralelní zapojení kamer.....	35
Obr. 16 - Zapojení kamer Toe-in metodou	37
Obr. 17 - Vertikální paralaxa.....	37
Obr. 18 - Off axis metoda.....	38
Obr. 19 - Deviace na senzoru	40
Obr. 20 - Zobrazovací a snímací rovina pro výpočet báze	43
Obr. 21 - Schéma testovacího pracoviště	53
Obr. 22 - Vyhodnocení 1. skupiny snímků.....	56
Obr. 23 - Vyhodnocení 2. skupiny snímků.....	57
Obr. 24 - Vyhodnocení 3. skupiny snímků.....	58
Obr. 25 - Vyhodnocení 4. skupiny snímků.....	59
Obr. 26 - Vyhodnocení 5. skupiny snímků.....	60
Obr. 27 - Vyhodnocení 6. skupiny snímků.....	61
Obr. 28 - Vyhodnocení 7. skupiny snímků.....	62

Úvod

Technologie 3D je dnes těsně za svým vrcholem. Spousta milovníků filmové produkce dnes vlastní ve svých domácnostech televizní zařízení, které je schopno reprodukovat 3D technologii. Dokonce se na trhu vyskytuje množství produktů označovaných jako 3D. Základem je technologie zvaná stereoskopie, díky které jsme schopni navodit prostorový vjem prostřednictvím dvourozměrného obrazu. V běžném životě jsme schopni vnímat očima systém složený právě ze tří souřadnic, proto je o tyto technologie značný zájem. Stereoskopická technika měla pozitivní dopad na mnoho odvětví průmyslu a dnes je využívána v řadě aplikací. Příkladem může být strojírenství, kde se využívá ke snímání výrobků, měření vzdálenosti předmětu nebo dokonce k určení jeho pozice v prostoru. Největší úspěch má 3D technologie v zábavním průmyslu. V roce 2009 způsobila revoluci premiéra filmu AVATAR od Jamese Camerona. Často se 3D technologie dělí na období před a po tomto filmu. Zmíněný filmový trhák způsobil rozsáhlou digitalizaci kin, a proto téměř ve všech kinech máme možnost si 3D zážitek prožít na vlastní oči. Navzdory všem pozitivním přínosům, které tato technologie přináší, se mohou vyskytovat také negativa. Zpravidla se tento jev projevuje na vnímání osoby pozorující nekvalitní stereoskopický snímek. Mnoho lidí tuto technologii nesnese ze zdravotních nebo kvalitativních důvodů. Vytvořit si vlastní stereo snímek není nic obtížného, avšak kvalita jeho provedení není mnohdy dostačující a má fatální následky na vizuální pohodlí diváka. Při pozorování špatně připraveného stereoskopického obsahu může docházet k bolestem očí, hlavy nebo dokonce až k nevolnosti pozorovatele. Je potřeba si objasnit základní principy vytváření stereoskopického obsahu.

Práce je členěna do tří hlavních kapitol. První část je zaměřena na teorii, která je potřebná k pochopení celé problematiky. Jelikož 3D vzniká díky našemu mozku, je potřeba objasnit základní fyziologický i psychologický princip vytvoření stereoskopického vjemu. Druhá kapitola se zabývá kompletní studií metod snímání. Při snímání je nutné brát v potaz více faktorů. Mimo používané odborné pojmy, se musí zvážit také technické možnosti dnešní doby. Existuje několik metod snímání a každá má své výhody a nevýhody, které jsou v práci uvedeny. Stereoskopický materiál může ovlivnit řada chyb. Většinu problémů lze předejít již při samotném snímání, popřípadě je eliminovat. Třetí kapitola je věnována vlastní přípravě stereoskopického obsahu. Na základě získaných informací byly připraveny scény, ve kterých se experimentovalo s konfigurací systému. Z vybraných snímků se vytvořily testovací sekvence, které se lišily změnou nastavení. Vzhledem k tomu, že je stereoskopický vjem velmi subjektivní, bylo nutné provést vyhodnocení scén pomocí

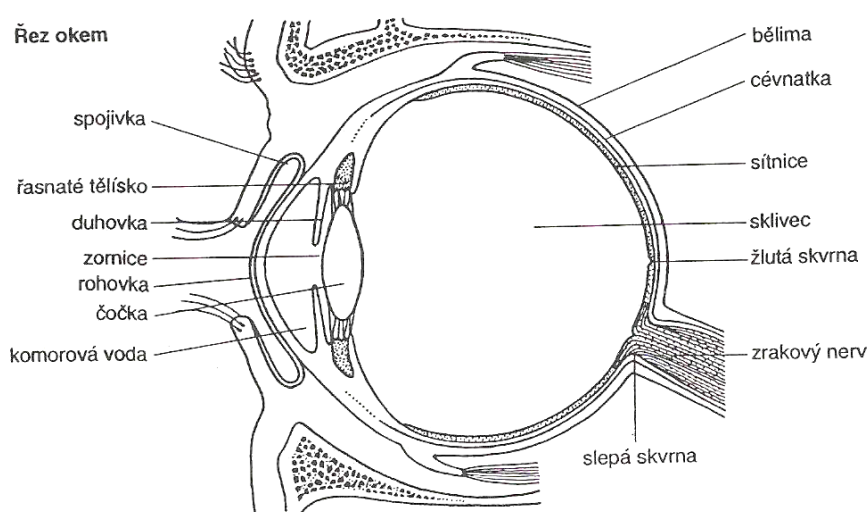
skupiny pozorovatelů. V závěru třetí kapitoly byly statisticky vyhodnoceny subjektivní testy, které sloužily k ověření teoretických předpokladů.

Hlavním cílem této práce je studie metod snímání stereoskopické scény. Při snímání se musí prozkoumat parametry, které mohou mít vliv na výslednou kvalitu obrazu. Mezi ně patří například velikost stereoskopické báze, konvergence nebo divergence optických os kamer, umístění stereoskopického okna, hloubka ostroty, časová synchronizace, umístění objektů ve scéně a mnoho dalších. Všechny parametry jsou v této práci podrobně popsány a je vysvětlen jejich vliv na kvalitu snímku. Na základě studie metod snímání jsou vytvořeny testovací sekvence, které hodnotila skupina pozorovatelů.

1 Stereoskopie

1.1 Human visual system (HVS)

Pomocí zraku, jednoho z nejdůležitějších smyslů člověka, jsme schopni získávat až 80 % informací ze svého okolí. Jeho základním smyslovým orgánem je oko. Oko je velmi složitý orgán složený z mnoha jednotlivých částí, které musí dokonale spolupracovat. Můžeme je vidět na následujícím *obr.1.*



Obr. 1 - Řez okem [O1]

Světlo dopadající do oka musí nejprve projít rohovkou, což je kopulovitě zakřivená čirá tkáň bez cév. Rohovka představuje čočku s neměnnou polohou, tvarem a pevným ohniskem. Má značnou optickou mohutnost (kolem 43 dioptrií) a její základní funkcí je lom světla.

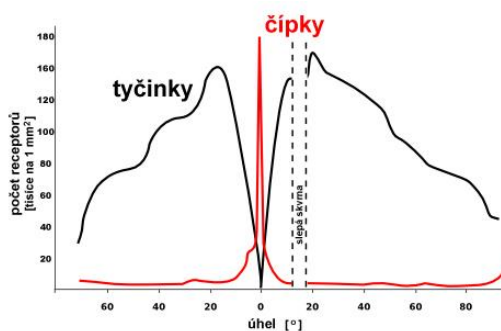
Pod rohovkou se nachází duhovka obsahující kruhová a radiální hladká svalová vlákna, která zužují nebo rozšiřují zornici na základě intenzity osvětlení. Při velké intenzitě světla dojde ke stažení duhovky. Zornice se značně zmenší a následkem toho projde na sítnici menší množství světla. Při špatném osvětlení (v šeru) se duhovka chová inverzně. Barva očí člověka je zpravidla určena podle barvy duhovky, která má silnou pigmentaci.

Prostor mezi rohovkou a duhovkou vyplňuje hustá tělní tekutina zvaná komorová voda. Její hlavní funkcí je zachovávat nitrooční tlak, čistit rohovku a udržovat ji bez choroboplodných zárodků.

Za duhovkou se nachází, ve srovnání s rohovkou, pružnější čočka, která dokáže měnit svůj tvar a tím i sílu lomu. Následkem toho jsme schopni vidět vzdálené i blízké předměty ostře. Tato schopnost se nazývá akomodace. Oční čočka je zavěšena na vláknech zonuly [1]. Při pohledu do dálky se tato vlákna napínají (akomodace na dálku) a tím se čočka oploští. Naopak při pohledu na bližší vzdálenost (akomodace na blízko) se vlákna kontrakcí ciliárního svalu uvolní a čočka nabývá v důsledku své pružnosti opět svého původního tvaru [2].

Po průchodu touto čočkou světlo vstupuje do vnitřní dutiny vyplněné sklivcem a pokračuje až na sítnici. Sítnice pokrývá celou vnitřní stěnu až k okraji duhovky. Jedinou výjimku tvoří místo, nazývané se slepá skvrna, kde zrakový nerv opouští bulbus. Sítnice patří mezi nejsložitější vrstvu oka. Je zodpovědná za to, jakým způsobem vidíme. Poškození sítnice má pro vidění katastrofální následky.

Na sítnici se vyskytují světločivné receptory - tyčinky (přibližně 120 mil) a čípky (asi 6 mil). Jejich rozmístění, které můžeme vidět na *obr.2*, má značný vliv na vnímání barev. Nejcitlivější místo sítnice se nazývá fovea. Nachází se v oblasti, která je díky pigmentu známá jako žlutá skvrna. Je to místo nejostřejšího vidění, kde se nevyskytují žádné tyčinky. Ty jsou nejvíce nahromaděny v okolí fovey. Počet čípků postupně ubývá směrem k perifériím. Nejméně citlivé místo, slepá skvrna, neobsahuje žádné receptory. Díky čípkům, které slouží k vidění detailů při jasném osvětlení, můžeme pozorovat barevnou informaci. Tento děj je označován jako fotopické vidění. Citlivější tyčinky umožňují černobílé vidění. Při špatném osvětlení je vysoká citlivost provázána ztrátou zrakové ostrosti. V případě tyčinek jde o vidění skotopické [3].



Obr. 2 - Hustota rozložení receptorů

Ve světločivných receptorech jsou obsažena zraková barviva (pigmenty) absorbující světlo. Vyskytuje se zde také řada enzymů a signálních molekul, které zprostředkovávají přeměnu světelného podnětu na elektrickou stimulaci sensorů. Tyčinky obsahují zrakový pigment zvaný rodopsin. Rodopsin se při dopadu světla, které vyvolá fotochemickou reakci, následně rozkládá a přeměňuje na jiné látky [2]. V očním nervu vznikne akční potenciál. Vzruch je pak veden zrakovým nervem do centra mozku, kde dojde k výslednému poskládání obrazu.

1.2 Binokulární vidění

Díky oběma očím jsme schopni koordinované senzomotorické činnosti označované jako jednoduché binokulární vidění (JBV) [4]. Ta nám zajišťuje vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu, který vidíme díky spojení levého a pravého obrazu oka v jeden zrakový vjem. JBV není vrozené a vyvíjí se od narození až do jednoho roku dítěte. Poté následuje proces upevnění a stabilizace. Vývoj JBV je u člověka správný pouze v případě, že jsou splněny všechny podmínky motorické a sensorické složky [5]. Podle Wortha rozdělujeme jednoduché binokulární vidění na tři stupně: [6][7]

Simultánní percepce (současné vidění) je schopnost vnímat současně sítnicemi obou očí a spojit tuto informaci superpozicí v jeden vjem [1]. Obrazy mohou být stejné, ale také odlišné. Pomocí svých očí jsme schopni překrýt dva nestejně obrázky.

Dalším stupněm JBV je **fúze**. Jde o schopnost spojit stejné obrazy pravého a levého oka v jeden smyslový vjem. Fúze se rozděluje na sensorickou a motorickou. Sensorická fúze vzniká bez pohybu očí a představuje psychický a fyziologický děj. Jde o spojení dvou monokulárních vjemů v jeden zrakový. Motorická fúze řídí osy obou očí tak, aby došlo k protnutí na fixovaném předmětu a zabránilo se tak vzniku diplopie [8].

Stereopse je nejvyšší stupeň JBV. Je to schopnost spojit lehce posunuté obrazy levého a pravého oka v jeden hloubkový vjem. Při pozorování se snažíme, aby se obraz jevil v místě nejostřejšího vidění (fovea). Všechna místa, která mají stejnou vzdálenost od fovey, se nazývají korespondující místa sítnice. Příčinou zmíněného posunutí obrazů je, že nedopadají na korespondující, ale na takzvaná disparitní místa na sítnici (nekorespondující). Stereopse (prostorové vidění) tedy umožňuje relativní lokalizaci viděných předmětů v trojrozměrném prostoru a podmínkou jejího vzniku je JBV (schopnost sensorické fúze) [1][9].

1.3 Lidské vnímání hloubky

Základní představu o hloubce scény získáváme prostřednictvím schopnosti pozorovat scénu ze dvou rozdílných bodů. Hloubku scény můžeme vnímat dokonce i jedním okem. Díky tomu můžeme rozdělit vjem hloubky prostoru na dvě skupiny. Při pozorování pouze jedním okem jde o monokulární vnímání a při použití obou očí hovoříme o binokulárním vnímání [10].

1.3.1 Monokulární vnímání hloubky

Díky psychologickým jevům doprovázejících vnímání může hloubku scény vnímat také jednooký člověk. Na základě zkušeností je každý člověk schopen získávat poznatky z okolního světa už od svého narození.

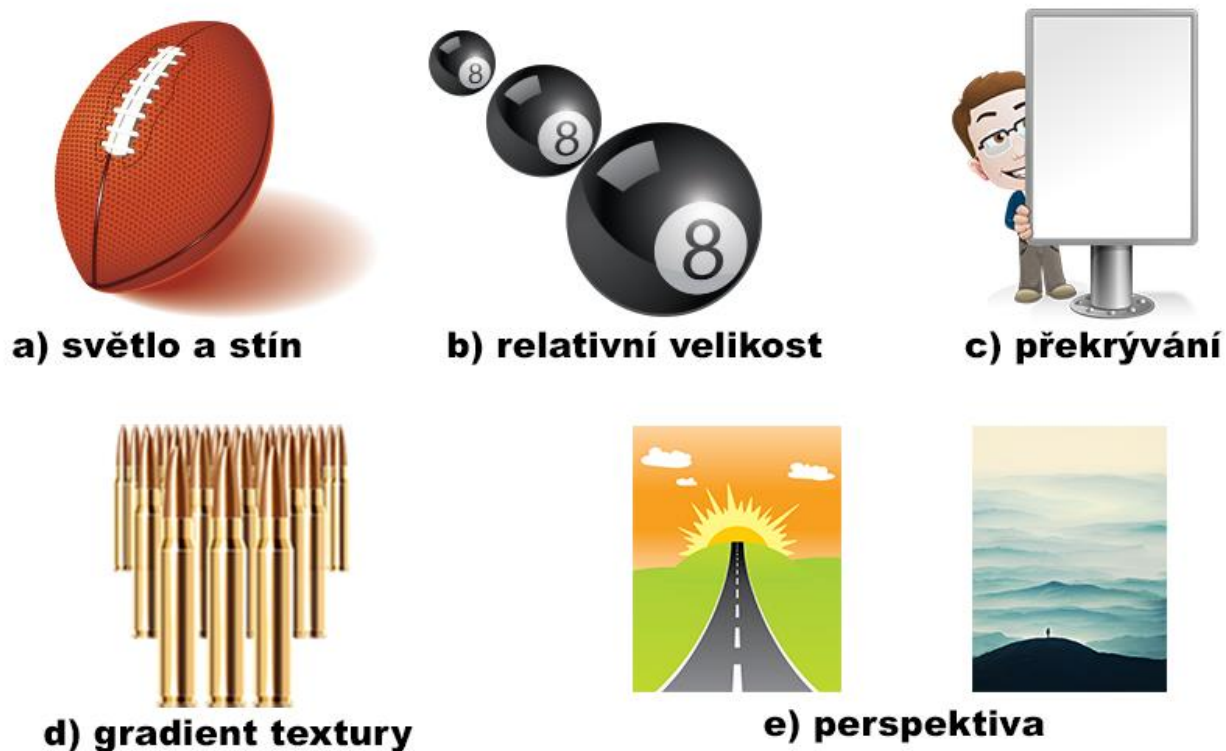
Jednou ze základních vlastností při určování hloubky scény je **světlo a stín**. Polohu předmětu v prostoru můžeme snadno určit pomocí stínu, který daný předmět vrhá. I z psychologického hlediska se jeví světlejší předměty více v popředí proti tmavším. (*obr.3a*)

Relativní velikost vychází ze vzdálenosti předmětu. V případě porovnávání dvou totožných předmětů, se předmět v blízkosti pozorovatele bude jevit vždy větší než ten vzdálenější. Názorná ukázka v podobě kulečnickových koulí je viditelná na *obr.3b*.

Překrývání předmětů, někdy také označované jako okluze, má opět vliv na vnímání hloubky. Velmi patrné je to z *obr.3c*. Tabule překrývá část těla člověka, z čehož vyplývá, že se člověk nachází v pozadí tabule.

Již malíři v období renesance používali techniku, která mění hustotu zkraslení textury s rostoucí vzdáleností předmětu. Značí se jako **gradient textury**. Můžeme ho pozorovat například na objektech, jejichž textura má opakující se vzor. Takovéto objekty se jeví směrem k horizontu zmenšeně. Na *obr.3d* je znázorněno, že nábojnice v popředí jsou větší a detailnější ve srovnání se vzdálenějšími.

Základem vnímání hloubky je **perspektiva** (*obr.3e*). Můžeme ji rozdělit na několik druhů. Při geometrické perspektivě se využívá středového promítání, kde se směrem k horizontu objekty zužují a sbíhají do jednoho bodu. Zde si můžeme představit dlouhou rovnou cestu. Při vzdušné perspektivě se projevuje vzduch, neboli nedokonale průhledné prostředí, proto se vzdálenější objekty jeví méně kontrastní a rozostřené s nádechem do modrošeda.



Obr. 3 - Vnímání hloubky monokulárně

Pohybová Paralaxa (Motion Parallax) [7] je spojena s pohybujícími se obrazy na sítnici pozorovatele. Rychlost pohybu obrazu na sítnici závisí na relativní vzdálenosti předmětu, který pozorujeme [11]. Obrazy objektů nacházejících se blíže k pozorovateli se pohybují na sítnici rychleji než ty ve větší vzdálenosti. Tento jev se dá nejlépe vysvětlit na příkladu pozorovatele jedoucího autem. Pokud pozorovatel při pohledu z okénka sleduje okolní prostředí, tak se mu zdá, že se stromy podél trati pohybují velkou rychlostí v protisměru. Zatímco pohyb skalisek ve velké vzdálenosti se jeví jako velmi pomalý a dokonce ve stejném směru. Na základě těchto zkušeností jsme schopni, pomocí pohybové paralaxy, navodit hloubkový vjem.

1.3.2 Binokulární vnímání hloubky

Své okolí jsme schopni pozorovat pomocí obou očí, a proto se toto vnímání nazývá binokulární. Jelikož jde o vrozené vjemy, můžeme ho označit také jako fyziologické. Náš zrakový orgán je schopen se přizpůsobit různým podmínkám, které budou nyní ve zkratce uvedeny.

Přizpůsobení neboli **akomodace** byla popsána podrobněji již v kapitole 1.1- HVS. Schopnost oka ostřit je u všech jedinců rozdílná a nejmenší vzdálenost k ostření je přibližně 10 cm. S rostoucím věkem se fyzický stav člověka mění a následně ovlivňuje akomodaci oka.

Binokulární disparita je horizontální vzdálenost mezi korespondujícími body na sítnicích pozorovatele. Jelikož jsou naše oči od sebe vzdáleny přibližně 6,5 cm (interokulární vzdálenost), vytvoří se dva mírně posunutá obrazy, které jsou příčinou binokulární disparity. Blízké předměty způsobují větší disparitu než vzdálenější. Binokulární disparita může způsobit konvergenci nebo divergenci očí [7].

Konvergence očí je automatický reflex, který je velmi úzce spjat s akomodací [12]. Cílem konvergence je, aby se osy očí sbíhaly na blízkém předmětu. Tedy jde o rotaci zrakových orgánů směrem dovnitř. Úhel konvergence se mění se vzdáleností předmětu od pozorovatele. Pokud se osy očí natačejí směrem od sebe, jedná se o nežádoucí reflex označovaný jako divergence.

1.4 Paralaxa

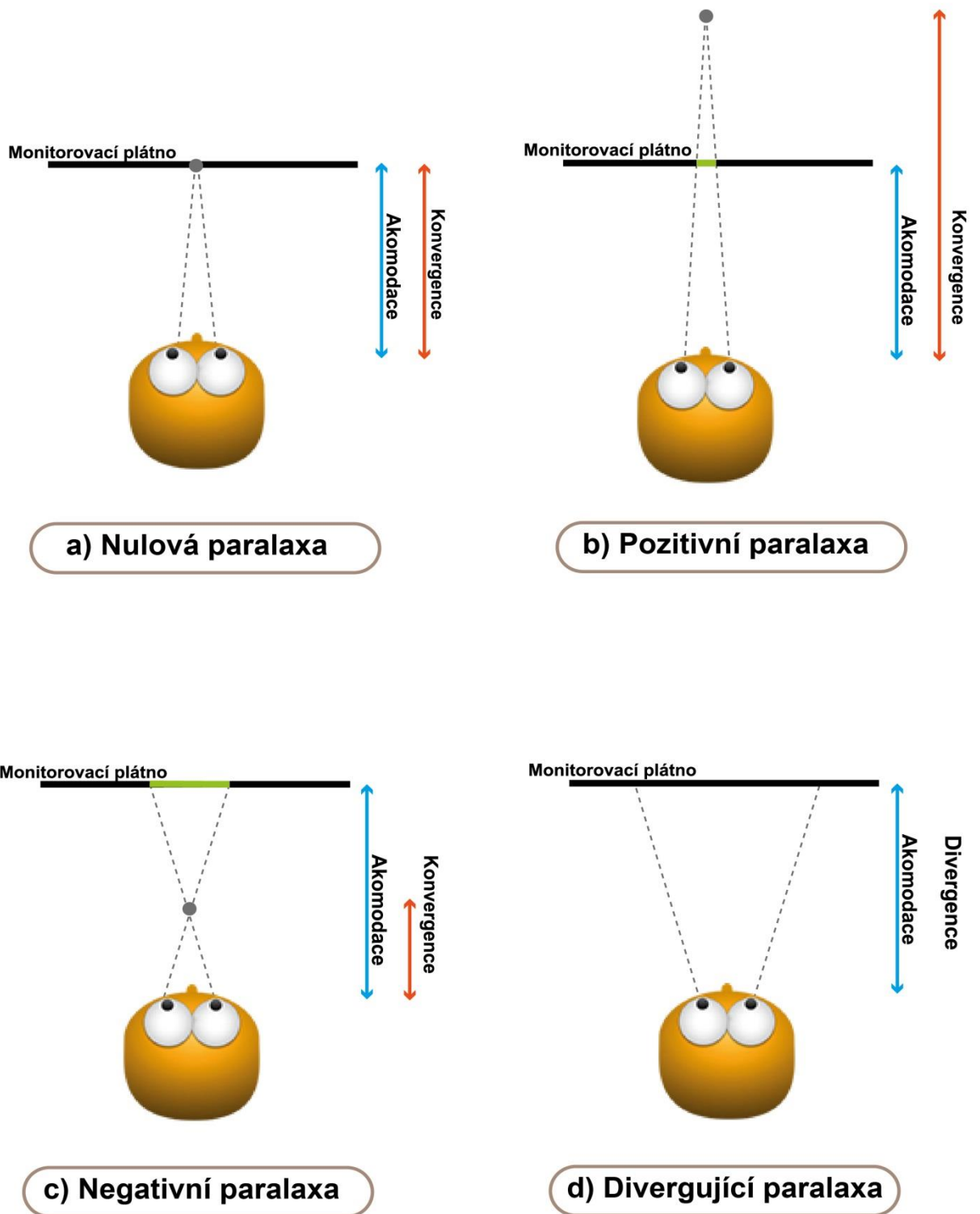
Paralaxa je obdobný parametr jako dříve zmíněná disparita. Je to vzdálenost mezi obrazem bodu pro levé a pravé oko. Rozdíl mezi paralaxou a disparitou je v místě měření. Zatímco disparita se určuje na sítnici, paralaxa je měřena na projekční rovině. Podle různých kritérií můžeme určit několik druhů paralax. Například na základě směru měření určujeme 2 základní paralaxy. Parametr udávající vzdálenost shodných bodů na plátně v ose x se nazývá horizontální paralaxa. Vertikální paralaxu určíme při měření vzdálenosti ve směru osy y. Jakékoliv změny tohoto nastavení mají vliv na výsledný stereoskopický efekt. Podle zobrazení předmětu můžeme rozlišit čtyři druhy paralaxy.

Pokud se optické osy očí střetnou na projekčním plátně, vzniká **nulová paralaxa**. Obraz bodu, na který oči ostří, se promítne na sítnici pro levé i pravé oko shodně. Klasického dvourozměrného obrazu bychom dosáhli v případě, že by všechny předměty ve scéně měly nulovou paralaxu. Díky tomuto nastavení by byly naše oči nejméně namáhány. Z následujícího obrázku je možné vidět, že oči konvergují i akomodují na stejnou vzdálenost, konkrétně na monitorovací plátno. Tato varianta je pro náš zrakový orgán nejpřirozenější. (*obr.4a*)

Pozitivní paralaxu můžeme naměřit v případě, že se optické osy očí budou protínat ve větší vzdálenosti, než se nachází projekční rovina. Následkem toho se bude námi pozorovaný objekt jevit za projekčním plátnem. Pozitivní paralaxa je vzdálenost dvou bodů, které vzniknou protnutím optických os očí a projekční roviny. Teoreticky by maximální pozitivní paralaxa nastala, pokud by nedocházelo ke konvergenci očí a osy by směřovaly rovnoběžně. Velikost maximální pozitivní paralaxy by byla rovna interokulární vzdálenosti. (*obr.4b*)

Situace, kdy se optické osy očí protínají před projekční rovinou, vyvolá **negativní paralaxu**. Její velikost se měří obdobně jako u pozitivní paralaxy, tedy na projekčním plátně. Při negativní paralaxě se pozorovaný objekt jeví, jako kdyby vystupoval před projekční plátno [13]. Při velikosti negativní paralaxy rovné vzdálenosti očí se objekt zobrazí v polovině vzdálenosti pozorovatele a projekční plochy. (*obr.4c*)

Činnost, při níž se optické osy očí od sebe vzdalují, vyvolá **divergující paralaxu**. Tento parametr má velmi negativní vliv na lidské vnímání, jelikož naše oči nejsou na tento pohyb zvyklé, a proto způsobuje oční bolesti. Oči by měly tendenci divergovat, pokud by se bod konvergence nacházel prostoru za nimi. Naštěstí k tomuto jevu běžně nedochází. (*obr.4d*)



Obr. 4 - Druhy paralaxy podle zobrazení předmětu

2 Metodika snímání stereoskopické scény

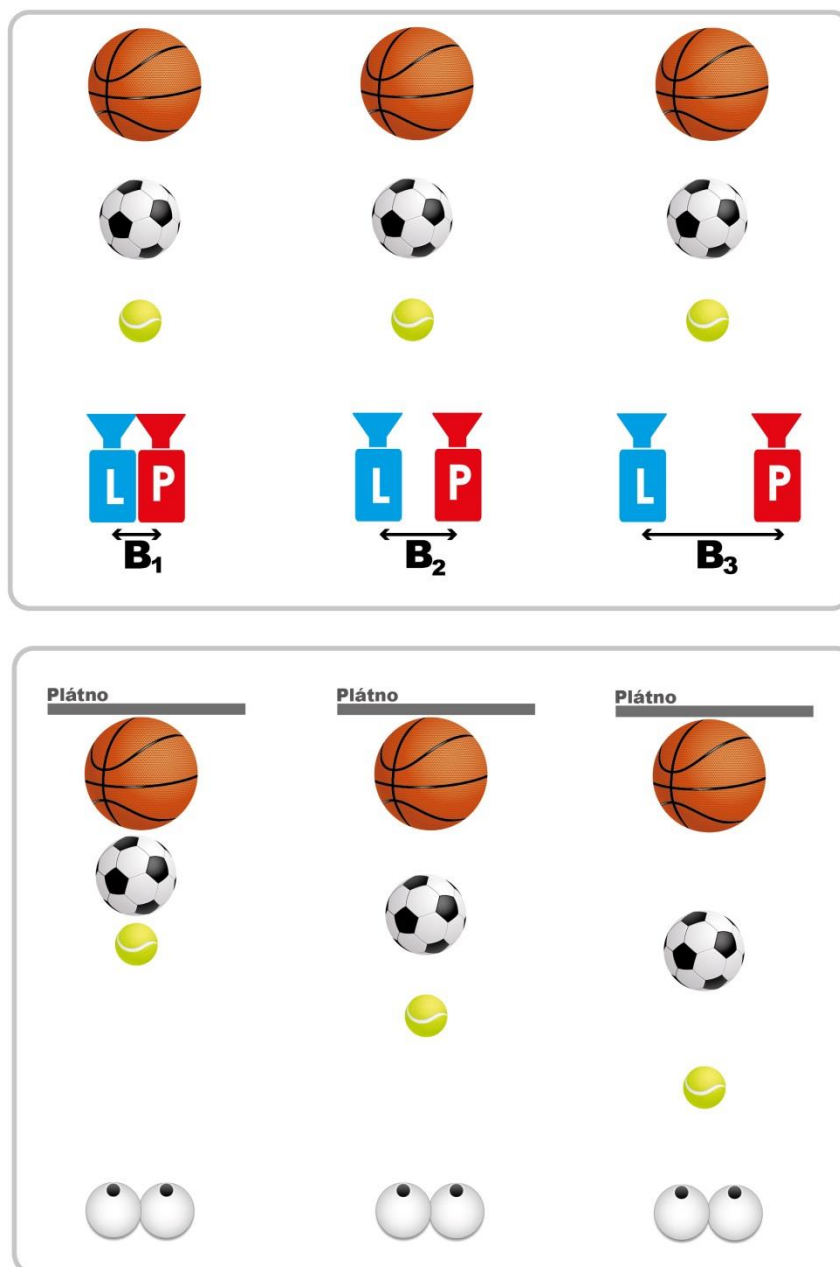
Celá druhá kapitola se zabývá kompletní studií metod snímání stereoskopické scény. Existuje několik variant jak správně nachystat a následně nasnímat požadovanou scénu. Mnohdy je však potřeba k této problematice přistupovat nejen z technického hlediska. Abychom mohli podrobněji rozebrat celé téma, je nutné uvést několik základních pojmů. Tímto se zabývá kapitola 2.1. Po obeznámení s pojmy je podstatné si ukázat, jaké jsou v dnešní době technické možnosti. V kapitole 2.2 se dočteme, jaké konstrukce se dnes vyrábí a nastíníme si jejich výhody a nevýhody. Kapitola 2.4 je věnována postupu výpočtu stereoskopické báze, kde byly pro srovnání uvedeny 2 způsoby. Sdělíme si také jednotlivé metody natáčení, které nám umožní předejít komplikacím, které mohou být způsobeny chybami vyskytujícími se při snímání. Základní chyby, na které si musíme dávat pozor a případný postup jejich korekce, si ukážeme v závěru kapitoly 2.5.

2.1 Základní pojmy snímání

2.1.1 Stereoskopická báze

Základním parametrem při snímání stereoskopického videa je stereoskopická báze. Udává se jako vzdálenost mezi středy objektivů snímacích kamer (interaxiální vzdálenost). Nastavení velikosti stereoskopické báze vychází z rozestupu očí člověka, který je u dospělého muže přibližně 65 mm. Nastavením báze na interokulární vzdálenost se simuluje napodobení skutečného pohledu. Tento efekt je označován jako ortho-stereoskopie. Při tomto druhu stereoskopie jsou objekty v přesné velikosti a vzdálenosti jako při klasickém pozorování [14]. Velikost báze reguluje sílu 3D efektu, proto dochází k modifikaci báze a tím i změně hloubkového vjemu. Názorný příklad je vidět na následujícím obr.5. V horní části obrázku se nachází způsob pořizování záznamu scény s volitelnou stereoskopickou bází. Je patrné, že nejmenší báze je B1 a největší B3. Ve spodní části snímku je pak ukázka, jak se jeví takto nasnímané scény divákovi. Můžeme pozorovat, že s rostoucí velikostí báze narůstá i hloubka (prostorovost) scény. Nastavení velikosti báze se řídí podle umělecky-technického rozhodnutí, které je ovlivněno řadou dalších parametrů, jako je například volba objektivů kamer, formát média a požadovaný 3D efekt. Pokud nastavíme interaxiální vzdálenost na hodnotu menší než je interokulární vzdálenost, tak se výsledný objekt jeví zvětšeně. Této hypo-stereo techniky se využívá pro filmy, určené k promítání na velkém plátně v kině. Důvodem je efekt umocnění velikosti jednotlivých objektů ve scéně [15]. Hyper-stereoskopie je

opakem, kdy se snímá při větší vzdálenosti kamer než zmíněných 65 mm. Výsledný objekt má poté větší hloubku a může se jevit menší než ve skutečnosti [16]. Při snímání gigantických předmětů tak může docházet k efektu označovanému jako miniaturismus.



Obr. 5 - Změna stereoskopické báze

2.1.2 Pravidlo 1/30

Pravidlo označované jako 1/30 je ve světě používáno stereography již několik desetiletí. Je to jednoduchá pomůcka pro nastavení stereoskopické báze při snímání stereo snímku. Pravidlo říká, že separace kamer by neměla být větší než 1/30 vzdálenosti k nejbližšímu předmětu. Toto pravidlo popsal B. Mendiburu ve své knize [17]. Z pravidla vyplývá, že pro přijatelný stereoskopický snímek musí být vzdálenost k nejbližšímu bodu ve scéně, pro kamery s rozestupem 6,5 cm, nejméně 2 metry. V případě ortho-stereoskopického snímání to znamená, že se předmět nemůže nikdy nacházet blíže než zmíněné 2 metry. Pravidlo má však svá další omezení [18] a využívá se pouze pro scény určené k promítání na malé obrazovce o šířce maximálně 40 palců.

2.1.3 Hloubka ostrosti

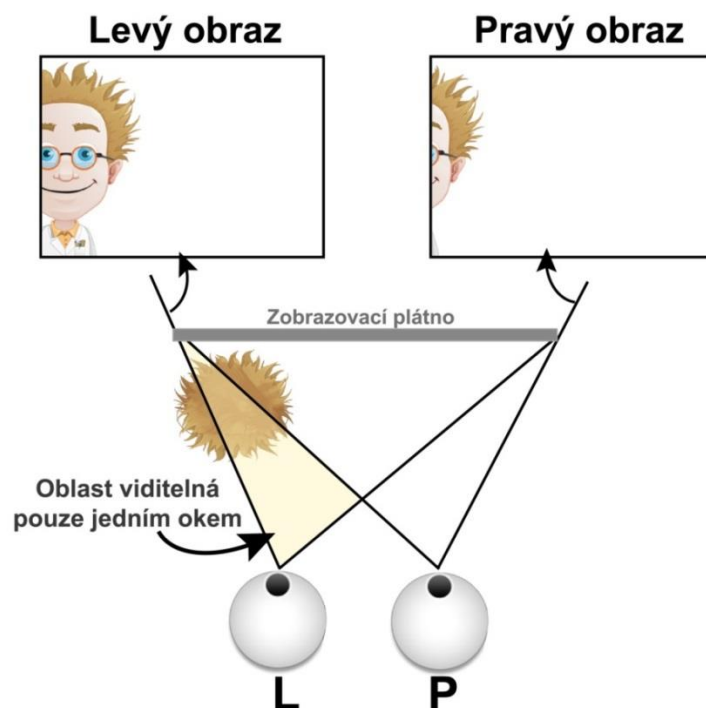
Hloubku ostrosti (DOF) můžeme definovat jako vzdálenost mezi nejbližším a nejvzdálenějším bodem, který se jeví lidskému oku ostře. Při snímání jsme schopni prostřednictvím ostrosti vnutit pozorovateli určitou oblast scény, kterou chceme, aby pozoroval. Zaostřený předmět na obrazovce dokáže přitáhnout pozornost očí daleko více než předmět rozmazaný. Avšak při pozorování stereoskopického materiálu může mít scéna s malou hloubkou ostrosti negativní vliv na vnímání pozorovatele. Při snímání s malou DOF, se na snímku nachází ostrá pouze jeho malá část a vše ostatní je rozmazané. Při stereoskopickém záznamu se snažíme o snímání s větší hloubkou ostrosti. DOF, jakožto parametr objektivu kamery, je závislá na ohniskové vzdálenosti. Větší DOF jsme schopni dosáhnout pomocí objektivů s menší ohniskovou vzdáleností. Při snímání stereo obrazu jsou širokoúhlé objektivy ve srovnání s teleobjektivy ve výhodě. Velký vliv na DOF má clona objektivu. Clonu si lze představit jako irisový kroužek, který svým zavřením a otevřením ovlivňuje prostup světla do objektivu. Zvětšením clonového čísla se zmenší otvor průchodu světla a tím se zajistí větší DOF. Posledním parametrem ovlivňující DOF je vzdálenost předmětu, na který se snažíme zaostřit. Při větší snímané vzdálenosti bude DOF větší, než kdyby se objekt nacházel v těsné blízkosti objektivu. Objekt v malé vzdálenosti více vyniká proti svému pozadí. Této techniky se využívá při fotografování, kdy se snažíme více zdůraznit hlavní motiv snímku pomocí malé hloubky ostrosti.

2.1.4 Stereoskopické okno

Jedno ze základních pravidel při snímání stereo snímku je správné umístění stereoskopického okna (SW). Při sledování 2D obrazu pozorujeme pouze ploché objekty omezené hraniční plochou plátna (monitoru). Pokud se však díváme na 3D obraz, tak se předměty nacházející ve scéně, volně pohybují v prostoru a jsou definovány relativní pozicí okrajů plátna a našima očima [17]. SW se dá chápat jako pomyslný kolmý řez v rovině mezi pozorovatelem a objektem.

Jako každý objekt snímku má i SW svou polohu v prostoru. Umístění SW nastavujeme vzájemným horizontálním posuvem snímků. Vzájemně se překrývající body pravého a levého snímku určují jeho pozici. Tedy vzdálenost stereoskopického okna v prostoru bude odpovídat vzdálenosti bodů, které mají na obou snímcích shodnou polohu [19]. Je nutné, aby oba snímky neměly vůči sobě žádný vertikální posun ani pootočení. Rovina SW by měla ležet před všemi objekty, které protínají okraj snímku. Měla by vytvářet jakoby průhled do krajiny skutečným oknem. Při správném umístění okna před nejbližší předmět, nedochází k žádné ztrátě informace a zobrazení snímku je pak zcela logické a přirozené.

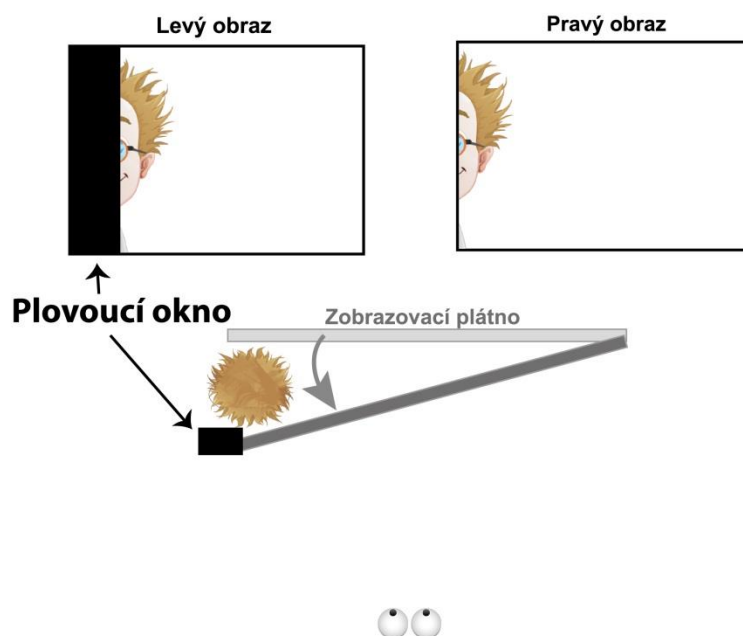
Pokud se před stereoskopickým oknem nachází nějaký objekt, může dojít ke komplikacím. Tyto problémy způsobují předměty nacházející se v okrajové části snímku. Jedno oko pak postrádá část informace o objektu a dochází ke špatnému zobrazení (*viz obr.6*). Tento nežádoucí efekt se označuje jako porušení stereoskopického okna neboli „Stereoscopic Window Violation“. Po stereo bázi a chybách způsobených konverencí je to třetí nejbolestivější chyba ovlivňující naše vnímání. Proto se vždy snažíme vyhnout porušení SW. Existují však 2 výjimky, které lze akceptovat. Jednou z nich je snadno identifikovatelný objekt, který se pohybuje dostatečně rychle. Tuto situaci dokáže náš mozek zpracovat. Další možnost je umístit objekt do středu obrazu, aby nedošlo k výraznému porušení SW. V takovémto případě může objekt vystupovat před SW. V multikinech se pak v některých scénách jeví plující předměty ve střední části obrazovky.



Obr. 6 - Porušení stereoskopického okna

Jelikož problém s porušením stereo okna způsobuje bolesti očí a hlavy, nejedná se pouze o problematiku posledních let. Již v polovině dvacátého století se touto záležitostí pokoušeli zabývat Raymond a Nigel Spottiswoode. Oba bratři vytvořili krátký film s názvem „The Black Swan“ [20], kde se pokusili problém stereoskopického okna vyřešit pomocí nové techniky, která se pojmenovala „**Floating Window**“ [21]. Před film umístili černý rám, který byl posunut pro levý snímek lehce doprava a pro pravý zase doleva. Tento okraj umožnil přesunout stereoskopické okno na fixní pozici před scénu. Proto nemohlo nikdy dojít k porušení SW, neboť se celá scéna nacházela v pozadí přidaného rámu. Bohužel názor diváků byl zcela negativní, protože všichni mohli vidět před sebou statické plovoucí okno, které bylo příliš rušivé. Po stranách také vznikaly velké oblasti viditelné pouze jedním okem, což bylo pro publikum velmi otravné. Technika plovoucího okna přinesla více problémů než užitku, a proto se tehdy rozhodlo, že se již v 3D filmu nikdy nevyužije. Tato domněnka fungovala několik let až do doby inovace prvotní myšlenky. Dnes se již velmi známý stereographer Brian Gardner rozhodnul nápad bratrů vylepšit a znovu ho využít v oblasti 3D technologie. Místo původního statického okna vytvořil nové, které se volně pohybuje. Dynamické okno je pro diváka neviditelné, což je nejpodstatnější výhoda ve srovnání s původním návrhem. Dynamika spočívá v tom, že se okno neustále animuje a mění v závislosti na scéně. Techniku „**Dynamic Floating Window**“ [22] poprvé Gardner použil ve filmu „Meet The Robinsons (2007)“ [23], kde se stala revolučním objevem v 3D technologii. Od té doby se tato technologie začala

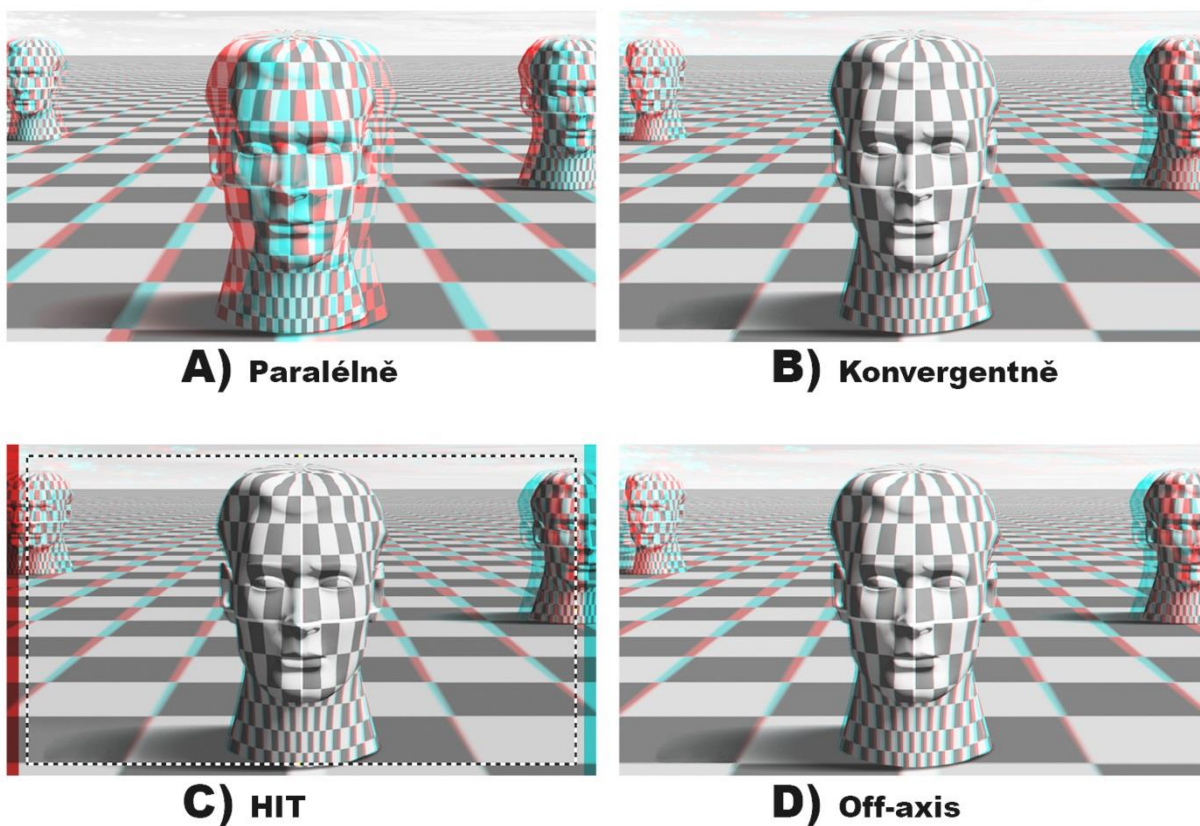
využívat ve všech 3D animovaných komerčních filmech. Na *obr.7* můžeme vidět malou ukázkou, jak se takovéto okno vytváří. Na *obr.6* se objekt nacházel v krajní části snímku před plátnem a docházelo tak k porušení SW. Abychom zabránili vizuálnímu nepohodlí, umístíme před snímek černý pruh (*obr.7*). Umístěním speciální masky před nejbližší předmět se vytvoří iluze, která bude vypadat jako by došlo k natočení scény. I přesto, že velká část okna zůstane za předmětem, bude tato scéna při pozorování vhodnější. Jak velký černý pruh zvolíme, záleží jen na nás. Čím bude pruh širší, tím větší bude natočení scény. Černou masku v podobě pruhů můžeme umístit libovolně na všechny 4 okraje snímku. Simulujeme tak zkrácenou perspektivu jednoho oka vůči druhému. Náš mozek si tuto situaci vyhodnotí jako zkosení samotného objektu. Tímto dojde k umístění SW před objekt a zabráníme tak jeho porušení. Jak bylo popsáno výše, pro pohybující se objekty je tato maska animovaná na základě klíčových parametrů scény [22] a díky její dynamice je pro diváka nepozorovatelná. Nevýhodou techniky dynamického plovoucího okna je, že se používá čistě pro projekce v sálech kin. Pro běžné použití v domácím prostředí, na televizních obrazovkách, je tato technika nepřijatelná. V kinech je dokonalá tma, zatímco na televizní obrazovce vidíme okraje rámu, které nesplývají s pozadím. V takovémto prostředí by byl pohybující se okraj viditelný a velmi rušivý.



Obr. 7 - Dynamic floating window

Kromě techniky dynamického okna lze problém s porušením SW řešit pomocí dalších metod [24]. Vzhledem k tomu, že pro televizní obsah je výše popsaná technika nepoužitelná, je nezbytné najít vhodnější. Řešení se nám nabízí v podobě posunutí celého stereoskopického okna postprodukční úpravou. Pomocí vhodného softwaru oba snímky posuneme vzájemně tak, aby se nejbližší body scény překrývaly (*obr.8c*). Následně se budou nejbližší body scény jevit na úrovni pozorovacího plátna a veškerý další obsah až v pozadí. Další možností je nechat stereoskopické okno na místě, ale posunout všechny objekty dále do pozadí. Nastavení závisí na konvergenci kamer. Může docházet k jinému problému, konkrétně k navýšení hloubky scény. Pokud dojde k překročení hranice, tak při pozorování nastane hyperdivergence. Proto se této techniky příliš nevyužívá.

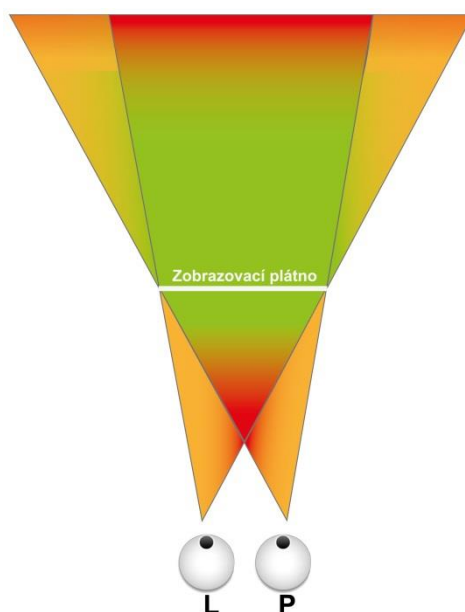
Na následujícím obrázku je vidět změna umístění stereoskopického okna v praxi. Pro každou část byla použita jiná metoda snímání. O samotných metodách si více řekneme až v kapitole 2.3. Nyní si pouze určíme rovinu SW. Na *obr.8a* je SW umístěno v pozadí snímku, v nekonečnu a můžeme tak pozorovat dva lehce odlišné obrazy. V ostatních případech je SW umístěno na nejbližší předmět ve scéně, což je v tomto případě znázorněná hlava.



Obr. 8 - Umístění SW na základě metody snímání [O2]

2.1.5 Stereo Comfort Zone

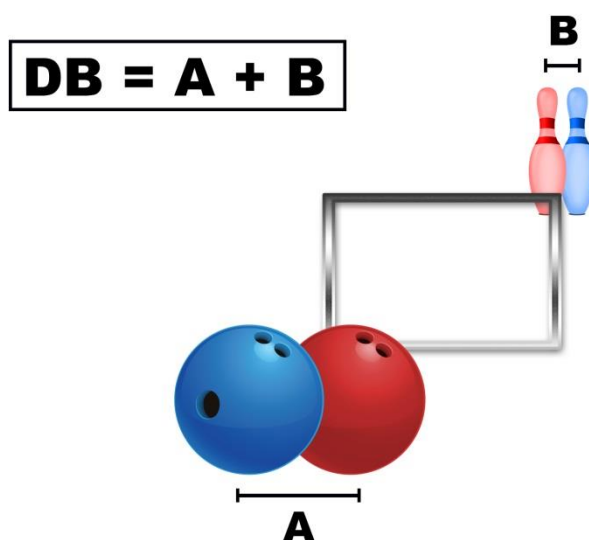
S umístěním stereoskopického okna je velmi úzce spjata tématika zabývající se **komfortní stereoskopickou zónou** (Stereo Comfort Zone = SCZ) [25]. Je podstatné si uvědomit, kam vlastně smíme jednotlivé předměty scény umístit. Pokud dáme dohromady všechna doposud zmíněná pravidla, znázorníme si SCZ. Na *obr.9* je vidět jednoduchý náčrtek této zóny. Můžeme si ji rozdělit na několik částí. Červenou barvou jsou zaznačeny oblasti, kde dochází k silné svalové aktivitě našich očí a dochází tak k bolestem. Jsou to místa, kde se vyskytují problémy mezi konvergencí a akomodací. Červeně znázorněné oblasti jsou označovány jako nebezpečné zóny. Objekty, nacházející se v těchto místech, se nesmí na snímku vyskytovat příliš dlouho. Při statické scéně rozhodně nechceme, aby byly předměty v těchto místech ostré. Následkem tohoto nedopatření bychom zajistili divákovi bolesti hlavy. K závažným chybám dochází v oblastech značených oranžovou barvou. Anglicky jsou tyto části nazývány „Retinal Rivalry Area“. V těchto oblastech nejsme schopni vytvořit požadovaný stereoskopický vjem, jelikož nám chybí informace z druhého oka. Místům, která jsou značena na *obr.9* oranžovou barvou, se vždy snažíme vyhnout. Jedinou možností pro vhodný stereoskopický vjem jsou oblasti zelené barvy. Jak si můžeme všimnout, nachází se v okolí projekčního plátna. Z velké části převážně za plátnem, což vychází z poznatků probíraných v *kapitole 1.4* zabývající se paralaxou. Musíme však brát v potaz, že komfortní zóna se liší na základě velikosti projekčního plátna, které pozorujeme [26][27].



Obr. 9 - Comfort Zone

2.1.6 Depth Budget

Anglický termín „Depth Budget“ nemá konkrétní český ekvivalent, ale přesto by se dal vyjádřit jako hloubkový rozsah. Je to vzdálenost mezi nejbližším a nejvzdálenějším objektem ve scéně, který pozorovatel vnímá. Depth budget se odvíjí od velikosti promítacího plátna a rozlišení snímku. Matematicky je počítán jako součet maximální negativní a maximální pozitivní paralaxy. Měří se v milimetrech, procentech šířky plátna (monitoru) nebo pixelech, ve kterých je zpravidla v běžné praxi udáván. Jak velký rozsah zvolit, může být otázka uměleckého záměru, nicméně rozsah hloubky má velký vliv na vizuální pohodlí diváka. Správnou volbou rozsahu se vyhneme divergenci očí.



Obr. 10 - Depth Budget

V závislosti na typu objektu a upoutání diváka můžeme s budgetem lehce manipulovat. Některé objekty budeme chtít, aby se jevíly před plátnem a ostatní v pozadí. Vždy se však snažíme, aby se velká většina scény jevila za promítacím plátnem. Problematiku jsme si již popsali výše v kapitole 2.1.4. Vnímání hloubky scény je velmi subjektivní, ale přesto je potřeba si uvědomit, že celkový hloubkový vjem musíme držet v určitých mezích. Zatímco Depth Budget je spíše umělecký pojem, z technického hlediska by více odpovídal anglický termín „Native Parallax“ (NPP). Tato přirozená paralaxa nám udává procentuální velikost obrazovky odpovídající interokulární vzdálenosti. Neboli maximální disparitu na plátně, kterou si můžeme dovolit, abychom vytvořili bezpečný 3D snímek a vyhnuli se tak bolestivým oblastem pro naše oči. Maximální paralaxa je již kritická hranice [28].

Často se však udávají limity nižší. Pro televizní vysílání přibližně 3 % z horizontálního rozlišení obrazu. Pro High Definition obraz (v rozlišení 1920 x 1080) tato procentuální hranice odpovídá velikosti přibližně 58 pixelů. Pro domácí televizi o šířce obrazovky jeden metr by povolený součet pozitivní a negativní paralaxy činil přibližně 3 cm. Podle technické specifikace od BSkyB [29] by pro pohodlné stereoskopické pozorování neměla pozitivní disparita přesáhnout 2 % a negativní disparita neboli vzdálenost shodných bodů jednotlivých snímků mimo plátno dokonce -1 %. Ve speciálních případech však mohou být tyto doporučené hodnoty porušeny a Depth Budget se zvýší na 6,5 %, kdy pro pozitivní paralaxu jsou vyhrazeny 4 % a pro negativní 2,5 %. Tyto limity jsou stanoveny pro televizní vysílání, nicméně pro projekční plochy v kinech musí být zcela odlišné [30]. Rozsahy jsou pro kina mnohem menší než pro běžné monitory a TV. Důvodem jsou rozměry pláten, které jsou ve srovnání s TV šířkou několikanásobně větší a nepotřebují danou hloubku tolik zvýraznit. Televizní 3% rozsah by pro 10 m plátno činil přibližně 30 cm. V případě použití takového rozsahu v pozitivní paralaxě by byla vypočítaná velikost ve srovnání s interokulární vzdáleností více než čtyřnásobná. Vše by vedlo k hyperdivergenci, která je nežádoucí. Pro kina se zpravidla udává několikanásobně menší. Konkrétně se jedná o hodnoty menší než 1 %. Pokud již známe přibližné limity, jsme schopni si přepočítat, jak velké mohou být jednotlivé paralaxy v milimetrech popřípadě v pixelech. Pro výpočet je potřebný údaj o šířce obrazovky ($Screen_width(mm)$), na které budeme snímek pozorovat a její rozlišení ($Screen_width_res(px)$). Interokulární vzdálenost zastupuje parametr $Disparity(mm)$ a $NPP(px)$ je maximální paralaxa, kterou můžeme využít. K přepočtu nám poslouží následující vzorec [31].

$$Disparity(mm) = \frac{NPP(px) \times Screen_width(mm)}{Screen_width_res(px)} \quad (1)$$

Na následujícím *obr.11* je tabulka, jejíž hodnoty nám přiblíží problematiku, proč se paralaxa na projekčních plátnech udává jiná než v televizním vysílání a na běžných domácích monitorech. Můžeme si například všimnout, jak se bude procentuálně měnit pozitivní paralaxa v závislosti na velikosti plátna. Pro zachování pozitivní paralaxy ve velikosti odpovídající rozestupu očí, musí velikost paralaxy v procentech rapidně klesat. Řekněme, že máme 26 metrové promítací plátno, na kterém se promítá snímek v 2K rozlišení. Paralaxe rovné vzdálenosti očí pak odpovídá 0,25 % šířky plátna a při 2K rozlišení jde přibližně o 5 pixelů. Obdobně je to s negativní paralaxou. Například na plátně o šířce 26 metrů má -3% negativní paralaxa asi 0,78 m. Takovouto hodnotu bychom si na monitoru nemohli nikdy dovolit.

2K resolution (20148 x 1080)						
Screen size	Max.neg.parallax			Max.pos.parallax		
[m]	[%]	[px]	[mm]	[%]	[px]	[mm]
1	-3,00	-61,44	-30	3,00	61,44	30
2			-60			60
4			-120	1,60	32,77	65
6			-180	1,07	21,85	
8			-240	0,80	16,38	
10			-300	0,64	13,11	
12			-360	0,53	10,92	
14			-420	0,46	9,36	
16			-480	0,40	8,19	
18			-540	0,36	7,28	
20			-600	0,32	6,55	
22			-660	0,29	5,96	
24			-720	0,27	5,46	
26			-780	0,25	5,04	

Obr. 11 - Změna paralaxy v závislosti na velikosti plátna [O3]

Rozměry plátna mají vliv nejen na velikost paralaxy, ale také na vnímání hloubky celé scény. Pro rozměrově rozdílná plátna je vjem hloubky scény pokaždé odlišný. Většina 3D obsahu se produkuje pro danou velikost zobrazovací plochy. Zpravidla se natáčí za účelem promítání stereoskopického obsahu v kině. Pokud takto nasnímaný snímek pustíme doma na uživatelském monitoru, bude rozsah hloubky značně komprimován. V případě, že vezmeme stereoskopický záznam určený pro 50 palcovou televizi a pustíme si ho na velkém plátně, tak nám hloubkový rozsah rapidně naroste. Jak je vidět z předchozího obrázku, hyperdivergence se může objevovat už od 3 % pozitivní paralaxy a je potřeba si dávat pozor.

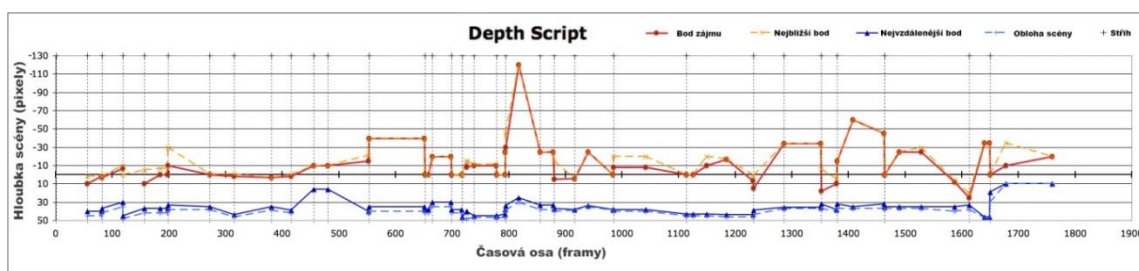
Na vnímání hloubky má vliv i **vzdálenost pozorovatele** od promítacího plátna. S rostoucí vzdáleností narůstá dojem prostorovosti. Toho bychom si mohli všimnout při promítání v kině, kdybychom si porovnali vjem z různě vzdálených míst. Nejlépe by to bylo patrné na statickém snímku, který však v kině nevidíme. Pokud bychom nejprve seděli v první řadě sálu a následně se přemístili do poslední řady, tak by vjem hloubky byl nepatrně rozdílný. V porovnání s prvními místy jsou zadní řady pro pozorování stereoskopického snímku kvalitnější. Nicméně během filmu se zpravidla v sále nepřemísťujeme, a proto nebude docházet ke změně dojmu. Z předchozích poznatků tedy vyplývá, že na vjem hloubky scény mají vliv rozměr plátna, pozorovací a interokulární vzdálenost. Všechny parametry jsou zahrnuty v následujícím vzorci pro vnímání hloubky, který vytvořil Helmholtz již v roce 1867 [32]. Vzdálenost k plátnu je značena písmenem D , IO je označení pro interokulární vzdálenost a písmeno p reprezentuje vzdálenost mezi objekty (paralaxu) na plátně.

$$depth = \frac{D}{\frac{IO}{p} - 1} \quad (2)$$

2.1.7 Depth Script, Depth Chart

Za zmínku stojí anglický pojem „Depth Script“. Je to rozprostřený Depth Budget podél časové osy celého videa. Jde o scénář pro stereography, ve kterém jsou zaznamenány informace o hloubce stereoskopické scény. Skript pro stereo scénu může být vytvořen, jakmile je znám záměr režiséra, jelikož pomocí něj se vytváří celkový dojem scény. Musí být navržen dle několika základních pravidel, aby výsledné video nebylo pro diváka rušivé a udrželo jeho pozornost po celou dobu. Jedno z hlavních kritérií je kontinuita hloubky scén. Velmi podstatný je samotný střih videa. Náročné skoky v hloubce prostoru mezi jednotlivými scénami jsou nežádoucí. Z hlediska hloubky bychom měli během celého filmu střídat scény a nesnažit se pozorovatele ohromit neustálými extrémy v podobě negativní paralaxy. Při špatném sestavení skriptu může dojít u diváka k celkové nevolnosti, bolestem očí a hlavy. Při sestavování tohoto skriptu je podstatná úzká spolupráce mezi režisérem, kameramanem a stereographerem. Podrobnější tipy při sestavování skriptu jsou popsány v knize [33].

Grafický záznam skriptu do grafu s časovou osou se odborně nazývá „Depth Chart“. Ukázku můžeme vidět na následujícím *obr.12*. Černá vodorovná čára reprezentuje pozorovací plátno v kině. Vše, co se nachází nad černou čarou, se bude jevit v popředí plátna směrem k pozorovateli. Naproti tomu všechno pod čarou se bude jevit v pozadí promítacího plátna. Veškeré vertikální přerušované čáry reprezentují filmové střihy z jednoho snímku na druhý. Červená čára představuje takzvaný bod zájmu, kterým je například hlavní postava nebo jiný objekt, na nějž se publikum zaměřuje. Nejbližší bod scény je označen oranžovou barvou. Modrou barvou jsou značeny předměty vyskytující se nejdále od pozorovatele. Nejčastěji jde o pozadí scény jako například hory, stromy, stěny místností atp. Při externích záběrech se občas vyskytuje obloha, která je na obrázku značena modrou přerušovanou čarou. Vzdálenost mezi přerušovanými čarami nám udává momentální rozsah hloubky scény. Při pozorování grafu můžeme zjistit, že vjem hloubky se neustále mění. Do tohoto technického parametru zasahuje i umělecká složka, která přidává na emotivnosti finálního produktu. Záměrem každého tvůrce je, aby si divák odnesl po zhlédnutí stereoskopického videa nezapomenutelný zážitek.



Obr. 12 - Depth Script [O4]

2.2 Technické prostředky

Abychom mohli zaznamenat stereoskopickou scénu, je potřeba si nejprve objasnit, jaké prostředky k tomu budeme potřebovat. Na dnešním trhu se vyskytuje několik možností, které nám umožní realizovat náš záměr. Při záznamu stereoskopického snímku pomocí technického zařízení se snažíme napodobit situaci, kdy se na scénu díváme pouze svými očima. Zpravidla budeme potřebovat právě dvě videokamery nebo jiné záznamové zařízení. Vytvořit si konstrukci na snímání 3D není nic složitého. Spousta domácích kutilů přišla během uplynulých let s řadou nápadů, které vedly ke splnění jejich požadavků [34]. Kvalita zpracování takového domácího zařízení má samozřejmě vliv na výsledný obraz.

Dnes jsou k dispozici také speciální předsádky, které jsou schopny snímat stereoskopický obraz pomocí jediné kamery. Předsádka byla vyvinuta z důvodu, aby si i běžný zákazník měl možnost sám natočit 3D video. Velkou výhodou je jednoduchost zařízení, jelikož se jedná pouze o adaptér složený ze dvou objektivů. V porovnání s jinou technikou nejde o robustní konstrukci. Z důvodů použití jedné kamery nedochází k žádným problémům v synchronizaci. Běžnému uživateli stačí pouze zkalibrovat oba objektivy a může se ihned pustit do natáčení 3D videa. Tato zařízení mají řadu nevýhod. Hlavním mínusem je kvalita záznamu. Obrazy z obou objektivů jsou promítány vedle sebe na jeden čip, a proto je rozlišení videa poloviční. Objektivy jsou nastaveny na pevnou ohniskovou vzdálenost, a proto nejsou schopny zoomu. Obvykle mají nízkou světelnost a ta se podepíše v šumových vlastnostech.

V případě, že se nespokojíme s 3D videem nižší kvality natočeným předsádkou, využijeme pro záznam dvě samostatné kamery. Volba dvou kamer je ekonomicky méně výhodná, avšak z hlediska kvality plní nezastupitelnou funkci. V profesionálním snímání se využívají dva způsoby uchycení kamer, které si nyní uvedeme.

2.2.1 Side by Side

Montáž, kdy se kamery upevní v horizontálním postavení vedle sebe, je označována jako „Side by Side Rig“. Paralelní uspořádání kamer simuluje postavení očí pozorovatele. Kamery jsou uchyceny na volně posuvnou konstrukci s označenou stupnicí. Díky konstrukci je velmi snadné změnit vzájemnou polohu snímacích kamer. Pro svoji jednoduchost uchycení je tento způsob značně využíván a je vhodný jako odrazový můstek pro pochopení snímání stereoskopických scén. Rozměry celého systému závisí na velikosti a váze kamer. Konstrukce musí být přizpůsobena váze zařízení, jelikož nesmí docházet k samovolné rotaci nebo jinému pohybu kamer. Seběmenší nechtěný posun má vliv na výsledný snímek. Limitem systému je vzdálenost jednotlivých os, která je dána šířkou kamer. Po mnoho let nešlo dosáhnout rozměrů menších než desítky centimetrů. S miniaturizací kamer je tento problém dnes částečně vyřešen, avšak ve srovnání s následujícím systémem stále přetrvává. SBS rig se využívá při snímání exteriérů a předmětů nacházejících se ve větších vzdálenostech. Většinou jde o záběry krajin, budov, dopravních prostředků, sportovních událostí atp. Pro výrobu rigu stačí pouze 2 totožné kamery se shodným nastavením. Je potřeba si pohlídat clonu, časovou závěrku, ISO, rozlišení videa a vyvážení bílé barvy. Předejdeme tak následným komplikacím způsobených diferencí v jednotlivých snímcích. Velmi podstatná je v tomto ohledu také synchronizace kamer. Oba záběry musíme mít dokonale časově synchronizovány, aby nedocházelo k chybám, které ovlivňují stereoskopický obraz. Této problematice je věnována kapitola 2.5 - *Stereoskopické chyby*. Profesionální systémy mají veškeré komponenty plně motorizované a jsou schopny dálkově řídit interaxiální vzdálenost, konvergenci kamer, fokus, zoom a další potřebné parametry.



Obr. 13 - Side by Side Rig [O5]

2.2.2 Beam Splitter

Pro dobře vypadající a kvalitní záběry je nutné se dostat co nejbližší ke snímanému předmětu. V těchto případech však nastává problém se vzdáleností os kamer, jelikož se potřebujeme přiblížit na vzdálenosti menší, než jsme schopni získat pomocí předchozího SBS rigu. Proto se využívá komplexnějšího systému označovaného jako „Beam Splitter Rig“. Při této montáži jsou obě kamery vzájemně umístěny pod úhlem 90° tedy kolmo na sebe [35]. Hlavní roli v tomto uspořádání hraje mimo videokamery také speciální polopropustné zrcadlo. Zrcadlo je umístěno uvnitř krytého boxu, ve kterém je následně připevněno pod úhlem přibližně 45° . Tento takzvaný „Matte box“ slouží jako sluneční clona a zároveň je v něm uchyceno zrcadlo. Pomáhá nám eliminovat nechtěné světelné odlesky, které by mohly negativně ovlivnit výsledný obraz [36]. Princip snímání konfigurace s polopropustným zrcadlem vyplývá již ze samotného názvu systému. Pomocí zrcadla jsme schopni rozdělit jeden světelný paprsek na dva samostatné. Tedy jedna kamera snímá obraz odrazem a druhá skrz. Vzdálenost os obou kamer může být v této konfiguraci ve srovnání se SBS rigem libovolná. Můžeme si dovolit používat i rozměrově větší kamery, a přesto získat minimální interaxiální vzdálenost, kterou lze nastavit dokonce až na nulovou hodnotu [17]. Volba kamer a dalšího vybavení je podmíněna pouze robustností celé konstrukce. BS rigy se využívají pro studiové a detailní záběry do vzdálenosti přibližně 5 m. Konstrukce je vyráběna ve dvou provedeních. Na obou je horizontální kamera umístěna totožně, liší se pouze pozicí vertikální kamery. Systém s kamerou umístěnou nad zrcadlem, mířící směrem dolů, se nejčastěji využívá pro záběry s nízkým úhlem (podhledem). Další provedení má kameru umístěnou zespodu (míří směrem vzhůru). Díky otočenému zrcadlu dochází k menšímu nachytání prachových částic než v prvním případě. Nevýhodou všech BS systémů je jejich křehkost, která je dána zrcadlem. Nekvalitní zrcadlo může mít vliv na barevné podání obrazu kamery. Ve finále je vždy potřeba ještě otočit obraz jedné kamery o 180° . Mezi absolutní špičky ve výrobě těchto rigů se řadí firmy jako například 3ality, StereoTec, 3Dfilmfactory, Element Technica a mnoho dalších [37].



Obr. 14 - Beam Splitter Rig [O6]

2.3 Metody snímání

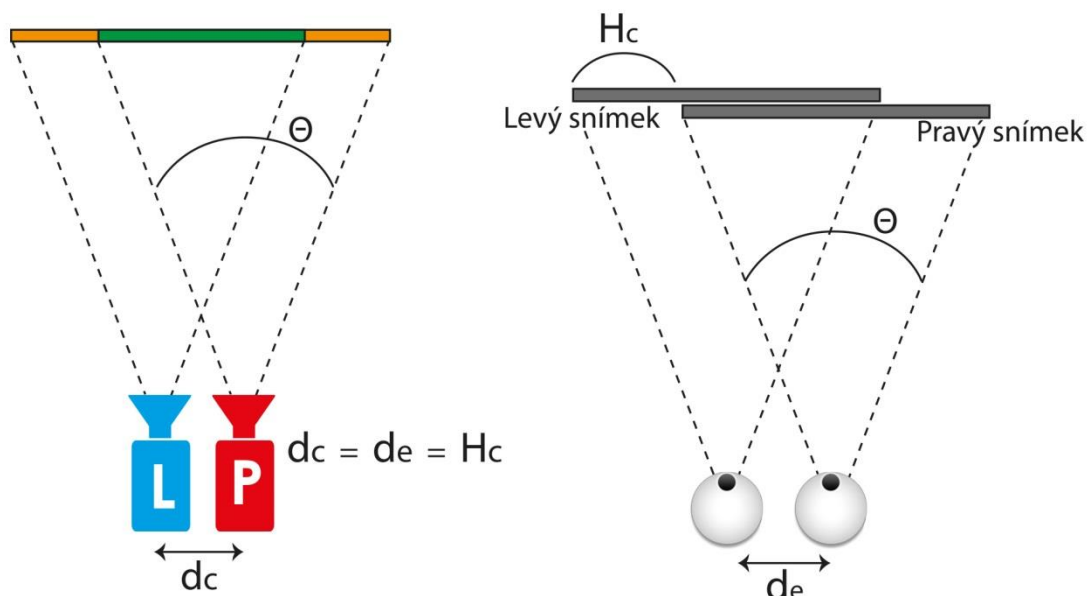
Dále se budeme zabývat problematikou nastavení os jednotlivých kamer. Při snímání stereoskopického snímku je nutné se rozhodnout, jakým způsobem se budou chovat optické osy obou kamer. Nejznámější jsou 3 základní metody. Jde o metodu paralelní, Toe-in a Off-axis. Ostatní příliš nesplňují požadovaný stereoskopický vjem. Jelikož obě uvedené montáže (SBS, BS rig) umožňují pohyb kamery ve vodorovné ose, můžeme změnit směr jednotlivých os. Změna pozice osy však zavádí do snímání další komplikaci. Jednotlivé způsoby nastavení os kamer si nyní detailněji popíšeme.

2.3.1 Paralelní metoda

Jedním ze základních principů snímání stereoskopického videa pomocí dvou kamer je paralelní metoda. Při tomto nastavení jsou optické osy obou kamer rovnoběžné a konvergují v nekonečno. Každá z kamer snímá prostor z jiné pozice a rozhodující roli ve stereoskopickém jevu hraje vzájemná vzdálenost jednotlivých kamer. Na *obr.15* je stereoskopická báze označena jako d_c a v ideálním případě je rovna vzájemné vzdálenosti očí d_e . Při snímání s paralelním nastavením os se stereoskopické okno vyskytuje v nekonečno. Celá scéna se pak nachází před SW a tento negativní jev způsobuje porušení SW. Více o tomto problému jsme si uvedli již v *kapitole 2.1.4*.

Paralelně umístěné kamery nemají žádnou kompenzaci paralaxy, proto je potřeba oba snímky vhodně postprodukčně upravit a simulovat takzvanou konvergenční korekci. Při úpravě dochází k vzájemnému horizontálnímu posunu snímků, aby se nejbližší body ve scéně vyskytovaly v rovině stereoskopického okna. Jednoduše řečeno, aby se tyto body z obou snímků vzájemně překrývaly. Vzájemný posun obrazů je označován zkratkou **HIT** (Horizontal Image Translation). Zpravidla je prováděn manuálně s levým a pravým obrazem v separátní vrstvě pomocí vhodného softwaru. Při paralelním snímání mají největší disparitu předměty nejbližší k objektivům kamer. HIT je vlastně něco jako „inverzní“ činnost ke snímání. Jde o to, aby nejbližší předměty měly téměř nulovou disparitu a naopak předměty nacházející se ve větší dálce byly od sebe více separovány. Díky tomu dochází k posunu stereo okna na úroveň nejbližšího předmětu a to je přesně to, co potřebujeme. Při pozorování na projekčním plátně se však zobrazí část obrazu pozorovatelná pouze jedním okem. Na *obr.15* je označena jako H_c a je rovna vzdálenosti kamer d_c respektive vzdálenosti očí d_e [7]. Tyto oblasti představují jistou ztrátu. Při skládání výsledného stereoskopického snímku jsme nuceni přebytečné části obrazu viditelné pouze jedním okem ořezat. V *kapitole 2.1.4* se nachází *obr.8c*, kde je celá tato úprava viditelná. Barevné pruhy po stranách

představují zmíněné chybějící části a černobílá čára reprezentuje následný ořez. Při paralelním snímání se s finálním ořezem výsledného snímku vždy počítá. Díky této predikci se velmi často natáčí na větší formát, než je finální. Paralelní metoda je nejvíce používaná. Výhodou je, že se čipy obou záznamových kamer nacházejí v jedné rovině a nedochází tak k perspektivnímu zkreslení horizontál jako v následujícím případě.

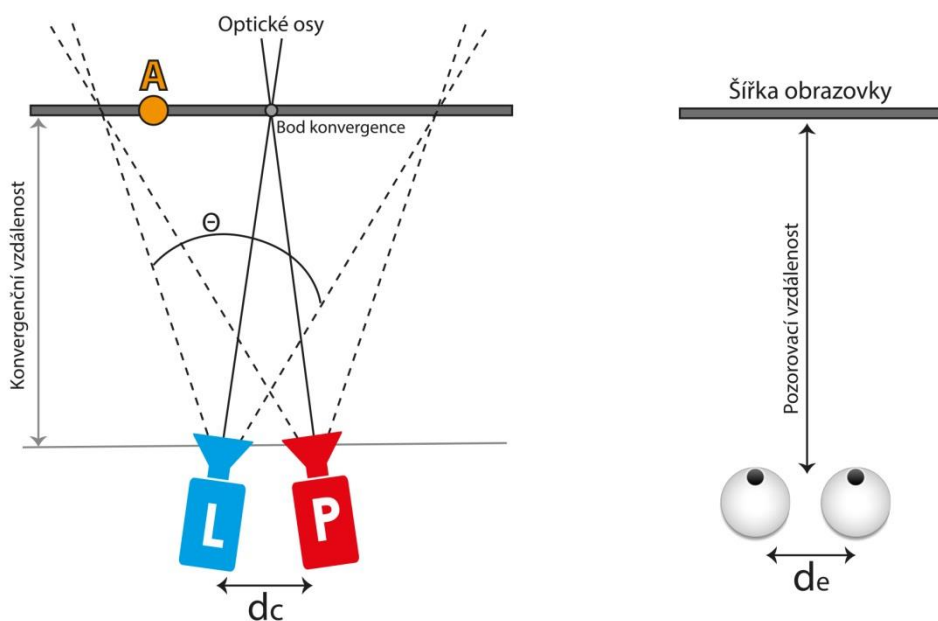


Obr. 15 - Paralelní zapojení kamer

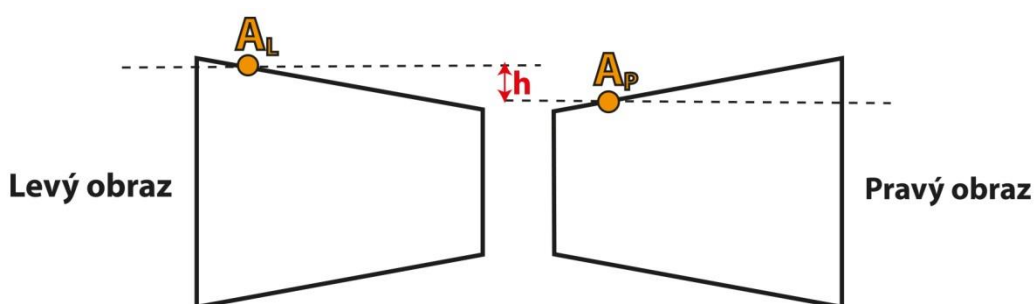
2.3.2 Toe-in metoda

Druhou možností snímání stereoskopického videa je metoda s anglickým názvem „Toe-in“. Při tomto nastavení dochází ke konvergenci optických os kamer. Obě osy se vzájemně stáčí a v určitém místě dochází k jejich vzájemnému protnutí. Místo, kde dojde ke střetu os, leží před objektivy kamer a nazývá se bod konvergence. Tento bod se vyskytuje v rovině kolmé na osy kamer s nulovou paralaxou. Pomocí stereoskopické báze a úhlu konvergence jsme schopni ovlivnit stupeň stereoskopického efektu. To znamená, že pohybem bodu konvergence dopředu nebo dozadu můžeme určit, které předměty se budou vzhledem k pozorovateli jevit v popředí a v pozadí [38]. Změnou stereo báze pak následně umocníme 3D efekt. Při tomto nastavení jsou oba parametry, stereo báze a úhel konvergence, spolu velmi úzce svázány. Sbíhající kamery se snaží napodobit chování lidských očí. Bohužel nejsme schopni zajistit, aby pozorovatel výsledného snímku konvergoval vždy na stejné místo jako kamery při snímání. Při pozorování takto nasnímaného obrazu dochází k řadě dalších problémů. Jak je na *obr.16* vidět, při snímání se zkříženými osami zaznamenáme scénu ze dvou lehce odlišných úhlů. Při promítání obrazu musíme pohled z kamer reprezentovat na stejnou promítací plochu. Nejméně u jednoho z obrazů musí dojít ke zkreslení, které vychází z epipolární geometrie [39][40]. Dochází tak k jevu, který je označován jako **vertikální paralaxa**. Při natočení kamery jsou objekty vidět lehce z boku, z perspektivy. Některé části bližšího předmětu se pak jeví zvětšené proti těm vzdálenějším. Situace na snímku z druhé kamery je obdobná, akorát jde v porovnání s prvním snímkem o inverzní zvětšení. Tento případ způsobí, že se obrazy bodů nenacházejí ve stejné horizontální rovině [39]. Vše je patrné z *obr.17*, kde naznačená vzdálenost h představuje zmíněnou vertikální paralaxu. Hlavní příčinou je tvar snímače kamery, který je ve srovnání se sítnicí rovinný. Vertikální paralaxa roste s velikostí úhlu os kamer a má negativní vliv na stereoskopický vjem. Vertikální rozdíly na okrajích snímků mohou vést k obtížné fúzi a to se následně projeví bolestí očí. To potvrzuje řada vědců, kteří zkoumali vliv vertikální paralaxy na zkreslení snímku [41]. Nastavení kamer Toe-in se jeví jako méně vhodná metoda pro snímání stereoskopického snímku [7]. Dnes už není problém tyto difference mezi snímky odstranit. Existuje řada algoritmů, které jsou schopny snímky vytvořené metodou Toe-in pro pohodlné pozorování upravit. Algoritmy jsou založeny na změně perspektivy [42], warpingu [43] a dalších principech [44][45]. V případě moderních 3D filmů se jednotlivé snímky upravují každý zvlášť, postupně jeden po druhém. Pomocí vhodného softwaru [46][47] jsme schopni průběh korekce automatizovat. Avšak mnohem využívanější je metoda s paralelně nastavenými osami, kde není potřeba tyto chyby vůbec řešit.

V profesionální 3D produkci se vyskytuje ve štábu člověk (The Convergence Puller), který má na starost nastavit kamery tak, aby docházelo k minimálnímu zkreslení. Zodpovídá především za jejich konvergenci. V nejmodernějších produkcích jsou veškeré systémy již plně motorizovány a místo člověka vykonává práci velmi výkonný Stereo Image Processor.



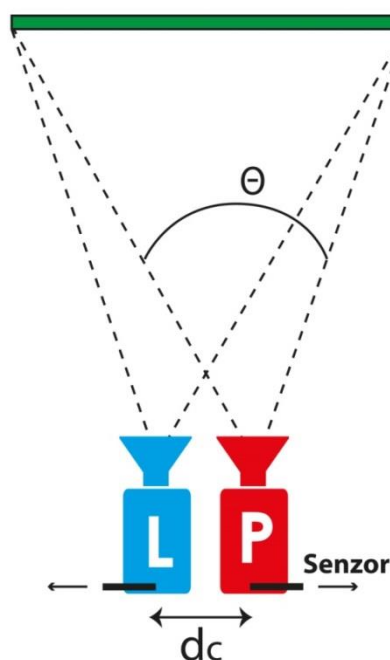
Obr. 16 - Zapojení kamer Toe-in metodou



Obr. 17 - Vertikální paralaxa

2.3.3 Off-axis metoda

Metody s paralelním snímáním a konvergujícími osami mají své nedostatky. Ideální snímací metoda potřebuje kombinaci vlastností obou předešlých nastavení os. Metoda označována jako „Off-axis“ je jednou z možností současné doby. Tato metoda je postavena na technologické modernizaci kamer [48]. Obě paralelní kamery mají v sobě zabudovaný speciální senzor, který je schopen se posouvat z pozice optické osy dle potřeby. Díky jejich posunu se senzory nacházejí stále ve stejné rovině, zatímco dochází ke změně pohledu (konvergence). Jelikož nejsou senzory nijak natočeny, nedochází k žádnému vertikálnímu zkreslení. Jednou z dalších výhod je, že nepotřebujeme příliš velký horizontální posun. Během postprodukce pak nemusíme snímky ořezávat jako v předchozích případech. Kompozice snímku je při snímání téměř srovnatelná s finálním výsledkem. Praktická ukázka byla vidět na *obr.8d* v kapitole 2.1.4. Senzory s variabilním posunem jsou nejlepší možností pro zajištění konvergence pomocí paralelních kamer. Tato metoda je technologicky velmi náročná a tomu také odpovídá pořizovací cena zařízení. I přes všechny výhody Off-axis metody, dává mnoho stereographerů přednost starším a osvědčenějším postupům snímání.



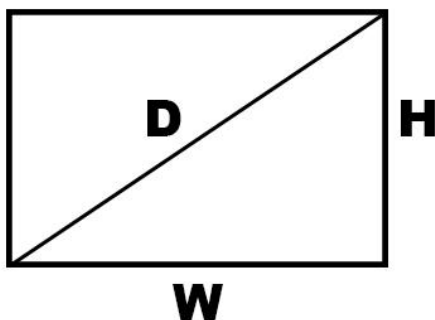
Obr. 18 - Off axis metoda

2.4 Výpočet stereoskopické báze

2.4.1 Metoda 1

Při výpočtech je důležité brát v potaz také výsledné projekční zařízení, na kterém budeme nasnímané sekvence pozorovat. Už z hlediska rozměrů je podstatný rozdíl mezi monitorem počítače, televizí nebo projekčním plátnem v kině. Rozměry jednotlivých zobrazovacích zařízení jsou občas udávány v rozdílných rozměrech. Velmi častou jednotkou metrické soustavy pro určení úhlopříčky monitoru je palec (inch). Z historických důvodů se tato mezinárodní jednotka i nadále využívá a při přepočtech je 1 palec přibližně 0,025 m. Pro snazší výpočty je dobré si jednotlivé rozměry zobrazovacího zařízení přepočítat na souhlasné jednotky.

Rozměry projekčního plátna (obrazovky):



$$AR = \frac{W}{H}$$

$$AR * H = W$$

$$D^2 = H^2 + W^2$$

$$D^2 = H^2 + (AR^2 * H^2)$$

$$D^2 = H^2 * (AR^2 + 1)$$

$$H = \frac{D}{\sqrt{AR^2 + 1}}$$

$$W = AR * H$$

(3)

AR ... axial ratio = poměr stran
 H ... height = výška obrazu
 W ... width = šířka obrazu
 D ... diagonal = úhlopříčka obrazu

Jak jsme si již popsali, při snímání dochází k posunu korespondujících bodů v pravém i levém snímku. Tento rozdíl se na senzoru označuje jako deviace. Podle obdobného pravidla jako v kapitole 2.1.2 by deviace neměla nikdy přesáhnout 1/30 šířky senzoru. Deviaci kinofilmovému formátu odpovídá obecně uznávaná hodnota 1,2 mm (36 mm/ 30). Tato konstanta bývá označována zkratkou **MOFD (Maximum On-Film Deviation)** a má vliv na výpočet stereoskopické báze. Udává se v různých jednotkách jako jsou např.: procenta (%), milimetry (mm) nebo pixely (px). Vzájemné přepočty jsou uvedeny níže, kde $sensor_{px}$ je šířka senzoru udaná v pixelech a $sensor_{wdt}$ je šířka senzoru v milimetrech. Pro pozorování na běžné domácí obrazovce byla průmyslově stanovena standartní hodnota 2 až 3 % šířky senzoru [49].

$$\begin{aligned} MAOFD_{\%} &= 2\% \\ MAOFD_{mm} &= sensor_{wdt} * MAOFD_{\%} \\ MAOFD_{px} &= MAOFD_{mm} * \frac{sensor_{px}}{sensor_{wdt}} \end{aligned} \quad (4)$$

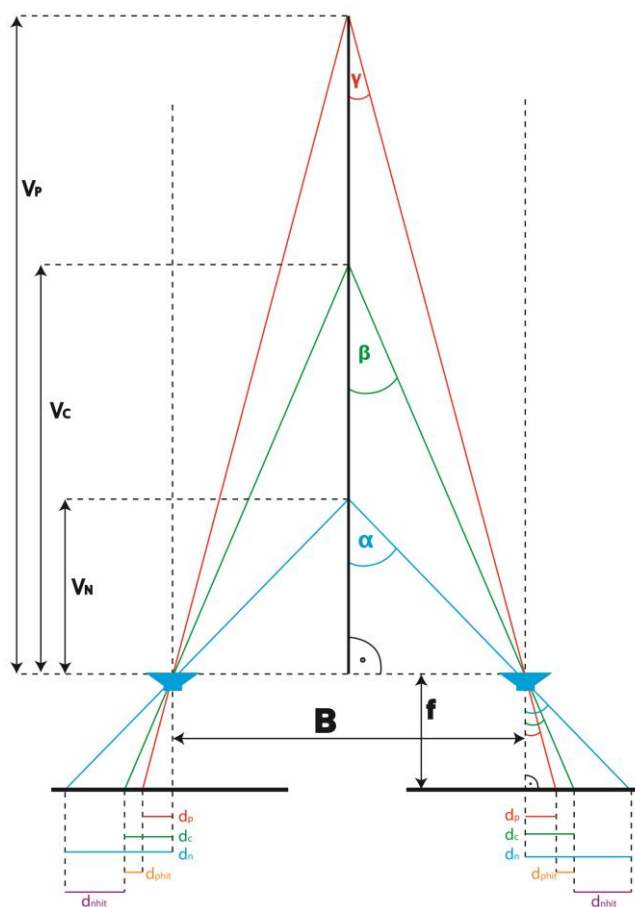
Při snímání scény s rovnoběžnými osami videokamer platí následující: Všechny paralaxy objektů ve scéně jsou kladné (pozitivní paralaxa), kde nejmenší je paralaxa optického nekonečna daná vztahem:

$$P_{\infty} = \lim_{V \rightarrow \infty} \left(\frac{b * f}{V} \right) = 0 \quad (5)$$

$$P_{\text{objektů}} > 0$$

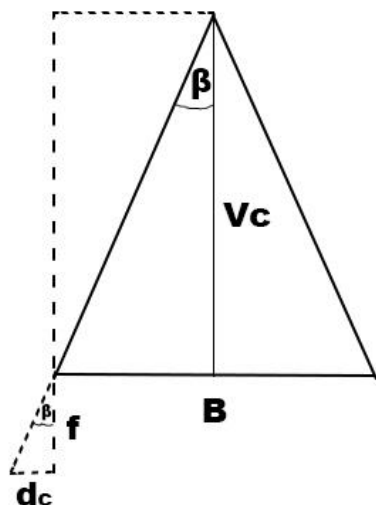
Pomocí písmena P je značena paralaxa objektů ve scéně, b je stereoskopická báze, ohnisko kamer je označeno písmenem f a V představuje v této rovnici vzdálenost.

Scéna nasnímaná pomocí paralelního nastavení kamer je principiálně nepřipustná (více v kapitole 2.1.4). Dochází k nepřirozené a nadměrné hloubce scény, která se projeví na vizuálním pohodlí pozorovatele. Je potřeba daný problém vyřešit pomocí vzájemného horizontálního posuvu, který jsme zmínili v kapitole 2.3.1. Nejprve si zvolíme objekt, který chceme umístit do roviny plátna. Zvolený objekt bude mít následně nulovou paralaxu. Vypočteme si původní paralaxu toho objektu a odečteme ji ode všech paralax ve scéně.



Obr. 19 - Deviace na senzoru

Původní paralaxu předmětu D_c , který se bude nacházet v rovině plátna, odvodíme pomocí podobnosti trojúhelníku následujícím způsobem:



$$\tan \beta = \frac{\frac{B}{2}}{V_c} = \frac{B}{2 * V_c} \quad \tan \beta = \frac{d_c}{f}$$

$$d_c = \frac{B * f}{2 * V_c} \quad (6)$$

$$D_c = 2 * d_c = \frac{B * f}{V_c}$$

Značení proměnných je ve všech případech totožné. Tedy stereoskopická báze je označena B , f je ohnisko objektivu, V_N a V_P jsou vzdálenosti k nejbližšímu a nejvzdálenějšímu předmětu a V_C je vzdálenost předmětu s požadovanou nulovou paralaxou.

Paralaxy pro nejbližší D_n a nejvzdálenější D_p předmět se spočítají stejně jako předchozí:

Bez korekce:

$$\tan \alpha = \frac{B}{2 * V_N} \quad \tan \alpha = \frac{d_n}{f}$$

$$d_n = \frac{B * f}{2 * V_N} \quad (7)$$

$$D_n = 2 * d_n = \frac{B * f}{V_N}$$

$$\tan \gamma = \frac{B}{V_P} \quad \tan \gamma = \frac{d_p}{f}$$

$$d_p = \frac{B * f}{2 * V_P} \quad (8)$$

$$D_p = 2 * d_p = \frac{B * f}{V_P}$$

Jakmile máme vypočítané paralaxy všech bodů, je potřeba provést korekci:

$$D_{nhit} = D_n - D_c \quad (9)$$

$$D_{phit} = D_p - D_c$$

Kde D_{nhit} je negativní deviace na senzoru a D_{phit} je pozitivní deviace na senzoru po vzájemném horizontálním posunu levého a pravého obrazu. Označení deviace je v tomto případě namístě, jelikož si nyní udáváme rozdíl korespondujících bodů na senzoru. Pojem paralaxa se využívá ve spojitosti s projekčním plátnem. Pokud využijeme snímaný rozsah, tak je mezní deviace na senzoru určena jako vzájemný rozdíl deviace nejbližšího bodu D_{nhit} a bodu nejdálčenějšího D_{phit} . Jelikož je deviace nejdálčenějšího bodu vždy menší, tak je vždy odečítána od deviace bodu nejbližšího. Proto následující podmínka maximální možné deviace (pro zajištění stále konvergujících očí pozorovatele) vypadá následovně:

$$D_{nhit} - D_{phit} \leq MAOFDS_{mm} \quad (10)$$

Po provedené korekci můžeme spočítat maximální stereoskopickou bázi, abychom zajistili podmínku maximální deviace.

$$\begin{aligned} D_{nhit} - D_{phit} &\leq MAOFDS_{mm} \\ D_n - D_p &\leq MAOFDS_{mm} \\ \frac{B * f}{V_N} - \frac{B * f}{V_P} &\leq MAOFDS_{mm} \\ B * \left(\frac{f}{V_N} - \frac{f}{V_P} \right) &\leq MAOFDS_{mm} \end{aligned} \quad (11)$$

$$B \leq \frac{MAOFDS_{mm}}{\left(\frac{f}{V_N} - \frac{f}{V_P} \right)} \quad (12)$$

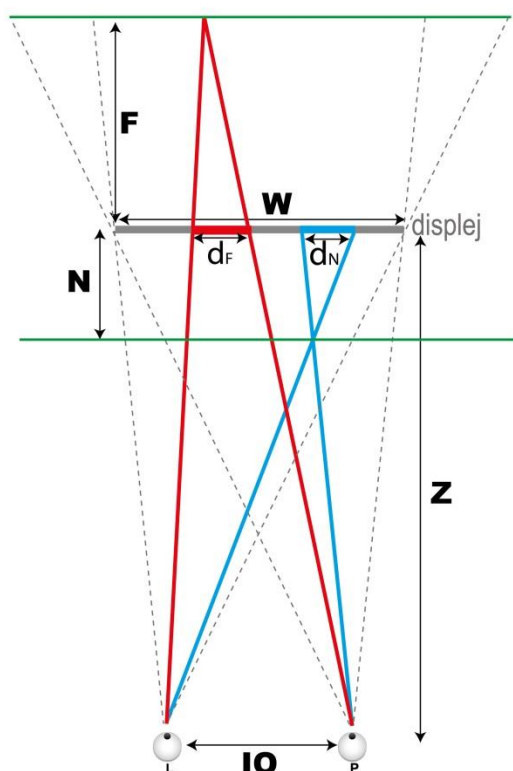
Tímto jsme získali základní vzorec pro výpočet stereoskopické báze [50]. Tento velmi známý vzorec je modifikací Bercovitzovy formule [51]. $MAOFDS_{mm}$ je maximální možná deviace na senzoru, f je ohnisková vzdálenost objektivu, V_N je vzdálenost k nejbližšímu bodu ve scéně, V_P je vzdálenost k nejdálčenějšímu bodu a B je maximální velikost stereoskopické báze pro rovnoběžné osy objektivů.

2.4.2 Metoda 2

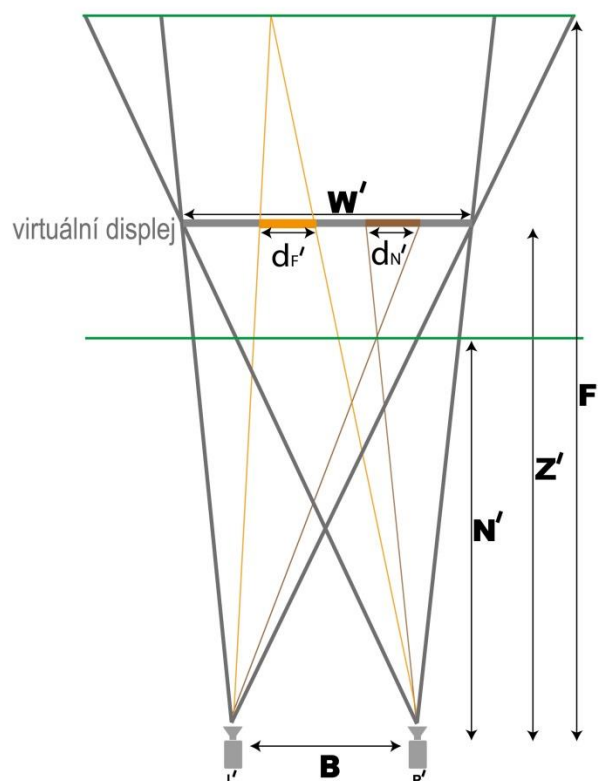
Předchozí metoda výpočtu stereoskopické báze je jednou z nejpoužívanějších díky své jednoduchosti. Existuje několik dalších propracovanějších přístupů k výpočtu báze a nedá se říci, že daný způsob je správný či chybný. Pro srovnání je zde uvedena ještě jiná metoda [52], která propojí vztah pozorovatele, scény a umístění kamer v trochu jiném měřítku. Je potřeba předem znát výsledné zobrazovací zařízení, na kterém bude divák výsledný 3D obraz pozorovat [53]. V práci již bylo vysvětleno, že je velký rozdíl mezi TV obrazovkou a plátnem v kině. Stereo obsah se dle domluvy natáčí vždy pro filmové plátno v kině. Následující výpočet nám však umožní si stereo snímky co nejlépe připravit pro vlastní zobrazovací zařízení.

Na následujícím obrázku jsou 2 režimy. Jeden je zobrazovací, který reprezentuje pozorovatele sledujícího 3D a druhý je příprava a záznam scény pomocí kamer. Opět jsou zde jako v předchozích výpočtech vzdálenosti k nejbližšímu, nejvzdálenějšímu a konvergentnímu bodu. Konkrétní značení všech parametrů je patrné z nákresu *obr.20*.

A) Pozorovatel (Zobrazovací prostor)



B) Kamery (Prostor snímané scény)



Obr. 20 - Zobrazovací a snímání rovina pro výpočet báze

Nejprve je nutné spočítat disparity (paralaxy) na zobrazovacím displeji:

$$d_N = \frac{N IO}{Z - N} \qquad d_F = \frac{F IO}{Z + F} \qquad (13)$$

Dále také disparity při záznamu scény. Získáme je díky podobnosti trojúhelníků:

$$d'_N = \frac{B (Z' - N')}{N'} \qquad d'_F = \frac{B (F' - Z')}{F'} \qquad (14)$$

Z těchto rovnic je patrné, že nyní máme 2 neznámé. Jednou z nich je požadovaná báze (B) a druhou je vzdálenost (Z') umístění stereoskopického okna (virtuální displej).

Disparity na displeji a při snímání nejsou velikostně totožné, nicméně jsou ve stejném poměru. Můžeme si tedy dovolit napsat rovnici poměru ($r = \text{ratio}$):

$$r = \frac{d_N}{d_F} = \frac{d'_N}{d'_F} = \frac{F' (Z' - N')}{N' (F' - Z')} \qquad (15)$$

Nyní nám z rovnic vypadla jedna neznámá (B), a tak není problém dopočítat druhou:

$$Z' = \frac{r F' N' + F' N'}{F' + r N'} \qquad (16)$$

Takto se nám povedlo přenést hloubku scény ze snímání do zobrazovací roviny. Pro správné nastavení stereo báze se bližší objekty napočítají do N vzdálenosti před displej. A ty v pozadí zase do vzdálenosti F za displej (*obr.20A*).

Pokud chceme zakomponovat nastavení kamer, je potřeba zahrnout zorný úhel (θ), ohniskovou vzdálenost (f) nebo šířku senzoru (W_f).

$$W' = 2 Z' \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{W_f}{2f} \qquad (17)$$

Díky tomu si můžeme napsat scale faktor (S) mezi virtuálním a zobrazovacím displejem:

$$S = \frac{W'}{W} \qquad (18)$$

Opět z podobnosti trojúhelníků a z úvahy ($d'_N = S d_N$) se dá báze spočítat následovně:

$$B = \frac{d'_N N'}{Z' - N'} = \frac{S d_N N'}{Z' - N'} \qquad (19)$$

Při paralelním snímání kamer je potřeba snímek ořezat, a proto se nově vypočítají $FOV, f, crop$.

$$\theta' = 2 \arctan\left(\frac{W' + B}{2 Z'}\right) \quad (20)$$

$$f' = \frac{W_f}{2 \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right)} = \frac{W_f Z'}{W' + B} \quad (21)$$

$$crop = \frac{B}{W' + B} \quad (22)$$

Jelikož počítáme s ořezem, tak se rovnice (17) lehce upraví do jiného tvaru:

$$W' + B = 2 Z' \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (23)$$

Scale faktor nyní bude vypadat takto:

$$S = \frac{W' + B}{W + \frac{B}{S}} \quad (24)$$

Rovnici (19) si upravíme na tvar:

$$\frac{B}{S} = \frac{d_N N'}{Z' - N'} \quad (25)$$

Nyní už máme vše potřebné pro závěrečný vzorec. Substitucí předešlé rovnice do (24), a pak dále do (19), získáme finální vzorec pro výpočet stereoskopické báze.

$$\mathbf{B} = \frac{2 Z' \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) d_N N'}{W(Z' - N') + d_N N'} \quad (26)$$

2.5 Stereoskopické chyby

Ve stereoskopii se vyskytuje řada geometrických, barevných a obsahových chyb. Většinou se dá předejít již při samotném snímání. Abychom se těmto chybám mohli úspěšně vyhnout, je potřeba znát jejich příčinu vzniku. Velmi podrobnému popisu jednotlivých chyb se věnují autoři knihy [54]. Pro lepší představu se v příloze 4.3 této práce nachází názorná ukázka v podobě obrázku, který jsem použil už ve své bakalářské práci [55]. Originální obrázek jsem převzal a upravil ze zdroje volně dostupného na internetu [56]. Na obrázku je přehled nejčastějších chyb vzniklých při snímání stereoskopického obrazu, jejich příčina a způsob korekce. Ve velké většině případů se pozdější korekční úpravy provádějí pomocí složité postprodukce. Takováto finální postprodukce je časově a finančně velmi náročná. Za účelem uvedení do problematiky, následuje jednoduchý přehled základních stereoskopických chyb.

Chyby způsobené geometrií snímku mohou být zapříčiněny nesprávným nastavením pozice jedné kamery nebo technickou chybou v zařízení. Dva stejné modely objektivu nemusí být naprosto identické. Vlivem výroby může dojít k nepatrným odlišnostem, které se následně projeví v obraze. Dochází pak k vertikálnímu posunu, který je nutné korigovat. Pokud známe rozdíly, můžeme je kompenzovat již při snímání například náklonem jedné z kamer. Korekce se dá také provést na počítači následnou postprodukční úpravou geometrie snímku. Diference v objektivěch kamer mají na svědomí také barevné nebo světelné rozdíly snímků. Jednotlivé obrazy se mohou nepatrně lišit v barevném podání. Jeden snímek může být světlejší a druhý tmavší nebo může mít každý z nich rozdílnou ostrost. Polarizací kamer mohou být způsobeny odlišné odrazy a odlesky na levém a pravém snímku. Všechny zmíněné chyby jsou zapříčiněny špatným nastavením obou kamer nebo objektivy. Veškeré parametry jako jsou například clona, časová závěrka, barevná teplota a mnoho dalších, musíme na obou kamerách nastavit naprosto stejně a díky tomu předejdeme zmíněným problémům. V nepříznivém prostředí musíme dbát také na čistotu skel, jelikož špína a prach nám ovlivní diferenci obrazů.

Při snímání stereoskopického obrazu může dojít k časové desynchronizaci mezi snímky. S časovým posunem mezi kamerami dochází ke změnám v obsahu snímků a následně pak ke špatnému spočítání jednotlivých parallax. Synchronizace je proto mezi oběma kamerami velmi podstatná. Časové desynchronizaci se dá předejít použitím totožných kamer, které mají shodné vlastnosti nastavení. Dnes se používají speciální přístroje, které umožní synchronizaci parametrů připojených kamer [57][58]. Profesionálnější kamery už dnes mají „Genlock“ standardně zabudován.

Kompozice obsahu stereoskopické scény je další chybou ovlivňující kvalitu stereo obrazu. Chybou kompozice se objekty nemusí nacházet ve správné hloubce scény. Následné řešení problému je velmi náročné a je potřeba složité postprodukce. Stejně tak při záměně vrstev v jednotlivých obrazech a při vizuálních rozdílech, kdy se objekty ve scéně neshodují na levém a pravém snímku. Velmi důležité je samotné umístění stereoskopického okna, které jsme si popsali dříve v kapitole 2.1.4. Při nesprávném umístění může dojít k hyperkonvergenci, kdy se objekty nacházejí v příliš velké blízkosti pozorovatele, než aby se zobrazily správně. Opakem je chyba označovaná jako hyperdivergence. Objekty se vyskytují v příliš velké vzdálenosti pro pohodlné pozorování. S umístěním SW také souvisí zarovnání hran snímku. Rozdílné ohraničení způsobené například odlišnou velikostí snímku se dá vyřešit odstraněním přebytečného okna. Za zmínku ještě stojí špatná editace. Záměna snímků tedy prohození pravého a levého obrazu je způsobena chybnou správou dat.

2.5.1 Cardboard Effect

Efekt označovaný anglickým termínem „Cardboard Effect“ je typické stereoskopické zkreslení ovlivňující vnímanou hloubku scény. Při pozorování stereo snímku pod vlivem tohoto efektu je vjem hloubky velmi nepřirozený. Všechny objekty se jeví jako ploché a celá scéna je rozdělena z hlediska hloubky do diskrétních rovin [59]. Zjednodušeně řečeno, obraz připomíná dětskou papírovou knížku, ve které jsou rozevírací obrázky – leporelo. Cardboard efekt lze zařadit do kategorie artefaktů [60][61]. Je ovlivněn řadou parametrů jako například stereoskopickou bází, volbou objektivů, bodem konvergence atd. Podrobné studium o vlivu jednotlivých faktorů na výsledný Cardboard efekt můžeme najít v literatuře [62]. K tomuto nežádoucímu efektu nejčastěji dochází, když snímáme předměty ve velké vzdálenosti, na kterých se zároveň nachází konvergenční bod. Při konvergentním nastavení kamer můžeme efekt redukovat zvětšením stereoskopické báze, zkrácením vzdálenosti k bodu konvergence nebo navýšením pozorovací vzdálenosti. Není však možné zvětšit rozestup kamer na velkou vzdálenost, jelikož 3D obraz zahrnuje objekty v popředí i v pozadí. Při extrémní interaxiální vzdálenosti by docházelo k velké binokulární disparitě a stereoskopický jev by nebyl patrný.

2.5.2 Puppet Theater Effect

Rušivý efekt, který způsobuje, že lidé vypadají jako animované loutky, se nazývá „Puppet Theater Effect“. Jde o zkreslení rozměrů, kde se lidé zobrazí v nepřirozeně malém měřítku [63]. Tento efekt je obtížně definovatelný. Při stereoskopické reprezentaci na malém displeji naše pozorovací vzdálenost a úhel nekorespondují s běžnými podmínkami reálného prostředí. Obraz se proto jeví jako miniaturizace reálné scény. Jak bude pozorovatel celou scénu vnímat, je ovlivněno například jeho zkušeností a znalostí rozměrů daných předmětů. Nikdo není schopen určit rozměry objektu, který nikdy předtím neviděl. Existují zobrazovací techniky založené na autostereoskopických displejích, které jsou schopny negativní efekt redukovat [64]. Loutkový efekt není vnímán jako fyzicky měřitelné množství, ale spíše jde o pojem, který může být subjektivně hodnocen. Avšak pokus o objektivní hodnocení je popsán v [65], kde bylo zároveň dokázáno, že ortho-stereoskopické paralelní snímání a zobrazovací techniky nezpůsobují výrazný miniaturizační efekt. Bylo zjištěno, že při paralelním nastavení kamer nezáleží na vzdálenosti snímání, kdežto při konvergentním nastavení je tato informace velmi podstatná [7].

2.5.3 Crosstalk

Přeslechy (Crosstalk) ovlivňují kvalitu stereoskopického vjemu a způsobují namáhání očí. Hlavní příčinou je nesprávné odlišení levého a pravého obrazu během pozorování finálního stereoskopického snímku. Crosstalk je vnímán jako televizní artefakt (ghosting), který se projevuje jako tzv. duchové, stíny nebo dvojité kontury [66]. Rozsah přeslechu je ovlivněn převážně dvěma faktory. Pozicí pozorovatele vzhledem k zobrazovacímu displeji a kvalitou jeho optických filtrů. Extrémním případem crosstalku je reverzní stereo snímek, kde levé oko vidí obraz reprezentující pravý pohled a pravé oko pro změnu pohled levý [67]. K přeslechům může docházet například při špatném seřízení projektoru s pozorovacími brýlemi. V případě pasivní projekce musí mít divák své polarizační brýle správně nasazené a neměl by hlavu naklánět na stranu. Je také žádoucí, aby monitor nebo projektor neměli žádný dosvit. To znamená, že nesmí doznívat obraz pro pravé oko v okamžiku rozsvícení obrazu určený levému. Touto problematikou se zabývá například A. J. Woods [68][69]. Tento technologický problém negativně ovlivňuje nejen kvalitu obrazu, ale také jeho celkovou hloubku a vizuální pohodlí pozorovatele.

3 Tvorba stereoskopického obsahu

V této části práce si rozepíšeme postup přípravy vlastního stereoskopického materiálu. Při tvorbě obsahu se vycházelo z teoretických předpokladů popsaných v kapitole 2 - *Metodika snímání stereoskopické scény*. Třetí kapitola je členěna do několika částí, kde si nejdříve uvedeme základní informace o přípravě scén včetně použitého zařízení. Poté nastíníme, jak vznikaly testovací sekvence, které byly hodnoceny skupinou pozorovatelů při subjektivních testech. V poslední části si uvedeme, jaký vliv měly jednotlivé scény na vizuální pohodlí diváka a srovnáme si získané poznatky s teoretickými předpoklady.

3.1 Potřebné nástroje

V kapitole 2.2 a 2.3 jsme se dočetli o technických možnostech pro snímání stereo scény. Z těchto poznatků jsme vycházeli při sestavení vlastního systému. Pro naše potřeby jsme využili 2 kamery značky Blackmagic [70], které byly přimontovány na speciální SBS rig [71], který umožňoval nastavit vzájemný horizontální posun kamer. Minimální rozestup optických os obou objektivů, který systém umožňoval, byl 8 cm. Tato vzdálenost byla pro některé scény stále příliš velká, a proto se využilo univerzálního řešení, kdy se použil Canon 5D mark III s volitelnými objektivy. Díky tomu jsme mohli nastavit interaxiální vzdálenost dle našich požadavků. Za pomoci teleobjektivů jsme byli schopni určit také konvergenční bod, a to nám umožnilo používat metodu Toe-in (kapitola 2.3.2). Celá konstrukce kamer byla umístěna na stativ Manfrotto Tripod 028 [72] s hlavou Manfrotto 141 [73]. Díky této sestavě jsme vytvořili plnohodnotný systém pro většinu scén.

Podle informací z kapitoly 2.4 byl sestaven jednoduchý kalkulátor pro výpočet stereoskopické báze. Ukázkou vytvořeného kalkulátoru můžeme vidět v příloze 4.4. Pro výpočet stačí zadat základní informace o snímacím senzoru kamery, ohniskovou vzdálenost objektivů a požadovanou deviaci na senzoru. Dále pak údaje o pozorovacím zařízení, na kterém budeme výsledný stereo snímek sledovat. Zastoupení scény zde reprezentuje vzdálenost nejbližšího, nejvzdálenějšího a konvergenčního bodu. Po zadání všech těchto údajů vypočteme hodnotu stereoskopické báze, kterou využijeme při snímání. Tato konkrétní hodnota je však doporučená a záleží pouze na našem uvážení, jakou bázi zvolíme.

3.2 Příprava scén

Nyní si řekneme něco k samotným scénám, které byly připraveny. Během snímání bylo zaznamenáno množství scén, z nichž se pro hodnocení následně vybralo 24 reprezentujících. Tyto scény pokrývají škálu technických parametrů, které mají vliv na snímání stereo snímek. Hlavní parametry ovlivňující scény jsou převážně stereoskopické okno a báze. Účelem testovacích sekvencí bylo zjistit vliv těchto parametrů na vizuální pohodlí diváka. V balíku sekvencí se nachází scény nejen interiérové a exteriérové, ale také uměle vytvořené. Všechny scény bylo potřeba postprodukčně upravit pomocí softwaru z řady Adobe (Photoshop, Premiere) [74].

Na prvních třech scénách je interiérový snímek části květináče před oknem. Scéna byla nasnímana dle výpočtů s 2cm stereoskopickou bází. Snímalo se s 70mm ohniskem, kdy nejbližší předmět (rám stolečku) byl vzdálen 2,2 m a nejvzdálenější (budovy v pozadí) přibližně 400 m. Vzhledem k tomu, že se květináč nachází záměrně na okraji snímku, dochází k porušení stereoskopického okna. Postupně bylo umístění SW postprodukčně upraveno. Na **prvním snímku** se SW nachází na úrovni budov v pozadí a veškerý další obsah scény je před tímto oknem. Jde o principiální ukázkou běžně nasnímané scény pomocí paralelních kamer. Ve **snímku 2** je SW posunuto na rám kliky otevřeného okna. Stále dochází k principiálně chybné scéně, jelikož je květináč na okraji snímku opět v popředí SW. Na **třetím snímku** je SW umístěno na hranici květináče a jediný objekt, který se vyskytuje v popředí, jsou titulky. Takováto scéna by měla být pro pozorovatele vyhovující z hlediska umístění SW. Nicméně rozsah hloubky je díky ohnisku a vzdálenosti objektů ve všech třech scénách značně velký.

Čtveřice snímků 4 až 7 byla nasnímana 50mm ohniskem s bází 1,5 cm. Na scéně se nachází průhled oknem ven z místnosti. Zde byl simulován nejen posun SW, ale zároveň také změna ostrosti. Na **snímku 4** je SW umístěno v pozadí, zatímco na **pátém** v popředí. Na obou snímcích je pozadí rozostřené. Kdežto další dva snímky mají ostré pozadí a rozmazané popředí. Umístění SW je však obdobné jako v předchozích dvou, tedy **snímek 6** má SW v pozadí a **snímek 7** na nejbližším předmětu (hrana stěny).

Další trojice se od předešlých liší perspektivou a ostrostí. Téměř celý snímek je vždy ostrý díky velké hloubce ostrosti a malé ohniskové vzdálenosti, která byla 16 mm. Umístění SW se na **snímku 8** nachází v rovině budov v pozadí. **Snímek 9** má SW umístěno dle teorie na nejbližší předmět, což jsou v tomto případě žaluzie v levé části obrazu. Jediný předmět s negativní paralaxou je opět titulky, který navozuje lepší 3D efekt ve scéně. **Snímek 10** je extrémní případ s nadměrně posunutým stereoskopickým oknem. Dochází k porušení základních pravidel a tento snímek by se

měl pozorovateli jevit jako značně nepříjemný. Je zde porušeno umístění SW, celková hloubka scény a negativní paralaxa je o hodně větší než interokulární vzdálenost.

Abychom zjistili také vliv stereoskopické báze, byly vytvořeny čistě studiové (interiérové) scény. Na nich se vyskytují předměty v rozdílné vzdálenosti od snímacích kamer. Nejbližší předmět se nacházel ve vzdálenosti 1,45 m a pozadí bylo 2,6 m. Pro 50mm ohnisko byla napočítána maximální báze 4,2 cm. Vytvořeny byly 4 snímky s rozdílnou stereo bází. **Snímek 11** měl bázi 1 cm. Maximální vypočítaná báze (4,2 cm) se nachází na **snímku 12**. Další dva mají bázi záměrně větší. Konkrétně **snímek 13** má velikost báze 6,5 cm a **snímek 14** dokonce 9 cm. Tyto 4 scény byly snímány s paralelním nastavením kamer, proto se SW vyskytovalo v nekonečnu. Z toho důvodu byl účelně vytvořen **snímek 15**, kde bylo SW umístěno na určený objekt ve scéně pomocí HIT. Vzhledem k tomu, že jsou vzdálenosti mezi jednotlivými objekty malé, bylo SW umístěno do stejné roviny jako květináč s kyticí. Ležící knihy a ovladač se vyskytují v popředí v negativní paralaxe, zatímco stojící kniha a pozadí scény zas v pozitivní paralaxe. Díky malým vzdálenostem není porušena celková hloubka scény, a proto by se mělo jednat o přijatelný snímek z hlediska pozorování. Obsah scény i umístění stereoskopického okna je na **snímku 16** naprosto stejný jako v předchozím. Přesto byla scéna nasnímána konvergenční metodou a s větší stereoskopickou bází. Toto nastavení scény si klade za cíl zjistit, zda můžeme libovolně modifikovat parametry, aniž by došlo k výrazné vizuální změně pozorovaného snímku. Velkou nevýhodou je zkreslení na okrajích snímku. Posun SW na nejbližší předmět je pozorovatelný na **snímku 17**. V negativní paralaxe je záměrně umístěn titulek, který umocňuje prostorový efekt.

Trojice následujících snímků je čistě uměle vytvořená scéna. Jedná se o kompozici náhodně zvolených objektů. V popředí scény se nachází holub a v pozadí létající balón. Na **snímku 18** dochází k porušení celkového rozsahu hloubky, jelikož je negativní i pozitivní paralaxa příliš velká. Ve **snímku 19** je speciální případ, kdy je holub nevhodně umístěn do pozitivní paralaxy, čili do pozadí a balón do negativní paralaxy, tedy do popředí snímku. Vzhledem k relativní velikosti (viz. kapitola 1.3.1) je tato scéna nepřírozená a velmi matoucí. **Dvacátý snímek** je sestaven již správně. Holub by se měl jevit před plátnem a balón v pozadí. Díky rozměrům paralax by hloubka scény měla působit zcela přirozeně.

Poslední 4 snímky byly pořízeny v exteriéru s výhledem na Pražský hrad. Při takovýchto scénách je SBS rig vhodné řešení. Díky paralelnímu snímání je na **snímku 21** SW umístěno v pozadí scény konkrétně za Pražským hradem. Celý obsah scény se proto nachází v popředí. Pro **snímek 22** bylo SW umístěno na zábradlí s provazy, a tak se většina obsahu scény přesunula do pozadí. **Snímek 23** je zachycen s velkou hloubkou ostrosti a nenachází se v něm žádný významný

motiv. SW je umístěno opět v pozadí. Jde o komplexní širokoúhlou scénu s velkým množstvím objektů, ve které se záměrně vyskytuje mnoho artefaktů. Pro srovnání je zde ještě poslední **snímek 24**, kde se vyskytuje pouze několik budov s Pražským hradem. Na této scéně je SW umístěno na nejbližší bod ve scéně.

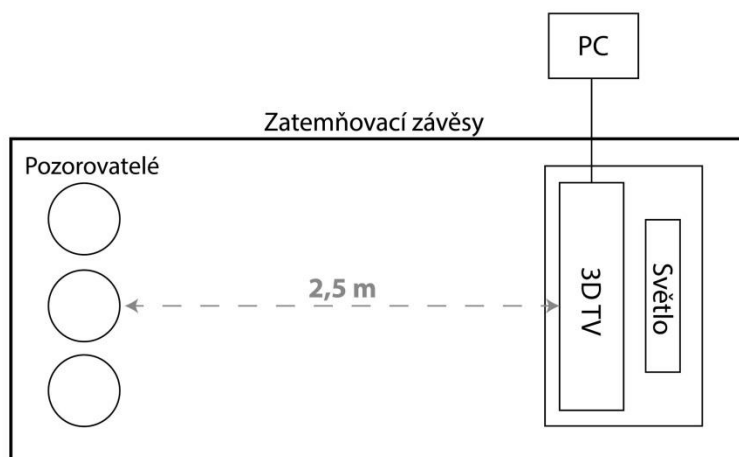
Ze všech zmíněných snímků byly vytvořeny tři testovací videosekvence. Všechny jednotlivé snímky byly v každé sekvenci náhodně seřazeny, aby se předešlo ovlivnění způsobené pořadím snímků. Každá skupina hodnotila jednu videosekvenci. Doba zobrazení jednoho testovacího snímku v sekvenci byla 30 vteřin, během kterých mohl pozorovatel hodnotit příslušnou scénu. Doba zobrazení testovacího snímku byla experimentálně stanovena, aby měl divák dostatek času si celou scénu prohlédnout a ohodnotit každý parametr zvlášť. Po hodnoceném snímku následoval 10 sekundový obraz s neutrálně šedou barvou, při kterém si oči pozorovatele odpočinuly. Celková doba testu včetně instruktáže nepřesahovala 30 min.

3.3 Subjektivní hodnocení scén

Výše popsané videosekvence bylo potřeba otestovat pomocí subjektivních testů. Při subjektivních testech hodnotí skupina pozorovatelů kvalitu snímku na základě svých vlastních pocitů. Jejich odpovědi se zaznamenají a následně statisticky zpracují. Pro naše subjektivní testy bylo potřeba nejprve připravit hodnotící pracoviště. K tomuto účelu jsme využili prostory Centra asistivních technologií, které se nachází na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze. Zde byly vytvořeny ideální podmínky pro subjektivní testování [75]. Na *obr.21* můžeme vidět schéma testovacího pracoviště a v *příloze 4.5* najdeme ukázkou reálných fotografií pořízených během testování. Pro hodnocení byla použita pasivní technologie [76], kde pozorovatel pomocí polarizovaných brýlí sleduje stereoskopický snímek na 3D televizi. K dispozici byla LG 47LW650S [77], která byla umístěna na vzdálenost 2,5m od pozorovatelů. Za televizí bylo umístěno regulovatelné světlo, abychom vizuálně oddělili televizi od tmavého pozadí. Celý prostor byl díky černým sametovým závěsům zatemněn. Kontrola osvětlení pracoviště se provedla pomocí Sekonic expozimetru L-758 Cine [78]. Jelikož byl ovládací počítač umístěn mimo hodnotící prostor, nevyskytovaly se v okolí pozorovatelů žádné rušivé elementy, které by mohly ovlivnit jejich hodnocení.

I přesto, že je pasivní projekce uzpůsobena pro větší počet diváku, bylo nutné, aby měli všichni téměř stejné podmínky z hlediska pozice k vysílací obrazovce. Proto byla jedna hodnotící skupina omezena na 3 členy. Před zahájením subjektivního hodnocení byla provedena instruktáž,

kde byli všichni členové hodnotící skupiny seznámeni s průběhem celého testu, aby se předešlo komplikacím v samotném průběhu. Pro účely subjektivního hodnocení byl vytvořen dotazník, který každý hodnotitel obdržel a prohlédl ještě před samotným testem. Ukázka hodnotícího dotazníku se nachází v příloze 4.1. Testy byly postaveny na základě určení dojmu ze scény a vizuálního pohodlí pozorovatele. Na sedmistupňové škále měl pozorovatel možnost vyjádřit své pocity z promítané scény. Nejvyšší sedmibodové ohodnocení reprezentovalo „nejkvalitnější“ (nejefektivnější) snímek, zatímco nejnižší známka odpovídala oku nejméně příjemnému snímku. Dotazník byl sestaven na základě předešlých zkušeností, aby nedošlo ke zmatení subjektu. Proto se také hodnotily čtyři základní parametry. Prvním parametrem byla efektivnost stereoskopického vjemu neboli celkový dojem ze scény. Tento parametr byl velmi komplexní, jelikož vycházel nejen z prvního dojmu pozorovatele, ale také z celkového konceptu scény. Ve scénách se totiž nacházely záměrně rušivé elementy (špatné umístění stereoskopického okna, artefakty), které ovlivnily celkový vjem. Parametrem hloubka scény vyjádřil divák svůj názor na 3D efekt. V hodnocených scénách se objevuje záměrně upravená hloubka, a proto měl pozorovatel možnost vyjádřit, zda se mu líbí, anebo se mu zdá přehnaná či nedostatečná. Testovací snímky obsahují jistý vliv artefaktů, jehož viditelnost se zkoumala pomocí třetího parametru. Posledním hodnoceným parametrem bylo vizuální pohodlí diváka, kde hodnotitel zaznamenával, zda při pozorování snímku pociťuje namáhání očí.



Obr. 21 - Schéma testovacího pracoviště

3.4 Vyhodnocení

Subjektivního hodnocení se nejprve zúčastnilo 31 osob. Celkový počet hodnotících osob však musel být posléze upraven na 30 subjektů, jelikož jedna osoba se svým hodnocením značně vychylovala od ostatních. Aby nedošlo k ovlivnění výsledků, byl tento subjekt vyřazen z celkového hodnocení. Testovací videosekvence hodnotilo 24 mužů a 6 žen. Podrobné informace o hodnotitelích se nachází v *příloze 4.2*. Průměrný věk hodnotitelů byl 25 let. Oči pozorovatelů jsou namáhány v průměru asi 56 hodin týdně, protože velká většina uživatelů stráví značnou část dne před obrazovkou počítače nebo televize. Nikdo z pozorovatelů netrpěl žádnou vážnější zrakovou vadou, pouze 5 hodnotitelů nosí brýle (nikdo nepřesáhl 1,5 dioptrie).

Kromě dvou osob měli všichni účastníci testu předešlou zkušenost s 3D. Nejčastěji se jednalo o kino, které zmínilo 26 osob. Dnes je běžné, že mnoho lidí vlastní 3D televizory nebo dokonce 3D monitory. To potvrzuje i průzkum, kde 19 zúčastněných potvrdilo své zkušenosti s 3D TV a 8 osob vlastnilo dokonce stereoskopický PC displej. Čtrnáct lidí v dotazníku uvedlo své zkušenosti se stereo obrázky. Stereogramy byly dříve velmi populární, dnes jsou nástrojem marketingu a dalo by se říci, že jejich popularita opět narůstá.

Po ukončení subjektivního testu, ještě každý účastník vyplnil poslední část dotazníku. Ta byla zaměřena na negativní příznaky, které se mohly během testu projevit. Všichni účastníci do jednoho pociťovali během některých scén bolesti očí. Jelikož se v testovací videosekvenci vyskytovaly také záměrně nevhodně nastavené scény (umístění SW), je tento efekt pochopitelný. S tím také souvisí problémy se zaostřením, které zaznamenalo 24 lidí. Patrné to bylo zejména u scén 10, 18 a 19. U některých jedinců se po skončení testů dostavila také bolest hlavy (8 lidí). Převážně u lidí s brýlemi se projevovalo rozmazané vidění (4 osoby). Dva lidé pociťovali během hodnocení nepohodu a jeden dokonce nevolnost. Žádný z pozorovatelů nezaznamenal během testu závratě nebo další zdravotní problémy.

Nyní si srovnáme jednotlivé scény dle vyhodnocení subjektivních testů. Všechny podrobnější detaily se nachází v tabulkách v příloze 4.2, kde jsou zaznamenány jednotlivé odpovědi všech zúčastněných. Maximální získané skóre u jednoho snímku mohlo být 7 bodů a minimální 1. Následující grafy jsou sestaveny na základě průměrných hodnot obdrženo skóre ($\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3 \dots$). Pro každý parametr bylo skóre vypočítáno zvlášť a následně vyneseno do grafu. Snímky jsou porovnány na základě obsahu scény. Abychom mohli vzájemně porovnat napočítané průměry, zvolili jsme statistickou metodu párového **t-testu** [79]. Byla stanovena nulová hypotéza, že snímky jsou naprosto stejné (neliší se) a alternativní hypotéza – snímky jsou z hlediska vjemu rozdílné. Jelikož bylo 30 hodnotitelů, tak byl počet stupňů volnosti nastaven na 29. Pro hladinu významnosti testu byla určena chyba $\alpha=0,05$ a díky tomu dostáváme 95% jistotu správného rozhodnutí (konfidenční interval). Pro porovnávané snímky byly nejprve stanoveny rozdíly párových hodnot. Z nich byl spočítán aritmetický průměr pomocí vzorce:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (27)$$

Kde \bar{d} je aritmetický průměr párových hodnot, d_i je rozdíl hodnot skóre, kterou udělil pozorovatel daným snímkům a N je celkový počet pozorovatelů. Dále je potřeba spočítat směrodatnou odchylku (σ) a rozptyl, což je kvadrát směrodatné odchylky.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2}{N - 1}} \quad (28)$$

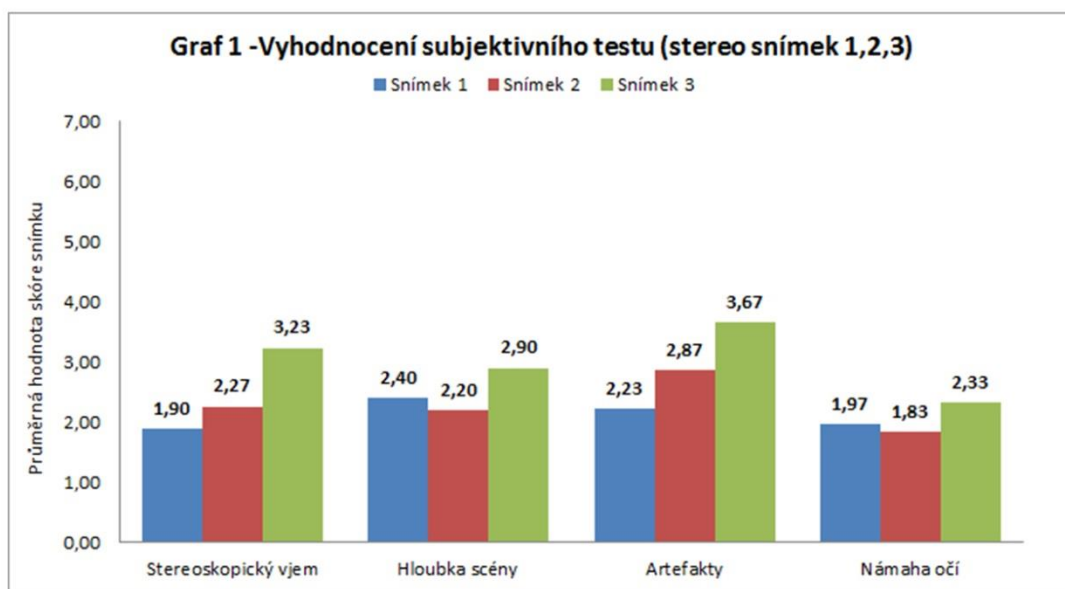
$$var = \sigma^2 \quad (29)$$

Teď už máme všechny potřebné veličiny pro výpočet hodnoty t pro párový test, která se vypočte dle následujícího vzorce:

$$t = \frac{|\bar{d}|}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}} \quad (30)$$

Vypočtená hodnota se porovnává s kritickou hodnotou z tabulky kvantilů [80], která se vyhledá na základě stupňů volnosti a zvolené pravděpodobnosti ($t_{krit} = 2,045$). Pro jednovýběrový párový t-test při překročení této hodnoty můžeme zamítnout nulovou hypotézu a přijmeme alternativní.

Na prvních třech snímcích (1, 2, 3) se na scéně objevuje část květináče na levém okraji snímku. Jde o close-up detail s přepalem v pozadí, a proto není scéna umělecky vydařená. Už z průměrných hodnot, které všechny snímky obdržely, vyplývá, že nepatří mezi nejlépe hodnocené. Pokud však srovnáme zmíněné tři snímky navzájem, tak nejlepší skóre ve všech parametrech získal snímek 3, na kterém je kompenzace porušení SW. Z hlediska celkového dojmu byl tento snímek divákovi nejpřirozenější. Nejmenší skóre získal snímek 1, ve kterém jsou osy kamer umístěny paralelně bez korekce. Druhý snímek, kdy je SW umístěno uprostřed scény, byl při posuzování hloubky a námahy očí dokonce horší, než první. Důvodem byla příliš velká negativní paralaxa. Při výpočtech vychází hodnoty $t > t_{krit}$ a z toho vyplývá, že je statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými snímky. Je patrné, že pozorovatel byl schopen rozlišit změnu umístění stereoskopického okna.

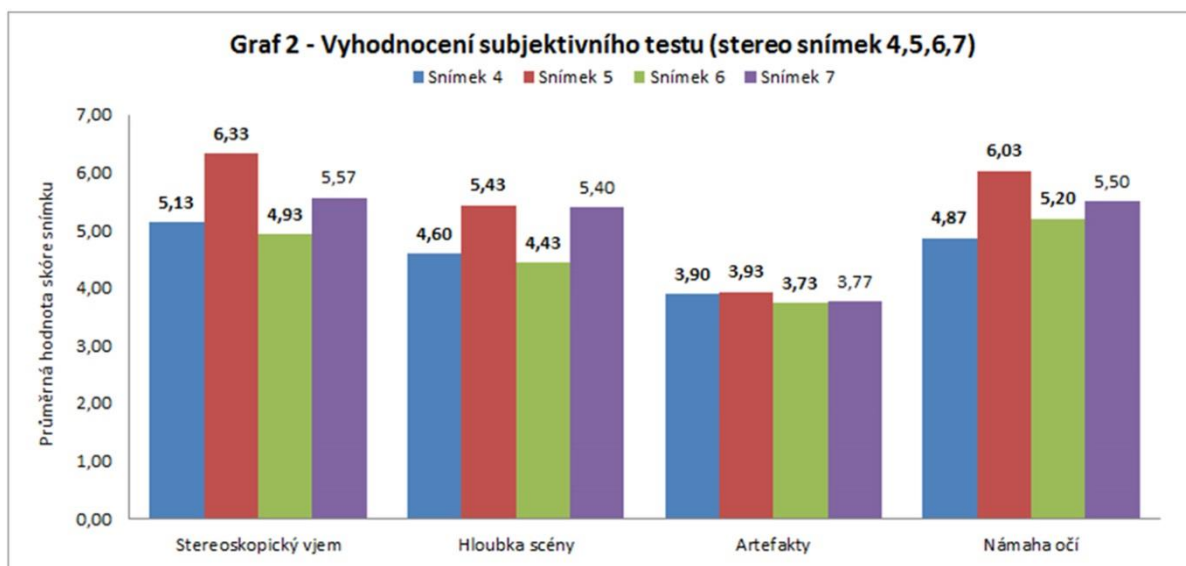


Vyhodnocení - scéna 1 vs 3						
Parametr	\bar{s}_1	\bar{s}_3	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	1,90	3,23	1,40	1,22	1,49	6,18
Hloubka scény	2,40	2,90	0,97	0,67	0,45	7,79
Artefakty	2,23	3,67	1,43	0,94	0,87	8,25
Námaha očí	1,97	2,33	1,10	0,88	0,78	6,70

Vyhodnocení - scéna 2 vs 3						
Parametr	\bar{s}_2	\bar{s}_3	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	2,27	3,23	1,10	0,88	0,78	6,70
Hloubka scény	2,20	2,90	0,83	0,79	0,63	5,67
Artefakty	2,87	3,67	1,13	0,78	0,60	7,86
Námaha očí	1,83	2,33	1,10	1,03	1,06	5,76

Obr. 22 - Vyhodnocení 1. skupiny snímků

Další skupina snímků (4, 5, 6, 7) byla pro pozorovatele líbivější, než předchozí. Odpovídá tomu hladina skóre, kterou snímky obdržely. Při srovnání čtvrtého snímku s pátým, vychází lépe snímek 5, kde je SW umístěno v popředí. Stejně tomu je v kombinaci snímku 6 a 7. V této variantě je ostrost snímku zaměřena na pozadí. Pokud budeme srovnávat snímky podle ostrosti, tak hodnotitelé shledali snímek 4 a 5, kdy je ostrost v popředí scény, nepatrně lepším než snímek 6 a 7. Z hlediska hloubky scény jsou obě varianty téměř srovnatelné, avšak scény se SW v popředí mají skóre lepší. Vzhledem k tomu, že do scén nebyly přidány žádné artefakty uměle, tak jsou všechny scény z hlediska těchto chyb obdobné. Námaha očí zde nebyla tak prokazatelná jako v první skupině snímků, a proto tento parametr získal poměrně vysoké ohodnocení. Mezi jednotlivými snímky je opět statisticky významný rozdíl.



Vyhodnocení - scéna 4 vs 5						
Parametr	\bar{s}_4	\bar{s}_5	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	5,13	6,33	1,33	0,96	0,92	7,49
Hloubka scény	4,60	5,43	1,30	1,12	1,25	6,26
Artefakty	3,90	3,93	0,90	0,61	0,37	7,98
Námaha očí	4,87	6,03	1,43	1,01	1,01	7,67

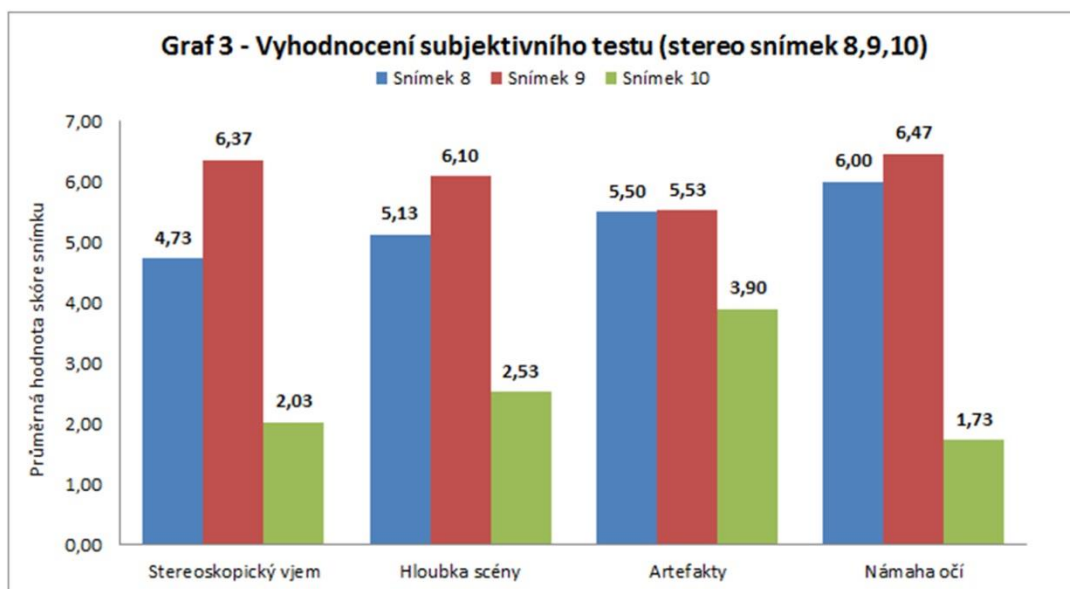
Vyhodnocení - scéna 6 vs 7						
Parametr	\bar{s}_6	\bar{s}_7	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	4,93	5,57	0,97	0,67	0,45	7,79
Hloubka scény	4,43	5,40	1,30	0,95	0,91	7,35
Artefakty	3,73	3,77	1,37	0,89	0,79	8,27
Námaha očí	5,20	5,50	0,63	0,76	0,59	4,46

Vyhodnocení - scéna 4 vs 6						
Parametr	\bar{s}_4	\bar{s}_6	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	5,13	4,93	0,80	0,61	0,37	7,06
Hloubka scény	4,60	4,43	1,30	1,02	1,04	6,85
Artefakty	3,90	3,73	1,23	0,90	0,81	7,40
Námaha očí	4,87	5,20	1,07	0,83	0,69	6,94

Vyhodnocení - scéna 5 vs 7						
Parametr	\bar{s}_5	\bar{s}_7	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	6,33	5,57	1,17	0,79	0,63	7,94
Hloubka scény	5,43	5,40	0,90	0,80	0,64	6,04
Artefakty	3,93	3,77	0,50	0,51	0,26	5,29
Námaha očí	6,03	5,50	1,07	0,74	0,55	7,77

Obr. 23 - Vyhodnocení 2. skupiny snímků

Ve třetí skupině snímků (8, 9, 10) je záběr na okno z perspektivy. Podrobný popis snímků je popsán v kapitole 3.2 - Příprava scén. Extrémní případ na snímku 10 se od zbylých dvou značně liší ve všech parametrech. Docházelo zde k silnému namáhání očí. Příčinou bylo nejspíše problematické vytvoření stereoskopického vjemu. Vše se odrazilo na celkovém dojmu, kde hodnotitelé přiřadili snímku nízkou známku. Poměrně vysoké hodnocení získal snímek 9, kde bylo SW umístěno na nejbližší předmět a pro umocnění 3D vjemu byl do negativní paralaxy umístěn titulek. Scéna se jevila velmi přijatelná pro oči, tomu odpovídá i skóre u parametru artefakty. O něco nižší známky všech parametrů měl snímek 8, který se liší pouze v umístění SW. Z hlediska statistiky jsou snímky od sebe odlišné.

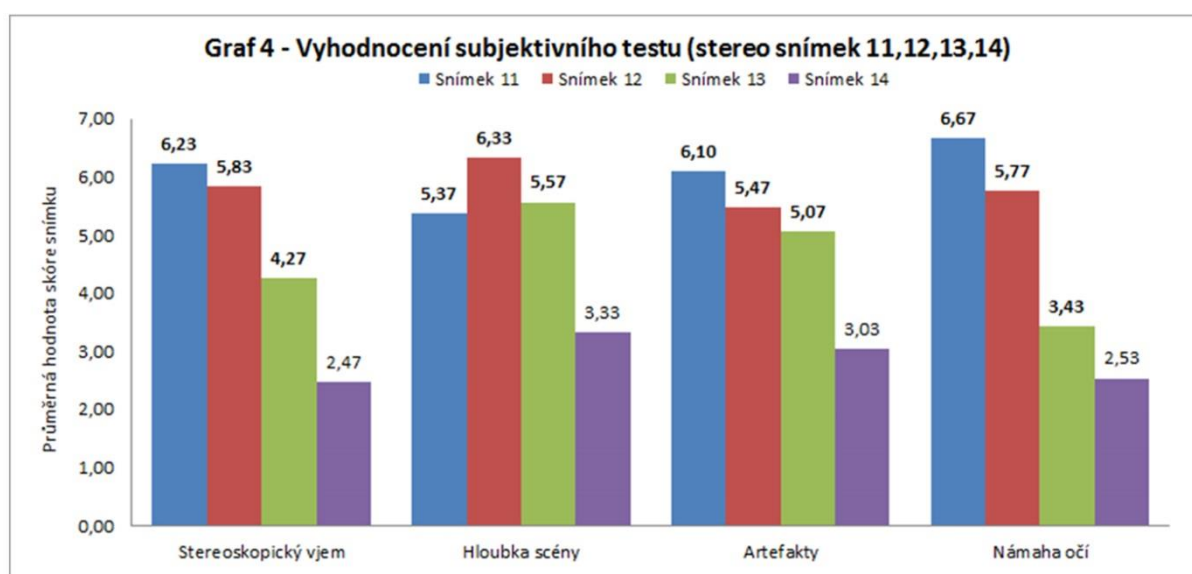


Vyhodnocení - scéna 8 vs 9						
Parametr	\bar{s}_8	\bar{s}_9	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	4,73	6,37	1,63	1,07	1,14	8,25
Hloubka scény	5,13	6,10	1,30	1,06	1,11	6,63
Artefakty	5,50	5,53	0,90	0,76	0,58	6,39
Námaha očí	6,00	6,47	0,93	0,69	0,48	7,27

Vyhodnocení - scéna 9 vs 10						
Parametr	\bar{s}_9	\bar{s}_{10}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	6,37	2,03	1,63	1,07	1,14	8,25
Hloubka scény	6,10	2,53	1,30	1,06	1,11	6,63
Artefakty	5,53	3,90	0,90	0,76	0,58	6,39
Námaha očí	6,47	1,73	0,93	0,69	0,48	7,27

Obr. 24 - Vyhodnocení 3. skupiny snímků

Snímky čtvrté skupiny (11, 12, 13, 14) se liší na základě velikosti stereoskopické báze. Dle vzorců v kapitole 2.4 byla napočítána maximální báze, která se vyskytuje na snímku 12. Z vyhodnocených testů vyplývá, že pozorovatelům se scéna s menší bází jevila o trochu lepší. Hloubka scény roste s bází, avšak větší velikost již přišla hodnotiteli přehnaná a nepřirozená. Stejně je tomu s námahou očí a artefakty. Vše je jasně vidět z následujícího grafu. Snímek 11 má stereo bázi menší a snímky 13 a 14 zase větší než byla napočítaná. Je tedy patrné, že stereo bázi můžeme měnit, avšak musíme se rozhodnout, zda chceme přijatelnější obraz z hlediska artefaktů a námahy očí nebo chceme získat větší stereoskopický vjem.



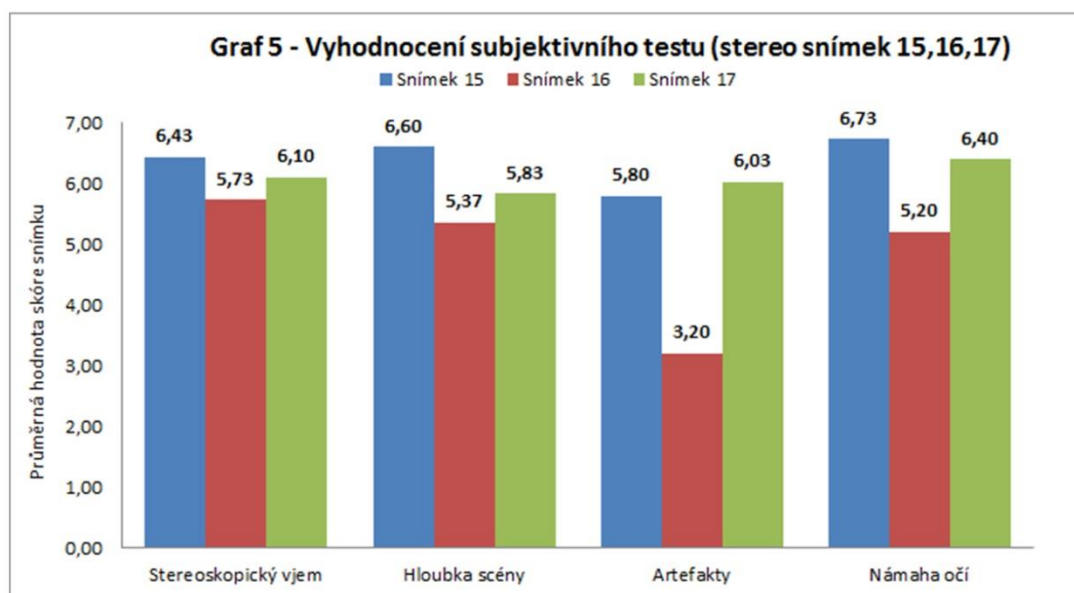
Vyhodnocení - scéna 11 vs 12						
Parametr	\bar{s}_{11}	\bar{s}_{12}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	6,23	5,83	0,87	0,68	0,46	6,85
Hloubka scény	5,37	6,33	1,17	0,95	0,90	6,61
Artefakty	6,10	5,47	0,90	0,80	0,64	6,04
Námaha očí	6,67	5,77	1,17	0,75	0,56	8,41

Vyhodnocení - scéna 12 vs 13						
Parametr	\bar{s}_{12}	\bar{s}_{13}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	5,83	4,27	1,63	0,93	0,86	9,48
Hloubka scény	6,33	5,57	1,10	0,99	0,99	5,95
Artefakty	5,47	5,07	0,67	0,71	0,51	5,05
Námaha očí	5,77	3,43	2,47	1,22	1,50	10,85

Vyhodnocení - scéna 12 vs 14						
Parametr	\bar{s}_{12}	\bar{s}_{14}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	5,83	2,47	3,37	1,19	1,41	15,25
Hloubka scény	6,33	3,33	3,00	1,58	2,48	10,25
Artefakty	5,47	3,03	2,43	1,25	1,56	10,48
Námaha očí	5,77	2,53	3,30	1,44	2,08	12,32

Obr. 25 - Vyhodnocení 4. skupiny snímků

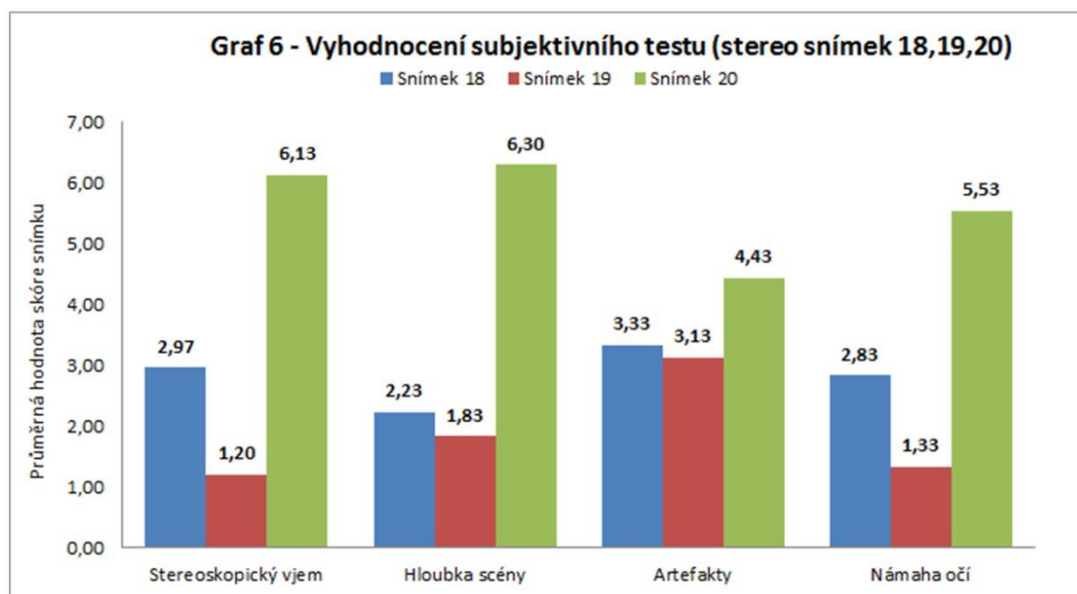
V páté skupině snímků (15, 16, 17) jsme experimentovali s bází a konvergencí. Scéna je studiová a z hodnocení vychází, že byla tato interiérová volba pro diváky přijatelná. Všechny parametry získaly vysoké hodnocení, až na artefakty u snímku 16, které byly způsobeny konvergencí kamer. Docházelo ke vzniku vertikální paralaxy a to se projevilo na okrajích obrazu. Bylo zjištěno, že scénu lze nasnímat s větší bází a konvergencí při získání obdobného stereoskopického vjemu. Nevýhodou však jsou zmíněné artefakty. Ze všech tří byl nejlépe hodnocen snímek 15, kde je SW umístěno uprostřed, v rovině květináče. Nedochozí k porušení SW, proto může být část scény v negativní paralaxě, která je díky vzdálenostem mezi jednotlivými předměty malá. Pozorovatelé tento snímek ohodnotili lépe než snímek 17, kde bylo SW umístěno na nejbližším bodě.



Vyhodnocení - scéna 15 vs 16							Vyhodnocení - scéna 15 vs 17						
Parametr	\bar{s}_{15}	\bar{s}_{16}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t	Parametr	\bar{s}_{15}	\bar{s}_{17}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	6,43	5,73	0,97	0,61	0,38	8,47	Stereoskopický vjem	6,43	6,10	0,73	0,64	0,41	6,17
Hloubka scény	6,60	5,37	1,37	1,00	1,00	7,36	Hloubka scény	6,60	5,83	1,03	0,85	0,72	6,54
Artefakty	5,80	3,20	2,67	1,30	1,68	11,09	Artefakty	5,80	6,03	0,97	0,76	0,59	6,81
Námaha očí	6,73	5,20	1,60	0,89	0,80	9,63	Námaha očí	6,73	6,40	0,67	0,76	0,57	4,74

Obr. 26 - Vyhodnocení 5. skupiny snímků

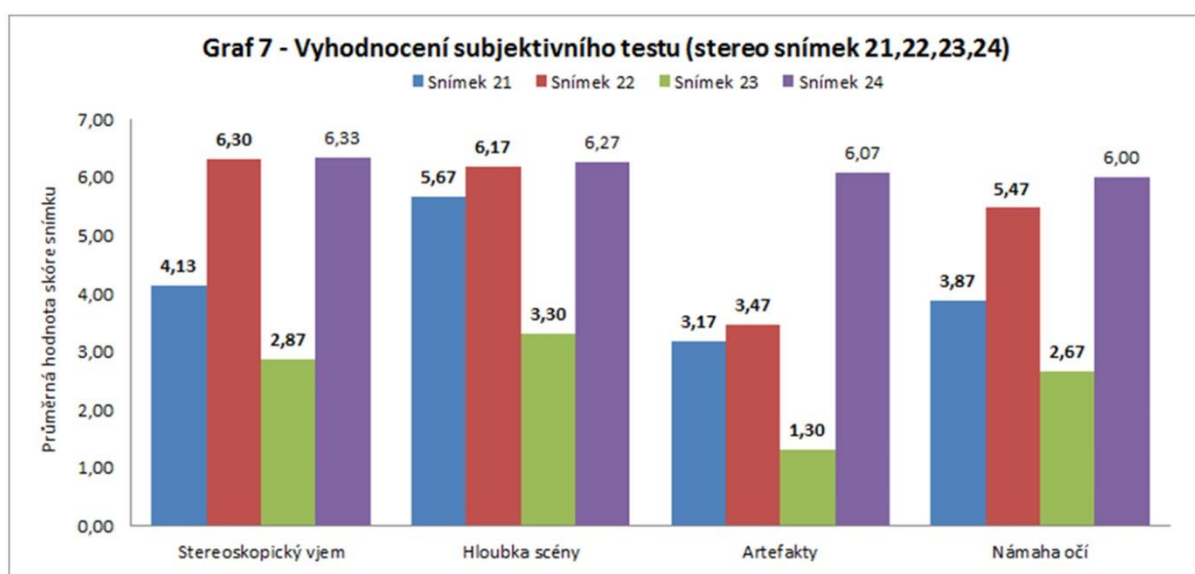
Součástí videosekvence byly 3 uměle vytvořené snímky (18, 19, 20). Na nich jsme si ověřili, zda můžeme postprodukční změnou paralax ovlivnit stereoskopický vjem. Snímek 20, který byl jako jediný připraven dle základních pravidel, dostal přirozeně nejvyšší ohodnocení. Z hodnot skóre je patrné, že další dva snímky jsou, ve srovnání s tímto, zanedbatelné. Druhé nejvyšší skóre měl snímek 18, kde hodnoty jednotlivých paralax překročily hloubkový rozsah. Předpoklad, že snímek 19 získá nejnižší skóre, byl potvrzen. Na snímku byl vytvořen nepřirozený jev, kdy balón v pozadí je umístěn do pozitivní paralaxy, zatímco holub v popředí do negativní. Stereoskopický vjem byl velmi matoucí, a proto byl snímek 19 hodnocen jako nejméně kvalitní. Tyto dojmy ovlivnily veškeré ostatní hodnocené parametry. Ačkoliv je obsah scény všech totožný, z hlediska artefaktů na tom byl nejlépe snímek 20. Stejně na tom byla hloubka scény a námaha očí, což je ovšem pochopitelné. Zjistili jsme, že můžeme do scény implementovat libovolné objekty, které však nesmí porušovat pravidla stereo scény.



Vyhodnocení - scéna 18 vs 20							Vyhodnocení - scéna 19 vs 20						
Parametr	\bar{s}_{18}	\bar{s}_{20}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t	Parametr	\bar{s}_{19}	\bar{s}_{20}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	2,97	6,13	3,17	1,23	1,52	13,82	Stereoskopický vjem	1,20	6,13	4,93	1,05	1,10	25,34
Hloubka scény	2,23	6,30	4,07	1,20	1,44	18,23	Hloubka scény	1,83	6,30	4,47	1,07	1,15	22,39
Artefakty	3,33	4,43	1,23	1,01	1,01	6,60	Artefakty	3,13	4,43	1,57	1,25	1,56	6,75
Námaha očí	2,83	5,53	2,70	1,42	2,01	10,25	Námaha očí	1,33	5,53	4,20	1,21	1,48	18,62

Obr. 27 - Vyhodnocení 6. skupiny snímků

Poslední skupina snímků (21, 22, 23, 24) byla zaměřena na exteriérové scény, na kterých je zaznamenán výhled na Pražský hrad. Snímky 21 a 22 se liší pouze v umístění SW. Dle hodnocení vychází, že pro diváka je atraktivnější snímek 22, kde je SW umístěno v popředí na provizorním zábradlí. Po vzájemném srovnání všech parametrů jsme zjistili, že snímání s paralelním nastavením kamer na SBS rigu je pro exteriérové scény nejvhodnější. Nicméně můžeme použít také konvergenční metodu. Zde však musíme brát v potaz, že úhel konvergence kamer musí být při těchto vzdálenostech velmi malý. V exteriéru záleží také na šířce záběru. Pro srovnání posloužily snímky 23 a 24, kde jsou vidět velké rozdíly v hodnocení. Na snímku 23 se nachází spousta objektů, kde vzniklo během snímání mnoho artefaktů. Pozorovatelé tuto chybu odhalili a na základě hodnocení jde o snímek s největším počtem artefaktů v testovací videosekvenci. Důsledkem artefaktů byla také únava očí, která se více projevovala na snímku 23. Snímek 24, kde je pouze část scény, vynikal v parametru hodnocení hloubky. Výsledky potvrdily, že jde o statisticky významné rozdíly v jednotlivých scénách. Všechny scény jsou tedy kvalitativně odlišné.



Vyhodnocení - scéna 21 vs 22						
Parametr	\bar{s}_{21}	\bar{s}_{22}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	4,13	6,30	2,17	1,46	2,14	7,97
Hloubka scény	5,67	6,17	0,90	0,88	0,78	5,48
Artefakty	3,17	3,47	1,03	0,93	0,86	6,00
Námaha očí	3,87	5,47	1,60	1,28	1,63	6,75

Vyhodnocení - scéna 23 vs 24						
Parametr	\bar{s}_{23}	\bar{s}_{24}	\bar{d}	σ	$\text{var} = \sigma^2$	t
Stereoskopický vjem	2,87	6,33	3,47	1,46	2,12	12,82
Hloubka scény	3,30	6,27	3,03	1,33	1,76	12,32
Artefakty	1,30	6,07	4,77	1,07	1,15	23,93
Námaha očí	2,67	6,00	3,33	1,12	1,26	15,96

Obr. 28 - Vyhodnocení 7. skupiny snímků

Závěr

Vytvořit 3D obrázek není obtížné. Avšak připravit ho tak, aby nezpůsobil pozorovateli vizuální nepohodlí, je komplikovanější. Z tohoto důvodu byla provedena studie metod snímání stereoskopické scény. Z průzkumu vyplývá, že velmi podstatná je samotná příprava scén. Tvorba stereo obsahu není čistě technická záležitost, ale velkou část hraje také umělecká složka. Cílem 3D technologie je zaujmout diváka a vtáhnout ho do děje. Snímání stereo obsahu se provádí nejčastěji pomocí dvou konstrukčních systémů. Profesionální stereoskopická produkce využívá obou zařízení, neboť každé z nich má své výhody a nevýhody. Konkrétnímu nastavení jednotlivých systémů je potřeba věnovat značnou pozornost, poněvadž má zásadní vliv na výslednou kvalitu obrazu. Nejvíce se využívá paralelní metoda, kdy jsou osy obou kamer rovnoběžné. Velkou výhodou je, že nedochází ke zkreslení jako v ostatních případech. Konvergentní (šilhavé) snímání produkuje vertikální paralaxu a ta je nežádoucí. Moderní softwarové programy jsou schopny nedostatky kompenzovat, avšak tato možnost není příliš ekonomicky výhodná. Stejně tak speciální metoda s posuvem senzorů je technologicky velmi náročná, a proto jsou rovnoběžné osy kamer nejpoužívanější. Při tomto snímání je vždy nezbytné provést finální postprodukcí snímku. Je potřeba oba obrazy vzájemně horizontálně posunout a nastavit tak rovinu stereoskopického okna. Příčinou závěrečných korekcí jsou také chyby, které ovlivňují stereo snímek. Vady mohou být technického původu nebo způsobené lidským faktorem. V této práci se vyskytuje podrobný popis všech možných chyb a následné možnosti jejich oprav. Mnohým chybám se můžeme vyhnout a eliminovat jejich účinek.

Základní parametrem při snímání 3D scény je stereoskopická báze systému. Tato vzdálenost os kamer má největší vliv na stereoskopický vjem. Pro vlastní snímání byl vytvořen kalkulátor, který umožňuje vypočítat doporučenou stereo bázi. Na hloubku působí také rozměry promítacího plátna a vzdálenost pozorovatele. Velmi podstatný je obsah scény a jednotlivé vzdálenosti k objektům, které se v dané scéně nacházejí. Při výpočtech stereoskopické báze se berou v úvahu všechna tato kritéria. V práci byly přiblíženy 2 metody výpočtu. První metoda je známější a pro svoji jednoduchost častěji využívaná. Doporučuje se použít pro výpočet maximální hranice stereoskopické báze, která by se neměla překročit. Druhá metoda obsahuje ve svém výpočtu více kritérií. Dává do souvislosti vztahy mezi parametry snímané scény, umístěním kamer a zobrazovacími podmínkami. Dle mého názoru je výsledek druhého výpočtu validnější.

Při použití dvou kamer na speciálním podstavci byla příprava stereo snímků poměrně pracná i zdloouvavá. Pro každý stereo snímek bylo zapotřebí oba obrazy pomocí softwaru manuálně sesadit a upravit. Následně mohl být snímek zobrazen, zkontrolován a případně znovu upraven. Do budoucna by bylo vhodné vymyslet optimalizovanější systém pro záznam stereo obsahu.

Při nastavení prostorové scény bylo nutné ověřit teoretické předpoklady, a proto byly vytvořeny testovací sekvence složené z připravených snímků. Snímky byly pořízeny na základě změny konfigurace stereoskopického systému. Pro kvalitativní vyhodnocení jednotlivých scén byly zvoleny subjektivní testy, kdy skupina pozorovatelů hodnotila zobrazené snímky na základě svého dojmu. Snímky jednotlivých skupin se od sebe lišily v několika parametrech. Převážná část testů byla zaměřena na umístění stereoskopického okna a jeho vlivu na subjektivní dojem diváka. Bylo zjištěno, že nevhodné postavení stereoskopického okna způsobuje vizuální nepohodlí pozorovatele. Nejčastěji se projevuje bolestí očí, hlavy nebo problémy se zaostřením snímku. Dále bylo ověřeno, že s rostoucí stereoskopickou bází narůstá hloubka scény. Báze může být libovolně zvolená, záleží především na individuálním záměru tvůrce. Při překročení napočítané hranice však dochází k extrémům, které shledali hodnotitelé nepříjemnými. Do scén je možné také uměle vkládat objekty a umístit je například do prostoru před plátno. Pro přijatelný snímek je nezbytně nutné akceptovat základní pravidla velikostí paralax a celkového rozsahu scény. Při nedodržení synchronizace nejsou oba obrazy korespondující a projeví se artefakty. Na statickém snímku jsou chyby více patrné než ve videu.

Pro vyhodnocení subjektivních testů byla zvolena statistická metoda párového t-testu. Jednotlivé snímky byly porovnány ve skupině mezi sebou, zda dochází ke kvalitativnímu rozdílu. Z hodnocení vyplývá, že mezi porovnávanými snímky byly statisticky významné rozdíly. Ve skupině se vyskytoval vždy jeden snímek, který byl připraven dle základních pravidel a ten většinou získal největší skóre. Byl potvrzen předpoklad, že scény nasnímané podle základních pravidel stereoskopického snímání se jeví pozorovateli zcela přirozené a nezpůsobují mu žádné vizuální nepohodlí.

Reference

- [1] KUČHYNKA, P. a kol., *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. 768s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [2] SILBERNAGL, S. a DESPOPOULOS, A., *Atlas fyziologie člověka: 6. vydání, zcela přepracované a rozšířené*. Vyd. 3. české. Praha: Grada, 2004. 435s. ISBN 80-247-0630-X.
- [3] GONZALES, R. C. and WOODS, R. E., *Digital Image Processing*. 2nd ed. Pearson Prentice Hall, 2002. 793p. ISBN 0-201-18075-8.
- [4] TROJAN, S. a kol., *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2003. 772s. ISBN 80-247-0512-5.
- [5] HROMÁDKOVÁ, L., *Šilhání*. 2. rozšířené vydání, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. 162s. ISBN 80-7013-207-8.
- [6] WORTH, C., *Squint*. Blakistoon, Philadelphia, 1908.
- [7] JAVIDI, B., OKANO, F., *Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display*. Springer, 2009. 532p, ISBN 978-0-387-79335-1.
- [8] DIVIŠOVÁ, G. a spol., *Strabismus*. 2.vyd. Praha: Avicentrum, 1990. 312s, ISBN 08-039-90.
- [9] DOSTÁLEK, M., *Binokulární vidění, vývoj fyziologie a patologie*. Vzdělávací semináře Odborné společnosti praktických dětských lékařů ČLS, JEP, Brno, 23. 2. 2008.
- [10] UNC, *StereoGraphics Developers' Handbook*. UNC, 1997. 66p. Dostupné z WWW: [<http://www.cs.unc.edu/Research/stc/FAQs/Stereo/stereo-handbook.pdf>].
- [11] JAVIDI, B. and OKANO, F., *Three-Dimensional Television Video, and Display Technologies*. Springer, 2002. 496p. ISBN 978-3-540-43549-5.
- [12] HOWARD, I. P. *Perceiving in Depth, Volume 3 - Other Mechanisms of Depth Perception*. Oxford: February 2012, 400p, ISBN: 978-0-19-976416-7.
- [13] AN, S., RAMESH, R., LEE, Y., CHUNG, W., *Interaxial Distance and Convergence Control for Efficient Stereoscopic Shooting using Horizontal Moving 3D Camera Rig*. World Academy of Science, Engineering and Technology, ISI Index 59, Vol.5, 2011. 1516 – 1521p.
- [14] MCKAY, C. H., *Three Dimensional Photography: Principles of Stereoscopy*. New York: AMERICAN PHOTOGRAPHIC PUBLISHING COMPANY, 1953. 333p.

- [15] DASHWOOD, T., *A Beginner's Guide to shooting Stereoscopic 3D*. [online] [cit. 4. 2. 2014]. May 1, 2010. Dostupné z WWW: [<http://www.dashwood3d.com>].
- [16] BOHÁČ. M. *Orthostereo, hyperstereo, hypostereo*. [online] Klub stereoskopické fotografie [cit. 4. 2. 2014]. Dostupné z WWW: [http://klub.stereofotograf.eu/ortho_hyper_hypo.php].
- [17] MENDIBURU, B., *3D movie making: Stereoscopic digital cinema from script to screen*. Focal Press, Elsevier; Oxford, 2009, 232p, ISBN 978-0-240-81137-6.
- [18] SHIBATA, T., KIM, J., HOFFMAN, D. M., and BANKS, M. S., *The Zone of Comfort: Predicting Visual Discomfort with Stereo Displays*. J. Vision, 2011. 28p. Dostupné z WWW: [<http://www.journalofvision.org/content/11/8/11>].
- [19] RICHARDSON, M., *Techniques and Principles in Three-Dimensional Imaging: An Introductory Approach*. Harrisburg: IGI Global, 2013. 324p, ISBN: 978-1-4666-4932-3.
- [20] SPOTTISWOODE, Raymond & Nigel., *Black Swan - Stereo Techniques (film)*. 1952.
- [21] CAHEN, O., *The floating window, its benefits, methods, requirements. 3D Imaging (IC3D)*. International Conference on, 2011. pp.1, 3, 7-8, ISBN 978-1-4799-1577-4.
- [22] GARDNER, B. R., *Dynamic floating window: new creative tool for three-dimensional movies*. Journal of Electronic Imaging, 2011. 12p. DOI: 10.1117/12.872608.
- [23] GARDNER, B. R., *Dynamic Floating Window presentation, Meet the Robinsons Post-Mortem (Making of)*. 2007. Disney Feature Animation video library.
- [24] BLOCK, B. A., & MCNALLY, P., *3D story telling: how stereoscopic 3D works and how to use it*. Focal Press, 2013. 240p, ISBN 9780240818757.
- [25] MENDIBURU, B., *Fundamentals of Stereoscopic Imaging*. Digital Cinema Summit, NAB Las Vegas, April 18, 2009.
- [26] MICHEL, B. J., *Digital Stereoscopy – Scene to Screen 3D Production Workflow*. CreateSpace, March 2013. 354p. ISBN: 978-1-480-15709-5.
- [27] MICHEL, B. J., *Production Issues with 3d Content Targeting Cinema, TV, and Mobile Devices*. Université Catholique de Louvain, 2009. Dostupné z WWW: [http://www.edcf.net/edcf_docs/BMI-production-issues-with-3D-content.pdf].

- [28] IDE, K., SIKORA, T., *Adaptive parallax for 3D television*. 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), 2010. pp.1, 4, 7-9. DOI 10.1109/3DTV.2010.5506406.
- [29] COPPIN, N., *BSkyB Technical Specifications for Acquired Content*. [online] [cit. 10. 3. 2014] London: 7. 4. 2011. Dostupné z WWW: [http://www.sky.com/shop/__PDF/3D/BSkyB_Tech_Spec_ACQ_Content_ver1.0.0.docx].
- [30] KNORR, S., *Basic rules for good 3D and avoidance of visual discomfort*. Berlin, 9. 2011. Dostupné z WWW: [<http://www.dvd-and-beyond.com>].
- [31] KUHN, G., *Stereofotografie und Raumbildprojektion*. Vfv Verlag. Gilching, 1999. 136p. ISBN 9783889551191.
- [32] HELMHOLTZ, H., *Volume III - Laws of Stereoscopic Projection*, 1867.
- [33] HEMMO, M., *S3D Now! - an Stereoscopic Experiment for Film- and TV*. Fachverlag Schiele & Schoen, 2012, 234p, ISBN: 978-3-7949-0829-5.
- [34] WILSON, N., *Home-made camera stereo adapters project No. 9032*. [online][cit. 12. 3. 2014] Barrington, 1953. 10p. Dostupné z WWW: [<http://www.edmundoptics.com>].
- [35] HINES, S. P., *3D camera rig with no-loss beamsplitter alternative*. [online][cit. 12. 3. 2014] patent US 8228373. July 24, 2012. Dostupné z WWW: [<http://www.patentbuddy.com/Patent/8228373>].
- [36] LADRU, B., *User manual Century Precision Optics Digital Video Matte Box*. [online] [cit. 12. 3. 2014]. Dostupné z WWW: [<https://www.schneideroptics.com/pdfs/century/VocasMB2002.pdf>].
- [37] ODE, E., *Sixteen 3D Rig Manufacturers - An Overview*. [online] [vyd. 17. 12. 2010]. Dostupné z WWW: [<http://www.live-production.tv/case-studies/sports/sixteen-3d-rig-manufacturers-overview.html>].
- [38] YAMANOUE, H., *The Differences Between Toed-in Camera Configurations and Parallel Camera Configurations in Shooting Stereoscopic Images*. Multimedia and Expo, 2006 IEEE International Conference on, 9-12 July 2006, ISBN: 1-4244-0367-7.
- [39] HARTLEY, R., ZISSERMAN, A., *Multiple View Geometry in Computer Vision*. (ed 2.) Cambridge University Press, 2004, ISBN: 0521540518.
- [40] CYGANEK, B., SIEBERT, J. P., *An introduction to 3D computer vision techniques and algorithms*. Wiley, Aug 2011. 504p. ISBN 978-1-119-96447-6.

- [41] WOODS, A., DOCHERTY, T., KOCH, R., *Image Distortion in Stereoscopic Video System*. Proceedings SPIE Stereoscopic Displays and Applications IV. vol. 1915. San Jose, CA, 1993.
- [42] DU, S. P.; HU, S. M. & MARTIN, R. R., *Changing Perspective in Stereoscopic Images*. [online] [cit. 15. 3. 2014]. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph, (2013), 11p. Dostupné z WWW: [http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/TVCG_2013_stereo.pdf].
- [43] FENG, L.; YUZHEN, N., Y., HAILIN, J., *Keystone correction for stereoscopic cinematography*. [online] [cit. 15. 3. 2014]. CVPR Workshops, IEEE, (2012). 7p. ISBN 978-1-4673-1610-1. Dostupné z WWW: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6238901].
- [44] SMOLIC, A.; KAUFF, P.; KNORR et al. *Three-Dimensional Video Postproduction and Processing*. [online] [cit. 15. 3. 2014]. Proceedings of the IEEE, April 2011. vol. 99. no. 4. p. 607-625. Dostupné z WWW: [http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5701641].
- [45] WOOSEONG, K., SEUNGHYUN, L., *Horizontal parallax distortion correction method in toed-in camera with wide-angle lens*. 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, May 2009, E-ISBN: 978-1-4244-4318-5.
- [46] 3ALITY TECHNICA, *3 Flex Stereo Image Processor Analysis Setup For Post Production*. [online][cit. 20. 3. 2014] 10,2013. Dostupné z WWW: [http://www.3alitytechnica.com].
- [47] MUTTYAN, *Stereo Movie Maker*. [online][cit. 10. 4. 2014]. 2014. Dostupné z WWW: [http://stereo.jpn.org/eng/index.html].
- [48] FRONTNICHE STABLES, *Ortho-Stereoscopic Perspective Camera for Live 3D HDTV Broadcast Transmission - VC-3100HD*. [online][cit. 10. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://frontniche.com/pdf/Full-Broadcast-3D-HD-Camera.pdf].
- [49] MITCHELL, E., *Guide to 3D Photography: Step-by-step guide to shooting, processing and displaying 3D photos*. Oregon, 2013, 214 p.
- [50] Klub stereoskopické fotografie [online][cit. 12. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://klub.stereofotograf.eu/deviace_3.php].
- [51] WATTIE, J., *Bercowitz Formulae for stereo base*. [online][cit. 12. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://nzphoto.tripod.com/stereo/3dtake/fbercowitz.htm].
- [52] HOLLIMAN, N., *Mapping perceived depth to regions of interest in stereoscopic images*. [online][cit. 29. 4. 2014]. Proc. SPIE 5291, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, 117. May 21, 2004. Dostupné z WWW: [http://dx.doi.org/10.1117/12.525853].

- [53] JONES, G. R., LEE, D., HOLLIMAN, N. S., EZRA, D., et al., *Controlling perceived depth in stereoscopic images*. [online][cit. 29. 4. 2014]. Oxford, Jan 2001. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII*. San Jose, California. SPIE Vol. 4297A. Dostupné z WWW: [<http://www.dur.ac.uk/n.s.holliman/Presentations/EI4297A-07Protocols.pdf>].
- [54] MENDIBURU, B., PUPULIN, Y., & SCHKLAIR, S. *3D TV and 3D cinema: tools and processes for creative stereoscopy*. Amsterdam: Focal Press, 2012, 242p, ISBN: 978-0-240-81461-2.
- [55] VOZÁK, D., *Bakalářská práce - Automatický stereoskopický televizní systém*. Praha, 2012.
- [56] TECHNICOLOR, *Stereoskopické chyby*. [obrázek][online][cit. 14. 4. 2014]. Převzat z: [http://www.itbroadcastanddigitalcinema.com/docs/2011-01-08_Technicolor_Certifi3D.pdf].
- [57] SILICON IMAGING, *Sync Box*. [online][cit. 20. 4. 2014]. 2014. Dostupné z WWW: [<http://www.siliconimaging.com>].
- [58] DIGI – DAT, *ste-fra LANC*. [online][cit. 20. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.digi-dat.de>].
- [59] MEESTERS, L. M. J., IJSSELSTEIJN, W. A., SEUNTIENS, P. J. H., *A survey of perceptual evaluations and requirements of three-dimensional TV*. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, March 2004. vol. 14. no. 3. p. 381-391.
- [60] YAMANOUE, H., OKUI, M., and OKANO, F., *Geometrical analysis of puppet-theater and cardboard effects in stereoscopic HDTV images*. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, June 2006. vol. 16. no. 6. p. 744–752.
- [61] KOICHI, S., WA J. T., V'AZQUEZ, C., et al. *Removing the cardboard effect in stereoscopic images using smoothed depth maps*. [online][cit. 20. 4. 2014]. In: *Proc. SPIE*, 2010. Dostupné z WWW: [<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=776008>].
- [62] YAMANOUE, H., OKUI, M., YUYAMA, I., *A study on the relationship between shooting conditions and cardboard effect of stereoscopic images*. [online][cit. 20. 4. 2014]. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, Apr 2000. vol. 10. no. 3. p. 411 - 416. Dostupné z WWW: [<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=836285>].
- [63] SCHREER, O., KAUFF, P., SIKORA, T., *3D Videocommunication: Algorithms, Concepts and Real-Time Systems in Human Centred Communication*. John Wiley & Sons, 2005. 340p. ISBN 9780470022719.

- [64] HOPF, K., *An autostereoscopic display providing comfortable viewing conditions and high degree of telepresence*. [online][cit. 20. 4. 2014]. in IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology 10, 2000. p. 359-365. Dostupné z WWW: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=836280].
- [65] YAMANOUE, H., *The relation between size distortion and shooting conditions for stereoscopic images*. [online][cit. 22. 4. 2014]. in Journal of the SMPTE, 1997. p. 225-232. Dostupné z WWW: [http://journal.smpte.org/content/106/4/225].
- [66] SOHN, H., JUNNG Y. J., RO, Y. M., *Crosstalk reduction in stereoscopic 3D displays: Disparity adjustment using crosstalk visibility index for crosstalk cancellation*. [online][cit. 22. 4. 2014]. Optics Express, Feb 2014. vol. 22. no. 3. p. 3375-3392. Dostupné z WWW: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24663628].
- [67] GUAN-MING. S., YU-CHI, L., KWASINSKI, A., HAOHONG, W., *3D Visual Communications*, John Wiley & Sons, 2013. 342p, ISBN: 978-1-119-96070-6.
- [68] WOODS, A. J. *How are crosstalk and ghosting defined in the stereoscopic literature?* [online][cit. 23. 4. 2014]. in Proceedings of SPIE Stereoscopic Displays and Applications XXII, 2011. Vol. 7863, 78630Z. Dostupné z WWW: [http://www.andrewwoods3d.com].
- [69] WOODS, A. J., TAN, S. S. L., *Characterising Sources of Ghosting in Time Sequential Stereoscopic Video Displays*. [online][cit. 23. 4. 2014]. Centre for Marine Science Technology, Curtin University of Technology, 2002. Vol. 4660. Dostupné z WWW: [http://www.andrewwoods3d.com].
- [70] Blackmagic Pocket Cinema Camera. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://www.blackmagicdesign.com].
- [71] Redrockmicro micro3D SxS rig. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://store.redrockmicro.com/Catalog/micro3D/ micro3dsxs].
- [72] Manfrotto Triman Camera Tripod. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://www.manfrotto.com].
- [73] Manfrotto 141. [online] [cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://www.manfrotto.com].
- [74] Adobe Creative Suite. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [http://www.adobe.com].
- [75] ITU, *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*. [online][cit. 23. 4. 2014]. Recommendation BT.500-11, 2002. Dostupné z WWW: [http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.500-11-200206-S!!PDF-E.pdf].

- [76] PEARS, N., BUNTING, P., YOUNGHUAI, L., *3D Imaging, Analysis and Applications*. Springer, 2012. 499p. ISBN 978-1-4471-4063-4.
- [77] LG 47LW650S. [online] [cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.lg.com>].
- [78] Sekonic expozimetr L-758 Cine. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.megapixel.cz/sekonic-expozimetr-l-758-cine>].
- [79] LITSCHMANNOVÁ, M., *Skripta - Úvod do statistiky*. 2011, 370p. CZ.1.07/2.2.00/07.0332.
- [80] HELISOVÁ, K., *Kvantily Studentova rozdělení*. [online][cit. 23. 4. 2014]. Dostupný z WWW: [<http://math.feld.cvut.cz/helisovala/01kvantily.pdf>].
- [O1] Řez okem. [obrázek][převzat a upraven]. In. NOVOTNÝ, I., *Biologie člověka*. Praha: Fortuna, 2003. ISBN 80-7168-819-3 [online][cit. 23. 1. 2014].
- [O2] Umístění SW na základě metody snímání. [obrázek][převzat a upraven] Steve Wright: Parallel vs Converged. [online][cit. 10. 2. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.swdfx.com/>].
- [O3] Změna paralaxy v závislosti na velikosti plátna. [obrázek][převzat a upraven]. KNORR, S., *Basic rules for good 3D and avoidance of visual discomfort* [online][cit. 12. 2. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.dvd-and-beyond.com>].
- [O4] Depth Script. [obrázek][převzat a upraven] GARDNER, B., *Perception and The Art of 3D Storytelling* [online][cit. 14. 3. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://www.creativecow.net>].
- [O5] Side by Side rig. [obrázek][převzat a upraven] 3DFILM FACTORY [online][cit. 14. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://3dfilmfactory.com>].
- [O6] Beam Splitter rig. [obrázek][převzat a upraven] 3DFILM FACTORY [online][cit. 14. 4. 2014]. Dostupné z WWW: [<http://3dfilmfactory.com>].

Přílohy

Seznam příloh:

4.1 - Ukázka subjektivního dotazníku.....	73
4.2 - Tabulky výsledků subjektivního hodnocení.....	75
Informace o pozorovateli.....	75
Parametr č. 1 - Stereoskopický vjem	76
Parametr č. 2 - Hloubka scény.....	77
Parametr č. 3 - Artefakty.....	78
Parametr č. 4 - Námaha očí.....	79
4.3 - Stereoskopické chyby.....	80
4.4 - Ukázka vytvořeného kalkulátoru stereoskopické báze	81
4.5 - Obrázky pořízené během snímání a hodnocení.....	82
4.6 - Obsah přiloženého CD.....	83

4.1 Ukázka subjektivního dotazníku

Subjektivní test – dotazník Stereoskopické snímání		
Pohlaví:	<input type="checkbox"/> muž <input type="checkbox"/> žena	Věk: _____ let
Průměrný čas strávený u TV/ PC ? _____ hod (týdně)		
Máte zkušenost s 3D vnímáním?		
<input type="checkbox"/> nemám zkušenost s 3D		
<input type="checkbox"/> 3D kino		
<input type="checkbox"/> 3D televize		
<input type="checkbox"/> 3D obrázky (stereogramy)		
<input type="checkbox"/> herní konzole/PC s 3D displejem		
Trpíte nějakou vadou vidění?		
<input type="checkbox"/> korigovaná krátkozrakost nebo dalekozrakost (brýle, čočky) – dioptrie L_____ P_____		
<input type="checkbox"/> vada stereoskopického vnímání (tupo-zrakost)		
<input type="checkbox"/> snížený barvocit (barvoslepost)		
<input type="checkbox"/> jiná : _____ (jaká?)		
Zaznačte prosím příznaky, které se během testu u Vás vyskytly.		
<input type="checkbox"/> celková nepohoda		
<input type="checkbox"/> únava a bolest očí		
<input type="checkbox"/> nevolnost		
<input type="checkbox"/> bolest hlavy		
<input type="checkbox"/> potíže při zaostřování		
<input type="checkbox"/> rozmazané vidění		
<input type="checkbox"/> závrať		
Poznámky k hodnocení:		

1. Jak efektivní je stereoskopický vjem? (celkový dojem snímku) (7 = velmi se mi líbí, 1= nelíbí)

Škála hodnocení	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Posuďte hloubku scény. (7 = líbí se mi, 1 = nelíbí, vadí mi)

Škála hodnocení	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Pozorujete artefakty? (7 = kvalitní snímek, nepozoruji, 1 = velké chyby, zkreslení)

Škála hodnocení	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Pociťujete namáhání očí ? (7 = nedochází k namáhání, 1 = bolesti, nedá se na to dívat)

Škála hodnocení	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2 Tabulky výsledků subjektivního hodnocení

Subjektivní hodnocení - Informace o pozorovateli

Hodnotitel	Obecné informace			Zkušnosti s 3D					Zrakové vady					Negativní příznaky projevené během testu							
	muž	žena	věk	čas u PC/TV	3D kino	3D TV	3D obr	3D PC	neznám	bez vady	blyše	tup	barv	jiné	nepohoda	bolest očí	nevolnost	bolest hlavy	zaostření	rozmazané vidění	závrať
osoba 1	1		25	45	1	1				1						1			1		
osoba 2		1	24	30	1	1	1				1							1		1	
osoba 3	1		24	56	1	1	1	1												1	
osoba 4	1		23	60	1	1												1		1	
osoba 5	1		24	70	1	1	1	1												1	
osoba 6		1	23	75	1		1													1	1
osoba 7	1		21	45					1											1	1
osoba 8		1	22	60	1	1												1		1	
osoba 9	1		24	55	1	1	1											1		1	
osoba 10	1		22	50		1		1								1					
osoba 11		1	23	40	1															1	
osoba 12	1		20	60	1										1					1	
osoba 13	1		19	54		1		1													
osoba 14	1		25	44	1		1											1		1	
osoba 15	1		21	37	1						1									1	
osoba 16		1	21	65	1															1	
osoba 17	1		28	90	1	1	1	1												1	
osoba 18	1		32	85	1	1	1														
osoba 19	1		40	80	1	1												1		1	
osoba 20	1		45	75	1										1			1		1	
osoba 21	1		29	95	1	1	1	1												1	
osoba 22	1		28	100	1	1	1														
osoba 23	1		30	35	1	1	1	1													
osoba 24	1		25	50	1	1	1														
osoba 25		1	24	29					1									1		1	
osoba 26	1		20	35	1	1														1	
osoba 27	1		20	40	1		1													1	1
osoba 28	1		21	45	1		1	1													
osoba 29	1		22	55	1	1														1	
osoba 30	1		22	30	1	1														1	
Vyhodnocení	24	6	24,9	56,3	26	19	14	8	2	25	5	0	0	0	2	30	1	8	24	4	0

Subjektivní hodnocení parametru č.1 - Stereoskopický vjem

Hodnotitel	Subjektivně hodnocený snímek																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
osoba 1	2	2	4	6	6	6	6	7	7	3	7	5	4	2	6	5	5	5	1	6	5	7	5	6	6					
osoba 2	2	3	2	5	6	6	7	6	7	2	7	6	2	2	7	6	5	2	1	6	3	7	7	4	7					
osoba 3	2	3	5	5	7	5	5	5	7	3	7	5	4	3	7	5	7	4	1	7	6	6	2	6						
osoba 4	3	4	5	6	6	5	6	5	7	1	6	6	4	4	7	6	6	2	1	6	5	6	4	7						
osoba 5	2	3	4	5	7	5	6	6	6	1	6	6	5	2	6	5	7	4	1	6	6	6	4	7						
osoba 6	2	5	7	6	5	5	7	6	6	2	7	7	5	5	6	7	6	5	3	6	7	7	5	5						
osoba 7	1	2	5	4	7	6	4	5	5	3	6	5	4	1	5	6	5	4	1	7	5	5	4	6						
osoba 8	3	1	2	5	6	4	5	6	7	2	7	6	4	4	6	4	6	2	2	3	4	7	2	6						
osoba 9	2	2	3	5	7	5	5	5	6	2	5	5	4	2	7	5	6	4	1	7	5	6	3	6						
osoba 10	2	2	4	5	7	4	5	6	7	1	6	6	5	3	6	6	6	3	2	6	4	7	2	6						
osoba 11	1	1	2	6	6	6	5	6	7	2	6	7	4	1	6	7	5	2	1	6	3	7	4	5						
osoba 12	1	2	2	5	5	5	6	5	6	1	5	6	3	2	6	5	7	2	1	6	3	6	2	7						
osoba 13	3	3	4	5	6	4	6	4	7	3	6	6	4	4	6	6	5	3	1	5	4	5	2	7						
osoba 14	1	3	2	4	7	5	6	5	7	2	7	5	4	3	7	6	7	2	2	6	5	6	3	6						
osoba 15	2	2	3	5	6	4	5	4	6	2	7	6	5	2	7	6	5	4	1	6	3	6	2	5						
osoba 16	2	2	2	5	6	4	6	4	6	3	6	5	6	2	7	6	5	4	1	7	4	6	3	7						
osoba 17	1	1	4	6	7	5	6	5	7	3	5	6	5	2	5	5	6	2	1	6	4	7	4	6						
osoba 18	3	3	4	5	5	6	5	4	7	1	6	6	4	1	6	6	7	3	1	5	3	7	2	6						
osoba 19	2	2	2	6	6	5	5	3	6	2	5	6	4	4	6	7	7	2	1	6	5	5	2	7						
osoba 20	1	2	3	5	7	5	5	4	7	1	5	5	3	4	7	6	6	2	1	6	3	6	2	7						
osoba 21	1	1	3	5	6	4	6	5	7	3	6	7	4	3	7	6	6	2	1	7	4	7	1	7						
osoba 22	2	2	3	4	7	6	6	4	6	2	7	6	6	2	6	5	5	3	1	6	5	6	4	7						
osoba 23	3	3	3	6	7	6	5	3	6	2	6	5	4	2	7	6	7	2	1	7	4	7	3	6						
osoba 24	3	3	4	5	7	4	5	3	5	1	7	6	4	3	6	6	7	3	1	7	4	7	2	7						
osoba 25	2	2	2	6	5	5	6	5	5	4	7	5	3	2	6	5	6	5	2	7	1	7	3	5						
osoba 26	1	1	3	5	7	4	6	6	6	1	7	6	4	1	7	5	6	2	1	6	4	6	3	7						
osoba 27	2	2	2	6	7	4	5	4	7	1	6	6	5	1	7	6	7	1	1	7	3	6	4	6						
osoba 28	2	2	2	4	5	5	6	4	6	2	5	7	4	2	7	7	6	3	1	6	3	5	2	7						
osoba 29	2	3	3	5	7	6	6	3	6	3	7	6	5	2	7	5	7	4	1	6	4	6	1	6						
osoba 30	1	1	3	4	7	4	5	4	6	2	7	6	6	3	7	6	7	3	1	6	5	7	2	7						
Průměr	1,90	2,27	3,23	5,13	6,33	4,93	5,57	4,73	6,37	2,03	6,23	5,83	4,27	2,47	6,43	5,73	6,10	2,97	1,20	6,13	4,13	6,30	2,87	6,33						

Subjektivní hodnocení parametru č.2 - Hloubka scény

Hodnotitel	Subjektivně hodnocený snímek																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
osoba 1	3	2	3	3	4	3	4	6	5	3	6	6	6	4	6	5	4	2	2	5	6	5	3	7						
osoba 2	1	2	3	5	5	4	5	5	6	4	5	7	4	2	7	6	4	1	1	6	5	7	3	6						
osoba 3	3	2	4	6	7	5	5	4	6	3	5	5	6	4	7	7	7	3	1	5	5	7	2	6						
osoba 4	2	3	3	5	6	6	5	6	5	1	6	5	4	3	7	7	6	2	2	7	5	6	4	7						
osoba 5	2	2	4	3	7	4	5	5	7	2	5	7	4	4	7	4	6	2	3	6	6	5	3	5						
osoba 6	3	4	4	4	6	6	7	6	7	3	4	7	7	5	6	7	6	3	3	6	7	7	2	7						
osoba 7	4	1	2	3	4	6	4	7	7	4	6	5	7	4	5	6	7	1	1	7	5	6	4	6						
osoba 8	2	3	3	7	3	3	4	7	7	2	6	6	5	6	7	5	6	3	4	7	6	7	5	6						
osoba 9	3	1	2	6	5	4	6	6	6	1	6	7	7	4	7	5	6	3	1	7	4	7	4	6						
osoba 10	2	2	3	5	5	5	6	7	6	2	5	7	5	3	6	6	7	4	2	6	6	6	2	7						
osoba 11	3	2	4	6	6	4	5	5	7	3	6	6	6	5	7	6	6	2	3	7	6	6	3	7						
osoba 12	2	1	2	5	4	5	7	6	6	3	7	7	6	4	7	6	5	3	2	6	6	7	3	5						
osoba 13	2	2	3	4	6	4	4	4	6	2	6	5	5	3	7	7	6	1	2	6	6	6	4	6						
osoba 14	2	3	3	4	7	3	6	5	5	4	7	7	6	2	7	5	7	2	1	5	5	6	4	6						
osoba 15	3	3	3	5	6	6	6	6	6	2	6	6	7	5	7	5	6	4	1	6	5	7	4	7						
osoba 16	4	2	2	4	5	6	5	4	6	2	5	6	6	4	6	4	6	2	2	7	7	7	4	6						
osoba 17	2	2	2	5	5	4	6	5	7	4	5	6	4	3	7	6	5	3	1	6	7	6	5	7						
osoba 18	3	3	4	5	6	4	5	3	7	3	5	7	5	2	7	5	4	2	3	7	7	5	2	5						
osoba 19	2	2	3	5	6	3	5	4	7	3	6	6	7	3	7	5	6	1	1	7	6	6	3	6						
osoba 20	3	2	4	4	6	4	6	5	6	3	5	7	6	3	6	5	5	1	1	6	6	6	3	6						
osoba 21	2	3	2	3	5	5	6	5	7	2	5	7	5	3	6	6	5	2	1	7	5	6	2	7						
osoba 22	1	2	3	4	7	5	6	6	5	3	4	5	5	4	7	4	6	3	2	7	5	6	2	7						
osoba 23	1	3	3	5	5	3	7	5	6	3	6	7	6	2	7	4	7	2	1	7	5	5	2	7						
osoba 24	2	3	2	4	5	4	5	3	6	2	5	7	7	2	6	6	6	3	2	6	4	7	5	6						
osoba 25	4	2	5	4	6	7	6	5	6	2	4	6	6	1	5	4	6	2	2	4	6	6	5	4						
osoba 26	3	2	2	4	6	5	5	5	5	4	4	6	6	2	7	5	6	2	3	7	6	5	2	7						
osoba 27	2	2	2	4	5	4	4	6	5	2	6	7	5	2	7	5	5	3	2	7	5	6	2	6						
osoba 28	2	2	3	5	4	3	6	4	7	1	6	6	5	4	7	5	7	2	3	7	7	7	4	6						
osoba 29	1	1	2	6	6	4	6	5	6	2	5	7	4	5	6	6	6	1	1	5	5	6	5	7						
osoba 30	3	2	2	5	5	4	5	4	5	1	4	7	5	2	7	4	6	2	1	7	6	6	3	7						
Průměr	2,40	2,20	2,90	4,60	5,43	4,43	5,40	5,13	6,10	2,53	5,37	6,33	5,57	3,33	6,60	5,37	5,83	2,23	1,83	6,30	5,67	6,17	3,30	6,27						

Subjektivní hodnocení parametru č.3 - Artefakty

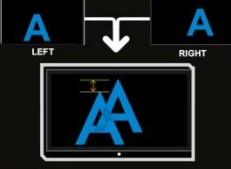
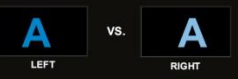
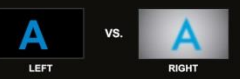
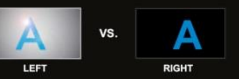
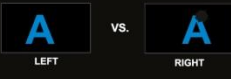

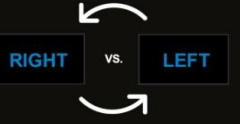


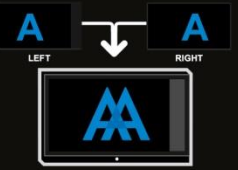

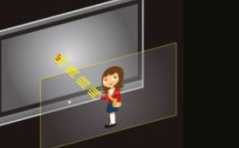
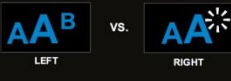
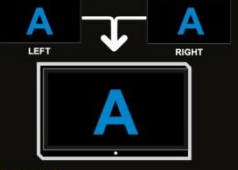
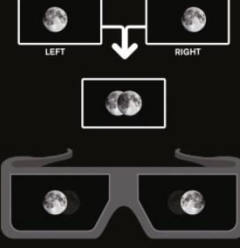
Hodnotitel	Subjektivně hodnocený snímek																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
osoba 1	2	5	4	3	4	6	3	6	5	3	6	6	5	4	5	4	5	5	3	5	2	2	2	2	5					
osoba 2	5	5	5	3	4	4	5	6	6	5	7	7	5	5	5	5	7	3	2	6	4	4	4	1	7					
osoba 3	3	2	4	4	5	5	4	4	5	5	7	5	4	2	7	3	7	4	1	6	5	3	2	6						
osoba 4	2	3	5	5	6	4	5	5	6	2	5	4	5	3	7	4	6	3	3	4	3	4	1	6						
osoba 5	1	3	3	5	4	4	3	3	5	1	6	6	5	3	7	3	6	2	2	3	2	4	1	5						
osoba 6	1	3	5	6	5	3	6	5	7	3	7	7	7	5	6	5	5	3	2	5	4	6	2	4						
osoba 7	4	3	4	2	3	5	2	5	5	3	5	5	6	4	5	3	2	4	3	5	3	5	1	6						
osoba 8	2	1	4	6	4	3	4	6	7	4	5	4	5	3	4	3	6	3	2	4	2	5	1	6						
osoba 9	2	4	3	5	4	5	4	6	7	5	7	6	6	3	6	4	7	4	3	5	3	4	1	7						
osoba 10	3	4	4	5	4	4	3	5	6	4	6	7	6	3	6	3	7	3	2	5	4	4	2	7						
osoba 11	1	2	3	4	5	3	5	6	5	3	6	5	6	4	7	2	6	3	3	3	4	3	1	6						
osoba 12	1	1	4	5	3	4	3	5	7	4	7	5	5	2	7	3	6	3	2	5	3	4	1	7						
osoba 13	2	2	3	4	4	2	4	6	6	5	5	5	5	3	6	4	5	4	4	4	2	3	1	5						
osoba 14	3	3	5	3	4	2	5	6	6	4	6	6	6	2	7	5	7	4	4	4	2	3	1	6						
osoba 15	2	4	3	2	3	4	3	6	5	3	6	7	5	2	5	2	6	3	3	5	2	2	2	6						
osoba 16	1	3	3	2	4	4	5	6	5	4	6	6	4	2	5	3	7	3	3	4	2	2	1	6						
osoba 17	3	3	4	2	3	3	2	4	6	5	6	6	6	4	4	2	6	4	5	3	3	3	1	7						
osoba 18	2	4	3	4	3	5	3	6	6	5	6	7	6	5	6	2	6	3	4	5	5	3	2	6						
osoba 19	4	3	4	4	3	4	3	6	7	4	7	5	5	4	7	3	7	2	3	6	4	4	1	5						
osoba 20	2	3	4	5	4	4	4	6	6	5	7	6	5	3	7	3	6	2	2	4	3	5	1	7						
osoba 21	1	2	3	5	5	4	5	5	5	4	6	5	4	3	6	3	7	3	3	5	2	3	1	7						
osoba 22	2	2	3	4	5	3	5	6	5	5	7	4	4	2	5	2	6	4	5	6	3	4	1	7						
osoba 23	3	3	4	4	4	5	3	6	6	6	6	5	5	3	6	4	6	3	5	4	3	3	1	6						
osoba 24	2	2	3	4	3	3	2	5	5	4	5	6	6	2	4	5	5	4	4	3	3	2	1	5						
osoba 25	4	5	5	3	3	4	4	7	5	3	7	6	4	1	6	3	6	1	2	3	3	2	3	6						
osoba 26	2	3	4	4	4	2	4	6	4	3	5	5	4	5	4	6	6	5	5	5	4	4	1	6						
osoba 27	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	6	4	4	3	5	2	6	3	2	3	4	3	2	6						
osoba 28	2	3	2	3	5	3	5	5	4	4	6	5	5	2	5	3	7	4	5	5	2	4	1	5						
osoba 29	2	2	3	4	3	3	2	6	4	2	6	4	4	2	6	2	6	4	3	4	4	4	1	7						
osoba 30	1	1	3	3	3	3	3	6	5	4	6	5	5	2	7	2	6	4	4	4	5	2	1	7						
Průměr	2,23	2,87	3,67	3,90	3,93	3,73	3,77	5,50	5,53	3,90	6,10	5,47	5,07	3,03	5,80	3,20	6,03	3,33	3,13	4,43	3,17	3,47	1,30	6,07						

Subjektivní hodnocení parametru č.4 -Námaha očí

Hodnotitel	Subjektivně hodnocený snímek																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
osoba 1	1	2	2	6	7	7	5	6	7	2	7	5	3	3	6	5	5	3	2	6	5	7	4	7
osoba 2	1	2	1	4	7	7	7	7	7	3	7	6	1	1	7	6	7	1	1	7	5	6	5	7
osoba 3	2	2	3	4	6	4	4	6	6	4	7	5	4	1	7	5	5	3	2	7	4	5	3	6
osoba 4	2	3	4	5	7	5	6	5	6	1	6	5	3	4	7	6	7	2	1	7	5	5	3	7
osoba 5	2	2	2	5	7	6	6	5	6	1	6	5	3	2	7	6	7	2	1	5	3	6	4	7
osoba 6	1	2	5	7	5	4	7	5	7	3	7	7	6	5	6	7	6	3	1	4	6	6	2	4
osoba 7	1	1	3	5	6	5	4	7	6	3	5	4	6	5	5	5	7	3	1	7	4	4	2	5
osoba 8	3	1	1	6	5	6	6	7	6	1	7	6	4	2	7	4	5	2	2	4	4	6	2	7
osoba 9	2	1	3	4	6	5	5	5	7	3	7	7	4	1	7	4	7	3	1	5	5	6	2	6
osoba 10	1	2	2	4	5	5	6	5	7	2	7	6	2	1	7	5	6	2	2	7	3	6	3	7
osoba 11	2	2	1	5	7	6	6	6	7	2	6	6	3	4	7	6	7	3	1	7	3	6	4	7
osoba 12	3	2	1	6	6	5	6	6	6	1	7	5	3	3	7	6	7	4	1	7	4	5	3	6
osoba 13	2	1	4	6	6	4	4	7	6	1	7	7	5	2	7	4	7	3	1	6	5	5	2	6
osoba 14	2	2	3	5	6	6	7	6	7	3	6	7	5	2	7	7	5	2	1	4	2	6	4	4
osoba 15	1	2	2	4	5	5	6	7	7	2	7	5	2	2	6	5	7	3	1	5	2	5	2	6
osoba 16	3	3	2	5	7	5	5	7	6	2	7	6	2	5	7	4	6	3	1	5	4	5	2	6
osoba 17	2	1	1	4	7	6	5	5	6	1	7	6	3	2	7	5	6	2	2	4	3	5	3	7
osoba 18	3	1	5	4	6	4	5	6	7	1	7	7	3	3	6	5	5	4	2	6	2	6	3	6
osoba 19	2	2	2	6	6	6	6	6	6	1	6	5	1	3	7	5	5	2	2	6	4	4	2	5
osoba 20	2	2	3	6	6	5	6	5	7	1	7	5	2	3	7	6	7	4	1	6	5	6	1	5
osoba 21	2	2	1	5	6	4	4	5	7	1	7	6	2	4	7	6	7	3	2	5	5	6	2	6
osoba 22	2	1	1	3	7	5	5	6	7	3	5	7	4	1	7	5	6	4	1	4	5	5	2	6
osoba 23	1	1	2	4	6	6	6	6	6	1	7	5	5	1	6	4	7	3	1	5	4	5	2	7
osoba 24	3	3	1	5	6	6	6	6	6	1	7	5	2	3	7	6	7	2	1	4	2	6	3	6
osoba 25	3	2	3	3	6	5	5	7	5	1	7	6	3	2	7	6	7	5	1	6	4	5	3	5
osoba 26	1	2	2	4	5	5	6	6	7	2	7	5	5	2	6	5	7	3	1	6	4	5	2	5
osoba 27	3	1	3	5	6	6	5	6	7	2	6	7	4	3	7	4	6	2	2	7	3	5	4	6
osoba 28	2	1	3	6	5	5	5	6	6	1	7	7	6	3	7	5	7	2	1	5	4	6	3	5
osoba 29	2	3	2	5	5	4	6	7	6	1	7	5	3	1	7	5	7	3	2	4	3	6	2	7
osoba 30	2	3	2	5	6	4	5	6	7	1	7	5	4	2	7	4	7	4	1	5	4	5	1	6
Průměr	1,97	1,83	2,33	4,87	6,03	5,20	5,50	6,00	6,47	1,73	6,67	5,77	3,43	2,53	6,73	5,20	6,40	2,83	1,33	5,53	3,87	5,47	2,67	6,00

4.3 Stereoskopické chyby

Stereoskopické chyby

<p>1. Zarovnání, Geometrie</p>  <p>Co to je? Nesprávné vertikální zarovnání levého a pravého snímku</p> <p>Co to způsobuje? Rozdíl mezi kamerami / optikou pravděpodobně ve výrobě</p> <p>Jak to opravit? Úpravou geometrie snímku</p>	<p>2. Jas / Barevnost</p>  <p>Co to je? Levý snímek je světlejší, trávší nebo má jiný odstín, barvu proti pravému</p> <p>Co to způsobuje? Odlíšné nastavení kamer</p> <p>Jak to opravit? Stejným nastavením barev</p>	<p>3. Hloubka ostrosti</p>  <p>Co to je? Rozdílná ostrost v levém a pravém snímku</p> <p>Co to způsobuje? Rozdílné nastavení clony, ohniskové vzdálenosti</p> <p>Jak to opravit? Složitou postprodukci nebo rozmazáním snímku na stejnou úroveň</p>	<p>4. Odrazy, Polarizace, Záře</p>  <p>Co to je? Odrazy a odlesky světlých objektů nesouhlasí v levém a pravém snímku</p> <p>Co to způsobuje? Jiný úhel nastavení kamer polarizace (beam splitter rig)</p> <p>Jak to opravit? Složitou postprodukci</p>
<p>5. Znečištění</p>  <p>Co to je? Prach, špína, voda nebo jiné částice na jednom ze snímků</p> <p>Co to způsobuje? Nepříznivé prostředí, špatné očištění optiky kamer</p> <p>Jak to opravit? Technikou pro odstranění prachu</p>	<p>6. Synchronizace (genlock)</p>  <p>Co to je? Snímky nejsou časově synchronizovány</p> <p>Co to způsobuje? Špatná synchronizace kamer</p> <p>Jak to opravit? Úprava synchronizace Postprodukci</p>	<p>7. Záměna snímků</p>  <p>Co to je? Záměna levého a pravého snímku</p> <p>Co to způsobuje? Správa dat, editace</p> <p>Jak to opravit? Prohozením levého a pravého snímku</p>	<p>8. Hyperkonvergence</p>  <p>Co to je? Objekty jsou v příliš velké blízkosti pozorovatele nato, aby se pohodlně zobrazily</p> <p>Co to způsobuje? Nesprávné nastavení kamer, umístění objektů (stereoskopické okno)</p> <p>Jak to opravit? Změnou konvergence</p>
<p>9. Hyperdivergence</p>  <p>Co to je? Objekty jsou příliš vzdálené pro pohodlné pozorování</p> <p>Co to způsobuje? Nesprávné nastavení kamer Umístění objektů (stereoskopické okno)</p> <p>Jak to opravit? Změnou konvergence</p>	<p>10. Rozdílné ohraničení snímku</p>  <p>Co to je? Neshoda ve velikostech snímků Špatné ohraničení hran</p> <p>Jak to opravit? Odstraněním přebytečného okna</p>	<p>11. Záměna vrstev snímku</p>  <p>Co to je? Některé vrstvy kompozice snímku jsou prohozeny</p> <p>Co to způsobuje? Chyba kompozice 3D</p> <p>Jak to opravit? Přehodit chybné vrstvy Složitá postprodukce</p>	<p>12. Rozdílná hloubka objektů</p>  <p>Co to je? Objekty se nenacházejí ve správné hloubce scény</p> <p>Co to způsobuje? Chyba kompozice 3D</p> <p>Jak to opravit? Úprava kompozice složitou postprodukci</p>
<p>13. Vizuální rozdíly</p>  <p>Co to je? Objekty ve scéně se neshodují v levém a pravém snímku</p> <p>Co to způsobuje? Chyba kompozice 3D</p> <p>Jak to opravit? Úprava kompozice složitou postprodukci</p>	<p>14. Poměr 2D/3D</p>  <p>Co to je? Velké množství 2D snímků se snaží nahradit 3D</p> <p>Co to způsobuje? Nedostatek 3D obsahu</p> <p>Jak to opravit? Nahradit 2D scénou scénou se stereoskopickým obsahem</p>	<p>15. Vysoký kontrast</p>  <p>Co to je? Prvek nacházející se hluboko nebo ve velké vzdálenosti s vysokým kontrastem vytváří dvojitý obraz na displeji</p> <p>Co to způsobuje? Obnovovací frekvence zobrazovacího zařízení Oddělení levého a pravého obrazu pomocí 3D brýlí</p> <p>Jak to opravit? Změnit kontrast, konvergenci</p>	

Dominik Vozák

Originál upraven a převzat z : technicolor.com

4.4 Ukázka vytvořeného kalkulátoru stereoskopické báze

Výpočet stereobáze (metoda 1)

Nastavení		Výpočty	
s_w	Šířka senzoru	32	mm
s_h	Výška senzoru	24	mm
f	Ohnisková vzdálenost	50	mm
D	Úhlopříčka obrazovky	48	palců
	Pozorovací vzdálenost	2,5	m
AR	Poměr stran (16/9)	1,2	
V_p	Nejvzdálenější bod (Max. pozitiv. paralaxa)	2,6	m
V_c	Bod s nulovou paralaxou (Konvergenční bod)	2,6	m
V_n	Nejbližší bod (Bod s negativní paralaxou)	1,45	m
MAOFD%	Požadovaná pozitivní deviace	2	%
	Rozlišení senzoru - šířka	1920	px
	Rozlišení senzoru - výška	1080	px
$D_{pht} \leq MAOFD_{min}$			
Pokud máme zadanou bázi a chceme spočítat deviace			
Bz	Zadaná báze	83	
$D_{pht} \leq MAOFD_{min}$			
H	Výška obrazovky	0,78051282	m
W	Šířka obrazovky	0,956615384	m
MAOFD _s	MAOFD na senzoru	0,64	mm
MAOFD _o	MAOFD na obrazovce	18,75230768	mm
			38,4 px
B	VYPOČÍTANÁ STEREO BÁZE	41,96174	mm
FOV _x	FOV horizontální	35,49	o (stupně)
FOV _y	FOV vertikální	26,99	o (stupně)
FOV _d	FOV diagonální	43,60	o (stupně)
	diagonála senzoru	40	mm
	pozitivní dev. (úhel očí pozorovatele)	-9,51	o (stupně) konvergenční bod
D_n	negativní dev. (nejbližší bodu)	1,447	mm
			86,8 px
D_p	pozitivní dev. (nejvzdál. bodu)	0,806956522	mm
			48,4 px
D_c	nulová dev. (konverg. bodu)	0,806956522	mm
			48,4 px
	negativní deviace na senzoru	0,64	mm
Dnht	negativ. dev. na senzoru (korekce)	0,64000	mm
			38,4 px
Dphit	pozit. dev. na senzoru (korekce)	0	mm
			0 px
D_c	nulová dev. (konverg. bodu)	1,596153846	mm
			95,8 px
D_n	negativní dev. (nejbližší bodu)	2,862068966	mm
			172 px
D_p	pozitivní dev. (nejvzdál. bodu)	1,596153846	mm
			95,8 px
Dnht	negativ. dev. na senzoru (korekce)	1,26592	mm
			76 px
Dphit	pozit. dev. na senzoru (korekce)	0	mm
			0 px

Výpočet stereobáze (metoda 2)

Pozorovatel (Zobrazovací prostor)			
Pozorovací vzdálenost	Z	2500	mm
Depth Budget	Negativní p.	N	40 mm
	Pozitivní p.	F	40 mm
Displej	Šířka zobrazovacího displeje	W	1000 mm
	rozišení displeje (šířka)	X	1920 px
	rozišení displeje (výška)	Y	1080 px
Vzdálenost očí pozorovatele	IO	65	mm
Vypočítané disparity na displeji (paralaxy):			
Negativní p.	dN	1,06	mm
Pozitivní p.	dF	1,02	mm
Poměr paralax	r	1,03	

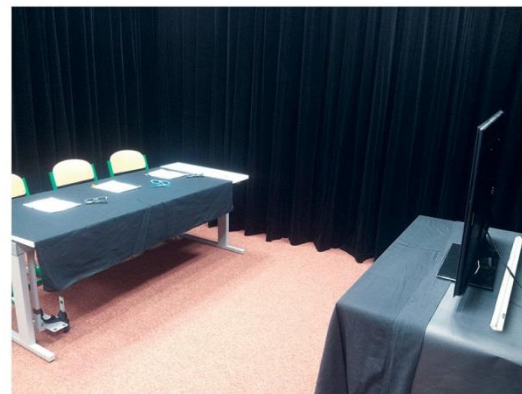
Kamery (Prostor snímané scény)			
Nejbližší objekt	N'	2000	mm
Nejvzdálenější objekt	F'	2400	mm
Kamera	ohnisková vzdálenost	f	30 mm
	šířka senzoru	W_f	32 mm
	Zorný úhel (FOV)	$\tan(\theta/2)$	0,53 o
Virtuální displej - vzdálenost	Z'	2185,00	mm
Virtuální šířka displeje	W'	2330,66	mm
	STEREOSKOPIČKÁ BÁZE	B	26,33 mm
ořez	crop	0,01	= 21,4483 px

4.5 Obrázky pořízené během snímání a hodnocení

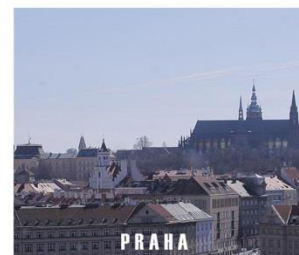
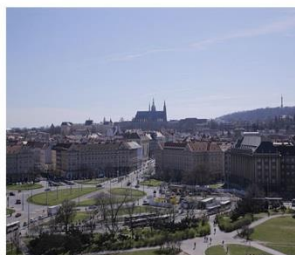
Snímání



Hodnocení



Ukázka testovacích sekvencí



4.6 Obsah přiloženého CD

- Elektronická verze diplomové práce ve formátu PDF
- Výsledné hodnocení subjektivních testů v XLSX
- Vytvořený stereoskopický kalkulátor v XLSX
- Sada obrázků z testovací videosekvence