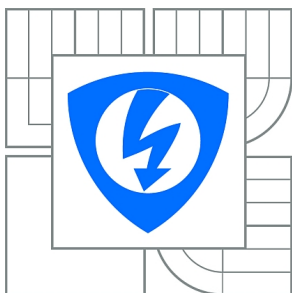


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ

BINOCULAR VISION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

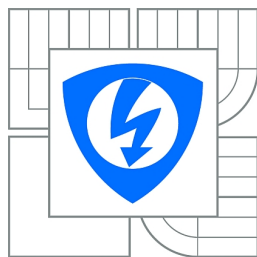
Bc. JAKUB PORTYŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. IVO PROVAZNÍK, Ph.D.

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské inženýrství a bioinformatika

Student: Bc. Jakub Portyš

ID: 106119

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Binokulární vidění

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši fyziologie binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrazů a možnosti měření parametrů binokulárního vidění u diváka. 2) Popište a porovnejte výhody i nevýhody různých stereoskopických zobrazovacích metod. 3) Zvolte optimální hodnotu vzdálenosti kamer při snímání a následné projekci u člověka. 4) Navrhněte vhodné dynamické scény pro hodnocení parametrů binokulárního vidění u diváků, například dopravní situace při jízdě v automobilu. 5) Realizujte promítání krátkých videosekvencí ve skupině pozorovatelů. 6) Proveďte diskusi a vyhodnocení výsledků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HLAVÁČ, Václav; ŠONKA, Milan. Počítačové vidění. 1. vyd. Praha: Grada, 1992, 272 s. ISBN 80-854-2467-3.

[2] GANONG, William F. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995. ISBN 80-85787-36-9.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce pojednává o binokulárním vidění a jeho fungování v každodenním životě. V jednotlivých kapitolách je rozebrána anatomie i fyziologie zrakového orgánu. Zevrubně jsou popsány fyzikální principy binokulárního vidění. Rozebírán je též vývoj binokulárního vidění, poruchy binokulárního vidění a vyšetřování binokulárního vidění u člověka. Teoretický úvod dále definuje pojem stereoskopie a uvádí přehled stereoskopických zobrazovacích metod. Prostor je též věnován způsobům snímání prostorového obrazu a nastavení snímacích zařízení.

Praktická část je věnována výběru stereoskopické snímací metody a návrhu snímaných dynamických scén vycházejících ze silničního provozu. Rozebrán je též způsob promítání nasnímaných scén skupině respondentů. V poslední kapitole je rozebrán způsob a samotné vyhodnocení experimentu a z něho vyplývající závěry.

Abstract

This paper follows up theme of binocular vision and his working in daily life. The individual chapters contain anatomy and physiology of visual organ. In detail are discussed physical principles of binocular vision. Discussed are also development, eventual pathologies and examination methods of human binocular vision. Theoretical introduction defines the concept of stereoscopy and states overview of stereoscopic imaging methods. Paper also includes approaches to recording of three dimensional image and camera settings.

Practical part of work is dedicated to the selection of shooting methods and design of dynamic scenes from daily traffic. Introduced is also the projection method of captured scenes to the group of viewers. The last chapter analyzes the method and evaluation of the experiment itself and the resulting conclusions.

Klíčová slova

Binokulární vidění, stereoskopie, stereobáze, stereoskopické promítání.

Keywords

Binocular vision, stereoscopy, stereobase, stereoscopic projection.

PORTYŠ, J. *Binokulární vidění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2013. 75 stran. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Binokulární vidění jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009Sb.

V Brně dne 20. května 2013

.....

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval prof. Ing. Ivo Provazníkovi Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, za cenné rady a podněty týkající se tématu a také za poskytnuté materiály. Rád bych též poděkoval Ing. Petru Fedrovi za cennou pomoc v začátcích mé práce.

V Brně dne 20. května 2013

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	1
1. Úvod do fyziologie vidění	3
1.1 Anatomické poznámky	3
1.2 Recepce světla	4
1.3 Adaptace na světlo a tmu	5
1.4 Barevné vidění	5
1.5 Akomodace	5
1.6 Zraková ostrost	6
1.7 Optický systém oka	6
1.8 Vznik obrazu a přenos do mozkové kůry	7
1.9 Kritická frekvence splývání	8
1.10 Zorné pole	8
1.11 Oční pohyby	9
2. Binokulární vidění	10
2.1 Vývoj a poruchy binokulárního vidění	12
2.2 Metody vyšetřování binokulárního vidění	14
3. Stereoskopie	15
3.1 Anaglyf	15
3.2 Polarizační stereoskopie	16
3.2.1 Zobrazení pomocí dvou projektorů	16
3.2.2 Zobrazení na 3D displeji	17
3.3 Metoda dvojnásobné snímkové rychlosti	18
3.4 DLP	18
3.5 Autostereoskopické systémy	19
3.6.1 Technologie prostorového multiplexu	20
3.6.2 Dvounáhledové systémy	20
3.6.3 Vícenáhledové systémy	21
3.6 HMD	22
3.7 INFITEC	22
3.8 Srovnání stereoskopických metod	23
3.9 Výběr projekční plochy a obtíže spojené s projekcí	24
4. Snímání prostorového obrazu	25

4.1	Technická realizace snímání	25
4.2	Parametry nastavení kamer	28
5.	Návrh snímání dynamických scén	30
5.1	Technické parametry snímání	30
5.1.1.	Poloha kamer.....	30
5.1.2	Volba stereobáze	32
5.1.3	Initio StereoBrain Calculator	38
5.1.4	Hloubka ostrosti	42
5.1.5	Nastavení kamer a technické parametry snímací aparatury.....	42
5.2	Návrh snímaných scén.....	45
5.2.1	Nerealizovaná scéna – Garáž.....	45
5.2.2	Scéna 1. – Zelená brána.....	46
5.2.3	Scéna 2. – Křižovatka	48
5.2.4	Scéna 3. – Příjezdová cesta.....	50
6.	Projekce nasnímaných scén	52
6.1	Předzpracování sekvencí	55
7.	Vyhodnocení experimentu a diskuze výsledků	57
7.1	Vyhodnocení specifických parametrů scény „Zelená brána“	57
7.2	Vyhodnocení specifických parametrů scény „Křižovatka“	60
7.3	Vyhodnocení specifických parametrů scény „Příjezdová cesta“	63
7.4	Vyhodnocení trojrozměrnosti scén	66
7.5	Srovnání scén z hlediska vyskytujících se obtíží při sledování.....	67
7.6	Poznámky respondentů.....	70
	Závěr	71
	Zdroje	73
	Seznam použitých zkratk	75
	Seznam příloh.....	75

Úvod

Binokulární vidění, které je chápáno jako nástroj vnímání hloubky a prostorového obrazu zorného pole, je velmi důležitou součástí vnímání okolí člověkem. Schopnost vnímat prostor ve všech třech rozměrech dává vyniknout možnostem lidského mozku a umožňuje člověku efektivně realizovat každodenní činnost. Binokulární vidění je nedílnou součástí každodenní činnosti člověka a umožňuje naučit se přesnému provádění základních úkonů. Binokulární vidění je dále zcela nezbytné ve složitějších lidských činnostech. Například v oblasti dopravní problematiky, kdy řízení rychle se pohybujících dopravních prostředků vyžaduje spolehlivé vyhodnocení třírozměrné obrazové scény.

Binokulárním viděním jsou vybaveni i další živočichové. Ve zvířecí říši lze najít mnoho příkladů živočichů využívajících prostorové vnímání. Jde vesměs o predátory, pro které je prostorové vidění zásadní při lovu kořisti, kdy musí rychle vyhodnocovat měnící se pozici kořisti ve třírozměrném prostoru, přičemž se sami pohybují.

Lidské oko je tou nejdokonalejší kamerou, kterou lidstvo zatím poznalo. Proto jsou vyvíjeny mnohé snahy o napodobení tohoto skvělého aparátu. Dlouhou dobu byli k dispozici kamery, které byli schopné zaznamenat pouze dva rozměry snímané scény. Dnes již není takovou novinkou fakt, že disponujeme kamerami, které jsou schopny zaznamenat i třetí rozměr. Opět si věda vzala za předlohu lidský zrakový aparát, nutno však říci, že žádný stereoskopický obraz, nasnímaný tou nejkvalitnější metodou stereoskopického snímání a zobrazený tou nejsofistikovanější metodou stereoskopického zobrazování nedokáže překonat latku nasazenou lidským zrakem.

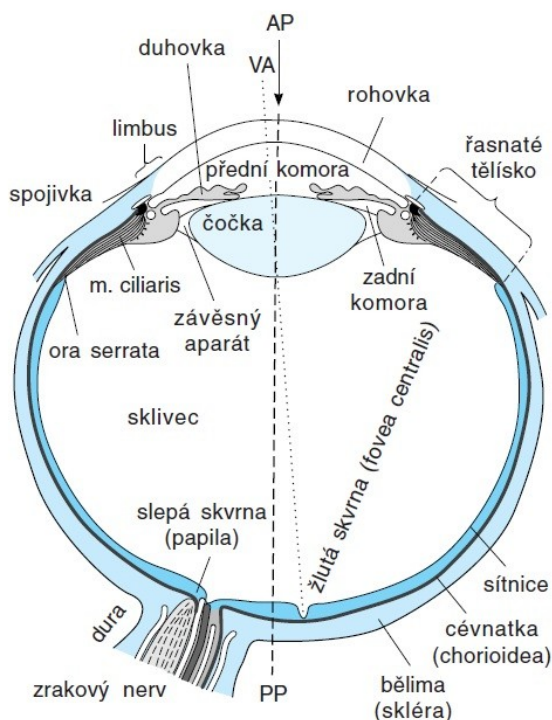
Využití stereoskopických záznamových a zobrazovacích metod je velmi široké. Můžeme sledovat trojrozměrné filmy jak v kinech, tak na našich televizorech a na osobních počítačích můžeme hrát trojrozměrně prezentované hry. Stereoskopické metody se využívají při záchranných akcích např. k ovládání záchranářských robotů, ve sledovacích systémech k zaznamenání a „stopování“ cílů, v simulátorech různých dopravních prostředků. Také v medicíně a biologii, nebo v technickém konstruování a designu nalézají stereoskopické metody své využití.

V úvodních kapitolách práce se zabývám problematikou binokulárního vidění. Práce obsahuje anatomické poznámky, základy fyziologie lidského zraku a náhled na fyzikální principy binokulárního vidění. Krátce je též rozebrán vývoj binokulárního vidění u člověka, poruchy binokulárního vidění a jeho vývoje a také konvenční metody vyšetřování binokulárního vidění. V dalších kapitolách jsou představeny moderní metody stereoskopického promítání obrazu a také stereoskopického záznamu obrazu. Podrobněji jsou též rozebrány parametry, na které je nutné při stereoskopickém snímání prostorové scény dbát, především se to týká stereobáze snímacích kamer a paralaxy, vzniknuvší v obraze. To bylo prvním krokem k realizaci dalších cílů, vytyčených pro diplomovou práci. Dalším krokem bylo navržení konkrétních scén pro snímání, které čerpají z modelových situací v běžném silničním provozu a navržení kontrolních dotazníků k těmto scénám. Scény byly navrženy tak, aby divák při jejich pozorování zapojoval právě svůj smysl pro vnímání hloubky a dotazované parametry měly odhalit, jak citlivé binokulární vidění respondent

vykazuje. V závěru práce je popsáno promítání těchto navržených scén a jejich vyhodnocení skrze dotazníky. Formou grafů a komentářů je diskutován každý sledovaný parametr.

1. Úvod do fyziologie vidění

1.1 Anatomické poznámky

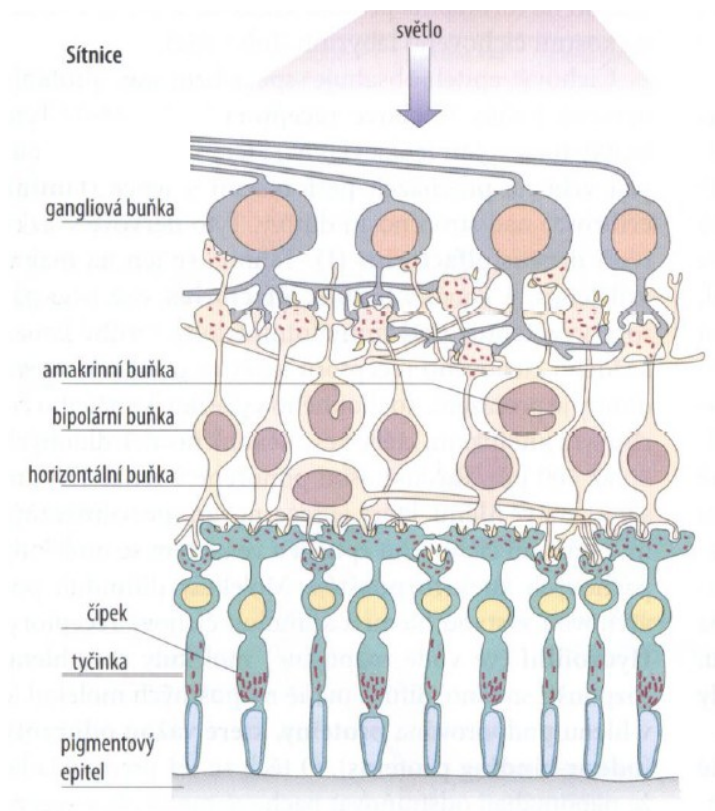


Obrázek 1.1 Horizontální řez pravým okem. AP – přední pól; PP – zadní pól; VA – optická osa. Převzato z [1].

Zrakové ústrojí tvoří oční koule neboli **bulbus**, uložený v očníci, a přídatné oční orgány (okohybné svaly, víčka, spojivka a slzné ústrojí). Tvar bulbu je dán především sklérou (bělimou) resp. rohovkou. **Skléra** je pevná a neprůhledná ochranná vrstva oka a volně přechází v **rohovku**, která je vstupní bránou do oka pro přijímané světelné paprsky. Vrstva pod sklérou se nazývá **cévnatka** (chorioidea). Jedná se o cévami hojně zásobenou pigmentovou vrstvu, která má za úkol vyživovat veškeré struktury oka. Třetí vrstva, umístěná pod cévnatkou se nazývá **sítnice**. Ta se nachází v zadních 2/3 vystýlky oční koule. Sítnici lze považovat za „detektor“ oka. Právě zde je hojně zastoupena nervová tkáň s receptorovými buňkami. Nervová vlákna vystupují z oka v zadním segmentu skrz **zrakový nerv**. Dalším důležitým prvkem optického systému oka je čočka. Ta za pomoci vláken kruhového závěsného aparátu zajišťuje akomodaci oka. Díky tomu můžeme vnímat ostrý obraz i při proměnlivé vzdálenosti pozorovaných objektů. Závěsný aparát se upíná na přední ztlustělou část cévnatky, zvanou **řasnaté tělísko**. Řasnaté tělísko obsahuje kruhová i podélná svalová vlákna, která se upínají blízko spojení rohovky a skléry. **Duhovka**, nacházející se před čočkou, je neprůhledná, pigmentovaná (a díky tomu také barevná) clona obsahující cirkulární vlákna, která mohou měnit průměr **zornice**. To umožňuje regulaci množství světla, které vstupuje do oka a dopadá na sítnici. Vnitřní prostor bulbu je vyplněn čirou rosolovitou hmotou, **sklivcem**. Přední komora, tedy prostor mezi rohovkou a čočkou, je vyplněna **komorovou vodou**. Komorová voda se tvoří v řasnatém tělísku a do přední komory se dostává srkz zornici. Odtok je zajištěn **Schlemmovým kanálem**. Ten leží na rozhraní duhovky a rohovky. [1, 2, 3]

1.2 Recepce světla

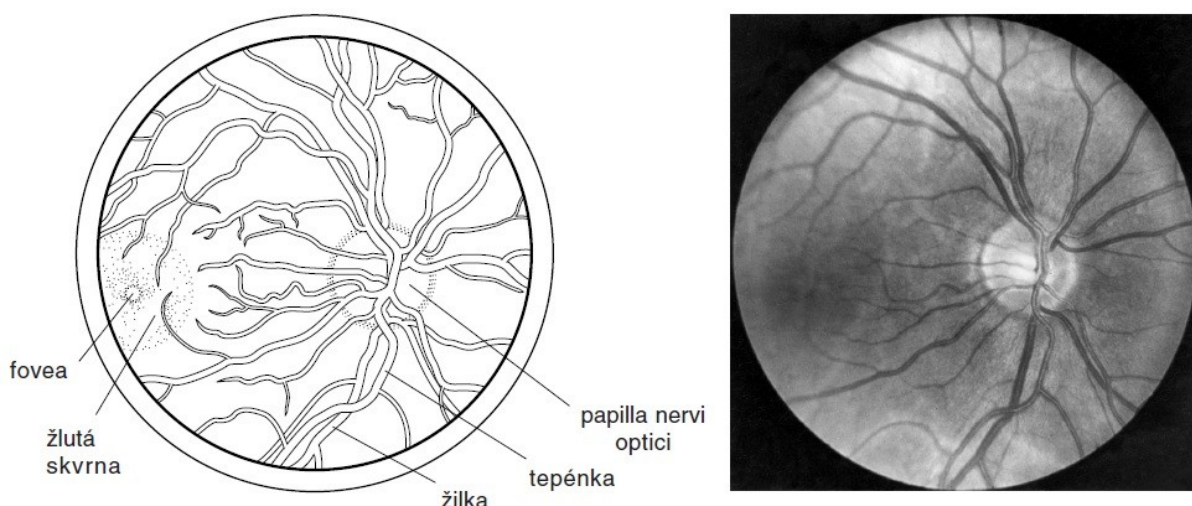
V recepci světla hraje zásadní roli sítnice. Ta je tvořena několika vrstvami nervových buněk, mezi nimiž jsou i světločivé buňky nazývané **tyčinky** a **čípky**. Díky rozdílnosti obou receptorů získáváme obraz za velmi různých podmínek. Tyčinek je na sítnici asi 130 mil. a jejich počet procesem stárnutí klesá asi o třetinu. Jelikož jsou tyčinky mnohem citlivější na světelné podněty, primárně jsou určeny k vidění za šera (**skotopické vidění**). Hůře registrují detaily, obrysy a barvy. Naopak čípky nejsou na světelné podněty citlivé tak jako tyčinky, na druhou stranu mnohem lépe registrují detaily, obrysy a především barvy. Čípky jsou určeny k vidění za plného denního světla (**fotopické vidění**). Tyčinky a čípky se svojí povahou podílejí na vyrovnávání změn intenzity světelných podnětů.



Obrázek 1.2 Názorná histologie sítnice. Převzato z [6].

Dále v sítnici můžeme nalézt celkem čtyři typy nervových buněk: **bipolární buňky**, **gangliové buňky**, **horizontální buňky** a **amakrinní buňky**. Tyčinky a čípky navazují spojení s bipolárními buňkami, které se napojují na buňky amakrinní a ty dále na buňky gangliové. Axony gangliových buněk se nakonec sbíhají a vystupují z oka jako zrakový nerv. Horizontální buňky fungují jako pojítka mezi ostatními receptorovými buňkami.

Místo, kde zrakový nerv opouští oko (papilla nervi optici), neobsahuje žádné zrakové receptory. Říká se mu **slepá skvrna**. Naopak o něco výše, na zadním pólu oka, můžeme nalézt místo zvané **žlutá skvrna**. V tomto místě ztenčení sítnice (fovea centralis) sice nejsou žádné tyčinky, nicméně nalezneme zde velkou hustotu čípků. Toto je místo nejvyšší zrakové ostrosti. Tyčinky se hojně vyskytují v místech mimo žlutou skvrnu. [1, 2, 4, 5]



Obrázek 1.3 Oftalmoskopický pohled na normální lidskou sítnici. Na schématu vlevo jsou vyznačeny orientační body fotografie vpravo. Převzato z [1].

1.3 Adaptace na světlo a tmu

Zatímco adaptace na světlo probíhá skoro okamžitě, adaptace na tmu je proces relativně zdoluhavý. Oba procesy se odvíjí od procesu rozkladu a resyntézy receptorových pigmentů, především v tyčinkách obsaženého rodopsinu. **Rodopsin** na světle velmi rychle bledne (rozklad rodopsinu). Při přechodu ze tmy na světlo si člověk zvykne na nové podmínky do 5 minut (rychlá adaptace na světlo). V druhém případě, pokud intenzita světla klesne, zvyšuje se citlivost tyčinek na světlo a aktivací práh klesá. Začíná docházet k obnově (resyntéze) rodopsinu, která trvá přes 25 minut (pomalejší adaptace na tmu). Přechodem ze světla do šera dochází ke změně fotopického vidění na vidění skotopické. [1, 2, 4, 5]

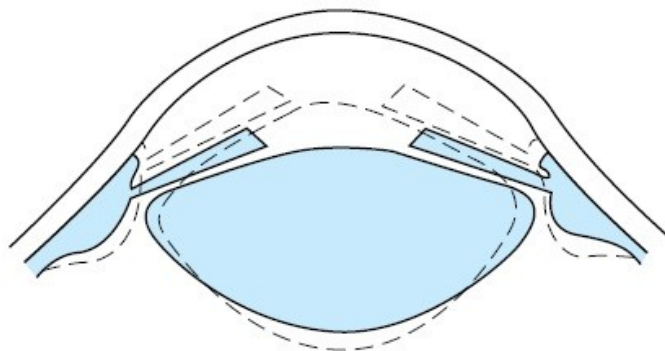
1.4 Barevné vidění

Barevné vidění je v sítnici zajišťováno čípkami. Tvorba jednotlivých barev vychází ze systému RGB a nazývá se **subtraktivní mísení barev**. Jakoukoliv barvu vytváříme mísením červené, zelené a modré. To je u lidského oka možné díky výskytu tří různých druhů čípků s různými zrakovými pigmenty (erytrolab/červená, chlorolab/zelená, cyanolab/modrá). Oko detekuje světelné vlny o délce v rozmezí přibližně 400 až 750 nm. Každý dílčí pigment má maximální absorpci světla v jiné části spektra. Spektrální křivky těchto pigmentů se vzájemně překrývají, tak je zajištěno kompletní pokrytí celého viditelného spektra. Tyčinky obsahují pouze jeden zrakový pigment, proto nejsou zprostředkovateli barevného vidění. [1, 2, 5, 6, 11]

1.5 Akomodace

Aby světlo vstupující skrz čočku do oka vytvořilo ostrý obraz nezávisle na vzdálenosti pozorovaného objektu, je třeba mít dynamický systém ostření neboli akomodace. Přesně takový systém tvoří čočka a **musculus ciliaris**, který je součástí řasnatého tělíska. Za běžného stavu je sval relaxovaný a přichází rovnoběžné paprsky dopadají na ohnisko na sítnici. Čočka je udržována v napětí závěsným aparátem a je plochá. Ohnisko pozorovaných objektů bližších než 6 metrů však již leží za sítnicí a bez akomodace nelze získat ostrý obraz. Pokud tedy oko pozoruje takto blízký předmět, sval se kontrahuje, čímž dojde k uvolnění závěsného aparátu čočky a ta se především v přední části vlastní elasticitou vyklene do tvaru více

konvexního. Tak dojde ke zvýšení optické mohutnosti čočky neboli akomodaci na blízko. Akomodace probíhá společně s konvergencí obou bulbů a také se zúžením zornic.



Obrázek 1.4 Akomodace. Plnými čarami je zobrazen tvar čočky, duhovky a řasnatého tělíska v klidu, přerušovanými čarami jejich tvar při akomodaci. Převzato z [1].

Akomodace na blízko má samozřejmě svá omezení. Blízký bod je nejbližší bod, na který oko ještě dokáže zaostřit. Stejně jako schopnost akomodace se s postupujícím věkem zhoršuje, tak se i blízký bod postupem věku od oka oddaluje. [1, 2, 3, 4, 5]

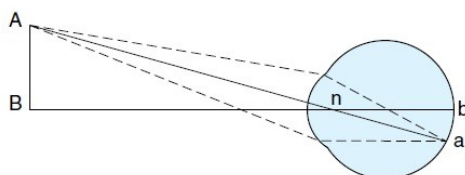
1.6 Zraková ostrost

Jde o schopnost vnímat detaily a hranice objektů jako separované, nikoliv jako splývající, tedy rozlišovací mez. Zrakovou ostrost nebo také tzv. vizus lze definovat pomocí **prostorového prahu (minimum separabile)**. Prostorový práh je mírou zrakové ostrosti a reprezentuje minimální vzdálenost dvou bodů, které lze ještě rozlišit jako oddělené. Výsledná projekce na sítnici je ovlivněna nejen vzájemnou vzdáleností objektů, ale také jejich vzdáleností od oka. Parametr, který zohledňuje vzdálenost pozorovaných objektů od oka je úhel, který svírají paprsky vycházející z objektů a vstupující do oka. Menší úhel znamená vyšší ostrost a naopak. I další faktory ovlivňují vizus. Velmi záleží na místě dopadu na sítnici a na hustotě receptorů v tomto místě. Vizus je také ovlivněn intenzitou osvětlení a kontrastem. Nejnižší hodnota prostorového prahu je jedna úhlová minuta a lze jí dosáhnout na fovea centralis. Na sítnici to znamená 5 μm (jeden nepodrážděný čípek mezi dvěma podrážděnými). Vizus se určuje pomocí **Snellenových optotypů**. Zraková ostrost je samozřejmě snížena při nižší intenzitě osvětlení, jelikož vizus je zprostředkováván čípkami nikoliv tyčinkami. [1, 2, 5]

1.7 Optický systém oka

O oku lze uvažovat jako o konvergentním optickém systému, jehož optická soustava se skládá z rohovky, komorové vody, čočky a sklivce (komponenty s různým indexem lomu, optickou mohutností, poloměrem křivosti a polohou ohnisek). Paprsky se zobrazují na sítnici. Jako izolace působí cévnatka, jejíž vysoká hustota pigmentu je zodpovědná za odfiltrování nežádoucího osvětlení a zabraňuje nežádoucímu odrazu. Ostrost zobrazeného obrazu je zaručena změnou optické mohutnosti čočky, akomodací. Při průchodu paprsků optickým systémem oka platí základní zákony optiky. Světelný paprsek se v optickém systému oka třikrát láme – na rohovce, na přední ploše čočky a na zadní ploše čočky. Pro zjednodušení se u modelů oka (např. Gullstrandovo schematické oko) znázorňuje lom pouze na rohovce. Potom se optický střed oka n (uzlový bod) nachází v zadní části čočky. Tímto místem

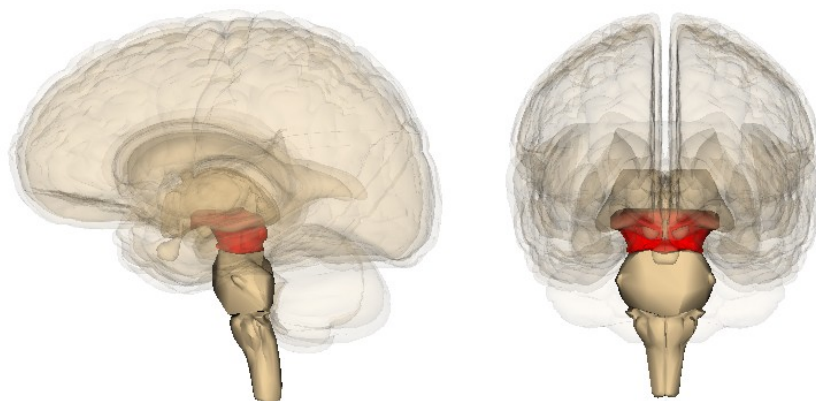
procházejí paprsky, u nichž nedochází k lomu (kolmo dopadající). Paprsky, které se lámou, dopadají na další ohniska na sítnici. Výsledný obraz na sítnici je potom převrácený a zmenšený. [1, 2, 5]



Obrázek 1.5 Zjednodušené schéma oka. n – uzlový bod. AnB a anb jsou podobné trojúhelníky. Převzato z [1].

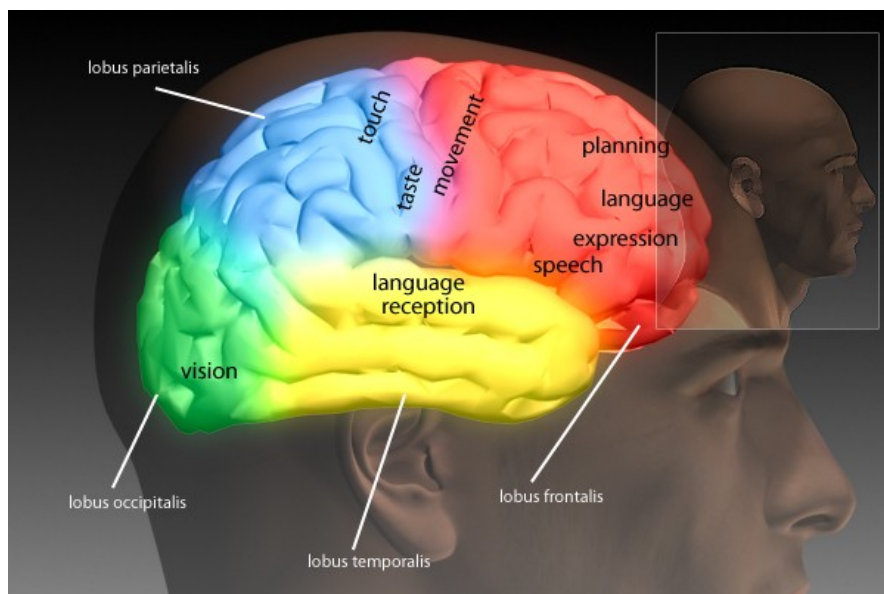
1.8 Vznik obrazu a přenos do mozkové kůry

Jak již bylo zmíněno, vznik obrazu na úrovni sítnice je zajištěn několika druhy nervových buněk. Primární obraz vzniká působením fotonů světla na fotoreceptory (tyčinky a čípky). Tento obraz je převeden na obraz sekundární v bipolárních buňkách a tento je následně převeden na obraz terciární v gangliových buňkách. Převod primárního obrazu na sekundární je asistován horizontálními buňkami, převod sekundárního na terciární je asistován amakrinními buňkami.



Obrázek 1.6 Umístění středního mozku. Převzato z [8].

Informace reprezentující terciární obraz poté putuje díky axonům gangliových buněk do corpus geniculatum laterale ve středním mozku. Odtud putuje informace o vizuálním vjemu do primární zrakové kůry v týlním laloku, centra zraku. [1, 2, 4, 5]



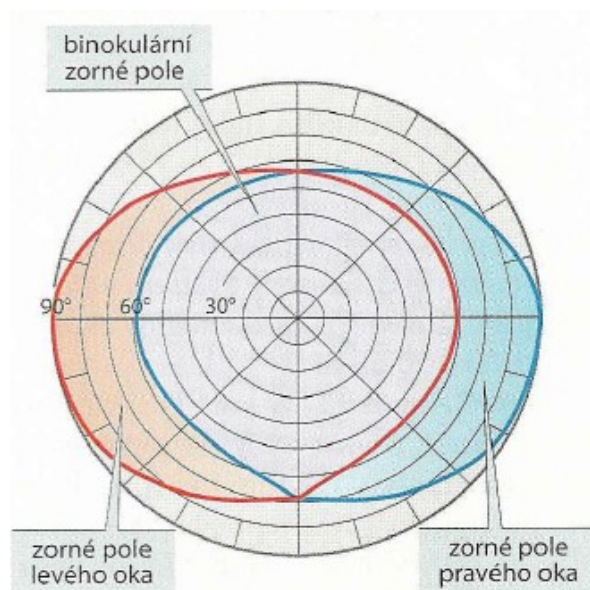
Obrázek 1.7 Schematické rozdělení mozku. Zeleně označen týlní lalok, centrum zraku. Převzato z [9].

1.9 Kritická frekvence splývání

Kritická frekvence splývání neboli **critical fusion frequency (CFF)** je pro oko zásadní při sledování kontinuálního obrazu, který je reprezentován vysokým počtem dílčích obrazů, tak jak je tomu u mnoha zobrazovacích zařízení (CRT monitory, projektory). CFF je maximální frekvence, při níž obrazy oko ještě vnímá odděleně. Pokud je frekvence podnětů vyšší, sleduje oko kontinuální obraz. V televizích nebo kinech sledujeme obraz o vysoké frekvenci, proto působí pohyb na obrazovce nebo monitoru jako kontinuální proces. Při případném snížení zobrazovací frekvence bychom zaznamenali blikání obrazu a byli bychom schopni rozeznat dílčí obrazy. [1]

1.10 Zorné pole

Zorné pole udává část prostoru před pozorovatelem, který je vnímán příslušným okem. Zorná pole obou očí se v centrální části překrývají a dávají tak vzniknout binokulárnímu vidění. Oblast překrývání se nazývá binokulární zorné pole. Zbytek zorného pole je monokulární. **Binokulární zorné pole** nalezneme u člověka, primátů, většiny predátorů a dalších tvorů, kteří ve svém životě potřebují dobré prostorové vnímání a mají tedy oči umístěny ve frontální části lebky. Opakem jsou tvorové s očima na stranách hlavy. Jejich centrální zorná pole se nepřekrývají, nemají výše definované binokulární vidění, mají však mnohem širší celkové zorné pole. Je tomu tak většinou u tvorů, kteří jsou tzv. lovnou zvěří. U člověka je zorné pole omezeno očnicí a nosem. [1, 11]



Obrázek 1.8 Binokulární zorné pole. Převzato z [11].

Zorné pole se stanovuje pomocí perimetru (periferní zorné pole) a tangent screenu (centrální zorné pole). Takové stanovení zorného pole je užitečné při lokalizaci slepé skvrny popř. skotomů (patologické slepé skvrny). [1]

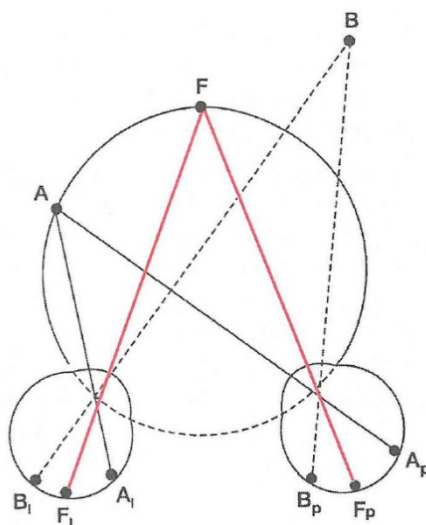
1.11 Oční pohyby

Oční pohyby a především jejich synchronizace jsou zásadními aspekty správného vidění. Jen při dokonalé součinnosti očních pohybů lze dosáhnout ostrého a prostorového správného vjemu. **Sakády** jsou pohyby trhavé, používané při přesunu pohledu mezi dvěma objekty. **Hladké sledovací pohyby** se vyskytují při sledování pomalu a stejnoměrně se pohybujících předmětů. **Vestibulární pohyby** zajišťují fixaci pohledu při pohybech hlavy. **Nystigmatismus** je označení pro kombinaci rychlého pohybu v jednom směru a pomalého ve směru opačném (např. při sledování vnějším statických objektů za jízdy vlakem). **Konvergenční pohyby** zajišťují souběh zrakových os při ostření na velmi blízké objekty. [1, 11]

2. Binokulární vidění

Binokulární vidění je jedním ze základních aspektů vnímání hloubky obrazu, proporcí a vzdáleností, tedy prostorového vnímání. Binokulární vidění je ve velmi úzké součinnosti s monokulárními aspekty prostorového vnímání.

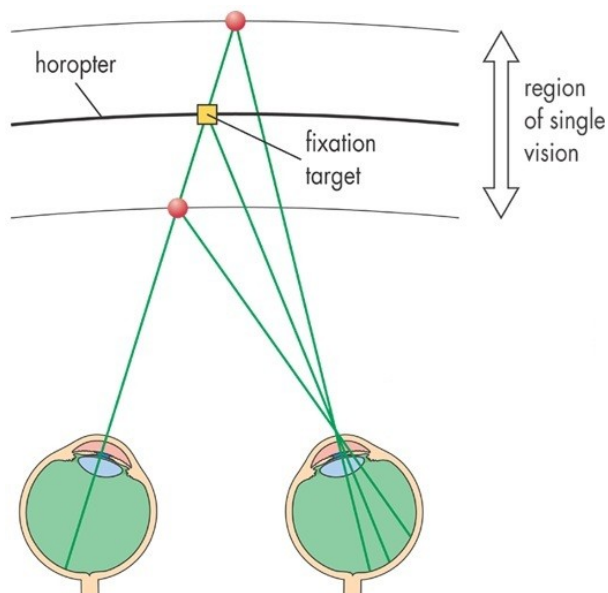
Rozlišujeme celou řadu monokulárních aspektů prostorového obrazu. Základními vodítky k určení prostorového postavení jsou světlo a stín. Často vnímáme objekty bližší jako světlejší, a objekty vzdálenější jako tmavší. Dalším vodítkem je relativní velikost objektů ve scéně. Objekty bližší se jeví větší, objekty vzdálenější se jeví menší. Na základě relativní velikosti a zkušenosti lze také určit vzdálenost objektů ve scéně. S tím je úzce spjat i další monokulární aspekt, vzájemná poloha objektů. Pozorovatel ví, že pokud mu výhled na např. výlohu cloní automobil, nachází se automobil v prostoru blíže k pozorovateli než výloha. Také perspektiva viditelnosti nám umožňuje určit postavení objektů ve scéně. Toto vodítko se vztahuje především na velmi vzdálené (relativně a/nebo reálně) objekty a nejlépe se demonstruje při rozdílných atmosférických vlivech (snížená viditelnost, mlha, absolutní jasno atd.). Dalším vodítkem je vzájemný pohyb objektů scény. Toto vodítko není jednoznačně monokulární a je popsáno v následujících odstavcích. Snad nejdůležitějším monokulárním vodítkem je perspektiva, tedy vztah objektů v popředí a v pozadí. I přes četná monokulární vodítka je monokulární vnímání prostoru nepřesné a z velké části založené na zkušenosti. [1, 12, 13, 15]



Obrázek 2.1 Horopter. F_l , F_p , A_l , A_p – korespondující body. B_l , B_p – nekorespondující body. F_l , F_p – levá a pravá fovea centralit. F – fixovaný bod. A – bod na horopteru. B – bod vně horopteru. Převzato z [2].

Podstata binokulárního vidění je v současném vidění, překrývání (superpozice) centrálních částí zorných polí a jejich následné splývání (fúze) ve zrakovém centru v mozku. Pro vysvětlení mechanismu binokulárního vidění lze užít **horopter**, neboli množinu bodů v prostoru, které jsou vnímány binokulárně (plasticky). Body v prostoru mimo horopter jsou vnímány monokulárně (plošně). Pro binokulární vidění je zásadní synchronizace pohybů obou očí. Oči se fixují, resp. **konvergují**, a **akomodují** na pozorovaný bod (současné vidění). Ten se nachází na horopteru a zobrazuje se na fovea centralis obou sítnic. Další body na

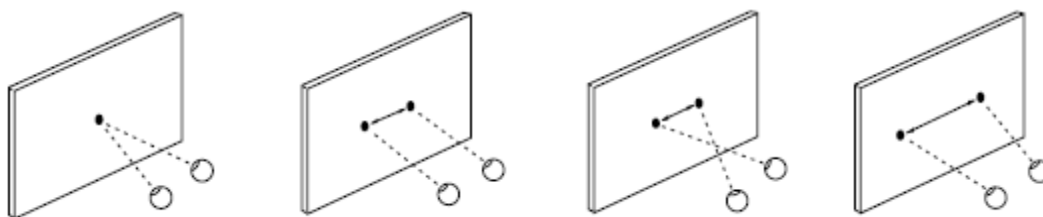
horopteru se zobrazují na tzv. korespondujících bodech sítnice. Tyto body leží ve stejné vzdálenosti a horizontálně ve stejném směru od žluté skvrny u obou očí. Následně dochází k **překrytí obrazů**, resp. superpozici obrazů z levého a pravého oka a řádné **fúzi** těchto obrazů. Výsledný obraz je vnímán jednotně. Objekty, které neleží na horopteru se promítají na nekorespondenční (nebo také disparátní) místa sítnice, jsou po fúzi vnímány dvojité nebo prostorově. **Disparita** je potom posun korespondujících bodů z levého a pravého oka v horizontální rovině. Body, na které oči konvergují, mají disparitu nulovou. Právě disparita hraje důležitou roli v tvorbě prostorového vjemu. Čím větší je totiž disparita, tím větší vzniká dojem hloubky. Dvojité vidění se nazývá **diplopie** a rozeznáváme dva druhy takového vidění. **Diplopie zkřížená** nastává u objektů nacházejících se před horoptrem, zatímco **diplopie nezkřížená** nastává u objektů nacházejících se za horoptrem. K diplopii může dojít již při malých nedostacích v součinnosti okohybných svalů. K dvojitému vidění však nedochází, pokud je objekt mimo horopter, ale zároveň relativně blízko horopteru. V takovém případě dochází k **vytvoření prostorového vjemu** hloubky, nikoliv dvojitému vidění objektu. Oblast, ve které se tyto relativně blízké objekty nachází, se nazývá **Panumův prostor**. Schopnost vytvořit vjem hloubky scény se nazývá **stereopse** a jde, jak již bylo naznačeno, o fúzi dvou mírně posunutých obrazů. Stereopse je nejvyšší stupeň prostorového vidění. [1, 2, 5, 11]



Obrázek 2.2 Panumův prostor. Žlutý čtverec representuje fixovaný bod. Červená kolečka representují body v Panumově prostoru, které jsou ještě vnímány jednotně, tím pádem nedochází k diplopii. Převzato z [14].

Binokulární vnímání má oproti monokulárnímu několik parametrů navíc. Tyto parametry v zásadě vycházejí z úhlu, který svírají pozorovací osy obou očí. Tento úhel se nazývá **paralaxa**. Mimo pozorovacího úhlu lze také hovořit o vzdálenosti dvou korespondujících bodů při sledování stereoskopického obrazu na projekční ploše. Paralaxa definuje hloubku prostorového vjemu. Lze ji demonstrovat na příkladu dvou dvojic stromů v různé vzdálenosti od pozorovatele. V každé dvojici jsou stromy stejně daleko od sebe, jedna dvojice se však nachází blízko pozorovateli, druhá dvojice je potom od pozorovatele vzdálená. Stromy blíže pozorovateli se potom jeví vzájemně vzdálenější než stromy dále od pozorovatele. Přičemž paralaxa, tedy úhel pozorovacích os, je u vzdálenější dvojice stromů menší. Prostorový vjem je potom omezen právě vzdáleností pozorovaných objektů. Při velké

vzdálenosti se paralaxa blíží nule a scéna ztrácí dojem hloubky (např. při pozorování vesmírných těles pouhým okem). V zásadě rozlišujeme čtyři druhy paralaxy – nulovou, pozitivní, negativní a divergentní. Nulovou paralaxu má bod, na který konvergují oči pozorovatele. Nachází se tedy přímo na projekční rovině, horopteru a v tomto místě se protínají optické osy. Pozitivní paralaxu mají body, které se jeví ležící za horoptrem. Optické osy se v takovém případě střetávají až za projekční rovinou, horoptrem. Pokud jde o velmi vzdálené objekty, optické osy jsou v podstatě rovnoběžné. U negativní paralaxy se naopak optické osy střetávají již před projekční rovinou, horoptrem. Takové objekty se potom jeví ležící před horoptrem. Divergentní paralaxa nastává, pokud optické osy divergují. Divergentní paralaxa je druh pozitivní paralaxy. V reálném světě se nevyskytuje, může však nastat při projekci prostorového obrazu a na diváka působí nepříjemně.



Obrázek 2.3 Paralaxa vztahená k projekční ploše. Obrázek první zleva – nulová paralaxa, obrázek druhý zleva – pozitivní paralaxa, obrázek třetí zleva – negativní paralaxa, obrázek zcela vpravo – divergentní paralaxa. Převzato z [15].

Další parametr vychází ze zorných polí a nazývá se **stereoparalaxa**. Jde o skutečnost, že každým okem vnímáme trochu jiný obraz. Tento úhel reprezentuje zdánlivý rozdíl polohy dvou různě vzdálených pozorovaných objektů resp. bližšího objektu vůči objektům v pozadí při sledování scény střídavě vždy jen jedním okem. Prakticky lze demonstrovat paralaxu, pokud střídavě pozorujeme levým a pravým okem ukazováček zdvižený před obličejem a v pozadí vzdáleném několik metrů svítí lampa. Při pozorování levým okem se nám ukazovák jeví vpravo od lampy, zatímco při pozorování pravým okem spíše nalevo od lampy. Dalším parametrem je **pohybová paralaxa**, což je změna úhlu pohledu při pohybu hlavy. Proto můžeme vnímat např. při jízdě dopravním prostředkem bližší předměty jako rychleji se pohybující oproti jiným předmětům na pozadí. Kromě aplikace paralaktických parametrů při binokulárním vnímání dochází také, jak již bylo zmíněno, ke konvergenci zrakových os a fixaci pozorovaného objektu a také zaostřování pozorovaného objektu. [12, 13, 15]

2.1 Vývoj a poruchy binokulárního vidění

Binokulární vidění se u člověka vyvíjí (do 1. roku dítěte) a zdokonaluje (do 6. roku dítěte) již v raném věku, případné poruchy prostorového vnímání je proto nutné včas odhalit. I v pokročilém věku je nutné sledovat tempo ochabování prostorového vnímání, zvláště potom v případě, že je senior stále aktivním řidičem dopravních prostředků či např. obsluhuje těžké stroje. [7, 10]

Zhoršení prostorového vidění a vnímání hloubek často vychází z odchýlení optické osy jednoho oka, popř. obou očí. Snížená ostrost vede ke stáčení postiženého oka (strabismus neboli šilhání), špatnému splývání obrazů obou očí a potlačování vjemu (porucha sledovacích mechanismů resp. koordinace očních pohybů). Pokud nejsou oční pohyby synchronizované,

obraz nedopadá na korespondující body sítnic a obraz je vnímán dvojitě. Takový stav se nazývá tupozrakost neboli amblyopie. Ta je provázána poruchou lokalizace a rozlišovací schopnosti. To následně může vést k potlačování vjemu z postiženého oka ve zrakovém centru v mozku. Patologie se může vyskytovat v mnoha formách od slabého snížení ostrosti až po trvalou slepotu. Fyzicky může stát za touto poruchou koordinace např. změna velikosti, polohy nebo postavení bulbů, špatná transparence čočky či stav zornice. Až 70% novorozenců trpí přechodných strabismem, který však dozráváním okulomotoriky dítěte nejčastěji zmizí. Jen asi u 5 % dětí se definitivně vyvine strabismus. Až 50 % postižených je ve věku od 2 do 4 let, jen 0,5 % představují dospělí pacienti. Šilhání lze v některých případech různými invazivními i neinvazivními metodami napravit. I po nápravě však mohou přetrvávat menší poruchy prostorového vidění a vnímání hloubky. U malých dětí může při zanedbání léčby šilhání dojít k potlačení vjemů z jednoho oka. Tím sice zmizí problém s dvojitým viděním, ale po určitém čase může dojít k trvalé supresi a úplné ztrátě resp. nevyvinutí binokulárního vidění, ale také ztrátě samotného zraku u příslušného oka. Proto je u dětí velmi důležitý včasný záchyt strabismu. Zásadní roli v tomto hrají rodiče a také pediatr. Jelikož následkem šilhání bývá snížení zrakové ostrosti, tupozrakost, projeví se patologické změny již při vyšetření optotypy (3. až 5. rok dítěte). Druhým krokem v řešení problému je návštěva odborného lékaře a důkladná diagnostika. Návštěva oftalmologa nesmí být odkládána právě vzhledem k tomu, že může docházet k potlačování vjemů jednoho oka a následné progresy problému, ústící až v případnou unilaterální slepotu. Léčba by měla být úspěšně dokončena do 6. roku věku dítěte také z toho důvodu, že se v tomto věku uzavírá vývoj binokulárního vidění. Navíc může být strabismus indikátorem mnohem závažnějších problémů, nejen na úrovni zraku, ale na úrovni celého organismu. Pokud se strabismus vyvine v pozdějším věku, či dokonce v dospělosti, binokulární vidění již není ohroženo, ale může být postiženo. U seniorů dochází k oslabení binokulárního vidění na úrovni sítnice. Je dáno úbytkem smyslových buněk na sítnici, které jsou zprostředkovateli binokulárního vidění. Při poruchách binokulárního vidění dochází k poruše vnímání prostoru, prostorových vztahů a plasticity objektů. Bývá zhoršená vizuální motorická koordinace (např. koordinace pohybů rukou), analyticko-syntetizační činnost včetně rozlišovací schopnosti a zrakové představivosti. Omezeno bývá zorné pole, poškozena zraková ostrost a vnímání barev. Dochází k poruchám zrakové motility a konvergence. Pacient není schopen vnímat trojrozměrně, bývá oslabena orientace v prostoru a odhad vzdáleností.

Zdrojem poruch binokulárního vidění může také být větší rozdíl v refrakci mezi oběma očima (větší než 5 %) jejichž následkem dopadají na sítnice odlišně velké obrazy pozorovaného objektu nebo různě lokalizované skotomy, které způsobují výpadky některých částí zorného pole.

Pokud je postiženo dítě již v raném věku a binokulární vidění nemá možnost se rozvinout, schází pacientovi i zkušenost, což je jeden ze tří základních aspektů binokulárního vidění. Všechny tři součásti – zkušenost, monokulární vodítka, binokulární vodítka – jsou tedy poznamenána. [1, 4, 5, 7, 11]

2.2 Metody vyšetřování binokulárního vidění

Vyšetření binokulárního vidění probíhá nejčastěji formou anaglyfových kreseb či obrazů, které pacient prohlíží s tzv. anaglyfovými brýlemi na očích (pojmy týkající se anaglyfů budou podrobně popsány v kapitole 3.1 Anaglyf). Zjišťuje se, zda pacient dokáže vnímat obraz oběma očima, jestli si dokáže vjemy spojit v jeden obraz a zda obrazy správně fúzí v jeden ostrý prostorový obraz. Takto probíhá vyšetření troposkopem. Pacient reaguje na sérii anaglyfových kreseb s anaglyfovými brýlemi na očích a odpovídá, co vidí. Dále rozeznáváme celou řadu testů, pomocí kterých lze odhalit dominance nebo naopak suprese očí, diplopii či divergenci očních os. U vyšetřovaného pacienta se předpokládá neporušené barevné vidění. Worthův test probíhá za použití již zmíněných anaglyfových brýlí a barevných terčů. Bagoliniho test užívá bodového zdroje světla a upravených brýlí. Vyšetření stereoskopem funguje na principu přepážkou rozděleného zorného pole. Pacient pozoruje dva obrazy se stejnými konturami, ale různými detaily, které má pacient popisovat vyšetřujícímu. U tohoto vyšetření se sleduje fixace očí, přítomnost stereopse a dominance resp. suprese některého z očí. Často jsou dnes též užívány stereotesty, založené na Juleszových stereogramech. Pole náhodných bodů, monokulárně vnímaných chaoticky se po aplikaci polarizačního filtru spojí v konkrétní obrazec, za předpokladu neporušeného binokulárního vidění. [5, 7]

Hned první bod zadání ukládá, aby v této práci byly rozebrány možnosti měření parametrů binokulárního vidění. Jak již bylo řečeno, binokulární vidění je složitý proces využívající součinnosti mnoha mechanismů. Některé dílčí mechanismy lze zkoumat odděleně, jako např. akomodaci. Nicméně binokulární vidění, tedy vnímání prostorových sounáležitostí pomocí páru očí, se nejčastěji vyšetřuje jako celek, pomocí výše zmíněných metod. Výstupy těchto vyšetřovacích metod nejsou tak exaktní, jak jsme zvyklí v jiných odvětvích medicíny. Nezískáme přesnou hodnotu koncentrace, jak je běžné např. u krevních rozborů, či obrazový dokument, jako jsme zvyklí z rentgenologie. Výstupem je spíše objektivní škálové hodnocení schopnosti pacienta vnímat okolní svět prostorově. Podobným způsobem budou v této práci také koncipovány dotazníky, které mají odhalit úroveň prostorového vjemu z promítaných scén.

3. Stereoskopie

Stereoskopie je technologie, umožňující prostorový zrakový vjem, vyvolaný dvojrozměrnou předlohou. Její využití nabírá v dnešních dnech stále větších rozměrů. Ať už na poli výzkumu, zábavy či záchrany životů. Nejčastěji se můžeme se stereoskopií setkat v kinosálech. Již většina kinosálů nabízí nějaký druh prostorového vjemu. Postupně se trojrozměrná projekce dostává i do našich domovů prostřednictvím televizní zábavy a počítačových her. Jak již bylo řečeno, 3D projekce se také užívá při studiích složitých struktur v medicíně a biologii, při návrhu složitých technických konstrukcí a designu, v leteckých či automobilových simulátorech nebo např. při plánování a ovládání pohybu záchranných modulů. Důležitou roli hraje stereoskopie také ve sledovacích systémech. [12, 16]

Metody prostorového zobrazování principiálně vycházejí ze zobrazování dvou relativně stejných obrazů resp. časově slícovaných sekvencí. Relativně stejných zde znamená, že jeden obraz či sekvence je specifická pro levé a jedna pro pravé oko. Konkrétní použitá technika určuje, zda se obrazy zobrazují přes sebe nebo např. na přeskáčku atd. Užívané stereoskopické metody jsou:

- Anaglyf
- Polarizační stereoskopie
- Metoda dvojnásobné snímkovací rychlosti
- DLP
- Autostereoskopie
- HMD
- INFITEC

3.1 Anaglyf

Anaglyf je stereoskopická technika pro prostorové vnímání dvojrozměrných obrazů, založená na pozorování předlohy, tzv. anaglyfové kresby (jeden obraz, dvojím způsobem konturovaný) resp. anaglyfových fotografií a filmů (dva stejné mírně posunuté překrývající se obrazy s obrysy vyvedenými dvěma barvami odpovídajícími barevným průzorům brýlí) s využitím anaglyfových brýlí.



Obrázek 3.1 Anaglyfová kresba. Převzato z [21].

Anaglyfové brýle mají jeden průzor nejčastěji s červeným sklem a jeden průzor s modrozeleným sklem. Barevných kombinací průzorů se vyskytuje více, např. žluté a modré průzory nebo zelené a červené průzory. Principem anaglyfu je barevná filtrace obrazu. Každé oko vnímá scénu zbavenou barvy dle příslušné filtru průzoru brýlí. Barvy užité v obraze, resp. v brýlích musí být barvy doplňkové. To znamená, že pokud se přes sebe s mírným posunem (disparitou) zobrazuje červený obraz a zelenomodrý obraz, v místech, kde se barvy setkají, vznikne barva černá, či některý odstín šedi. V místech, kde barvy nelícují (místa posunu obrazu), dochází k vytvoření prostorového efektu. Nejstarší verzí prostorové reprodukce jsou anaglyfové kresby na papíře. Metoda anaglyfů se v kinosálech a u displejů ve větší míře již nepoužívá. Je však velmi jednoduchá a zobrazení anaglyfů lze realizovat na běžných displejích. Nevýhodou je ztráta části barevného spektra, díky použití barevných brýlí, které působí jako filtr. [12, 16]



Obrázek 3.2 Anaglyfové brýle. Převzato z [16].

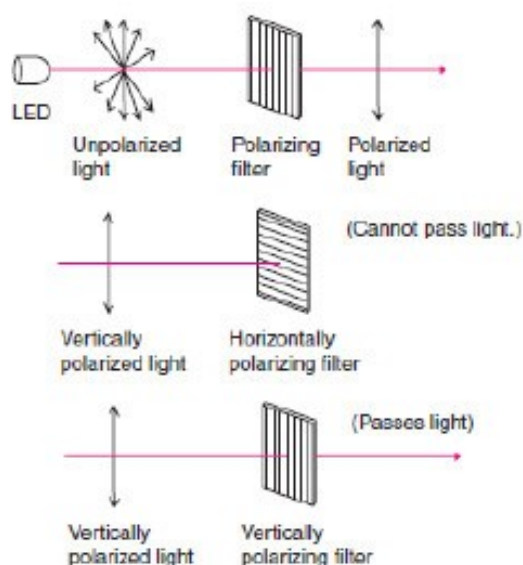
3.2 Polarizační stereoskopie

Metoda polarizační stereoskopie užívá k zobrazení prostorového vjemu polarizačních filtrů neboli polarizátorů. Ty musí být umístěny ve zdroji obrazu (displej, projektory) a také ve speciálních brýlích, které má na očích pozorovatel. Rozlišujeme dva přístupy k zobrazení prostorového vjemu metodou polarizace – zobrazení na 3D displeji a zobrazení pomocí dvou projektorů na speciální plátno. [12, 16]

3.2.1 Zobrazení pomocí dvou projektorů

Každý projektor obsahuje vlastní polarizátor. Rozdíl fází těchto filtrů je 90° . Stejně jsou vybaveny i brýle. Průzor pro každé oko obsahuje polarizační filtr. Fáze těchto filtrů jsou vzájemně též kolmé. Projektory zobrazují na plátno dva různě polarizované překrývající se obrazy, jeden polarizovaný pro levé oko, druhý pro pravé oko. Tak se každému oku dostává trochu jiného obrazu a vzniká dojem hloubky (stereopse). Polarizace může být lineární nebo cirkulární. Cirkulární polarizace má výhodu v tom, že pozorovatel nemusí mít hlavu v přímém směru k plátnu, jako je tomu u lineární polarizace (obraz by se při pohybu hlavy rozmazal). Proto je cirkulární polarizace častěji užívána. Elektrické pole světelného paprsku se potom polarizuje cirkulárně levotočivě a pravotočivě. Levotočivá polarizace vzniká v projektoru s levotočivým polarizátorem a vstupuje do oka skrz průzor s levotočivým polarizačním filtrem. Stejně tak pro pravotočivou polarizaci. Užívají se projektory s vyšším svítivým výkonem, kvůli útlumu intenzity světla na polarizačních filtrech. Plátno, na které se promítá

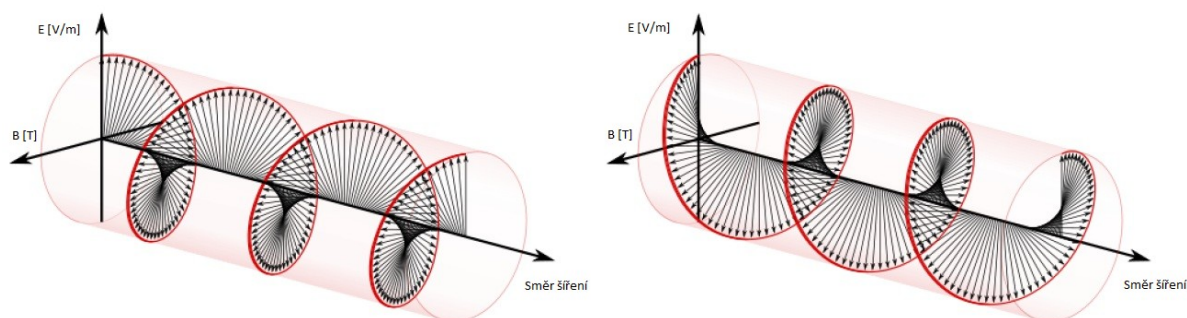
překrývaný obraz z obou projektorů, je polostříbrné zrcadlo. Tím je zajištěno zachování polarizace. Vzhledem k tomu, že polarizační filtry pohltí část intenzity světla projektorů, je polostříbrné plátno vhodné i díky svým dobrým odrazovým vlastnostem. [16]



Obrázek 3.3 Princip polarizačních filtrů. Převzato z [17].

3.2.2 Zobrazení na 3D displeji

U 3D displejů, které pracují s metodou polarizace, jsou polarizátory vázány na jednotlivé řady pixelů na displeji. To znamená, že každá lichá řada pixelů je polarizována např. cirkulárně levotočivě a každá sudá řada pixelů je polarizována cirkulárně pravotočivě. Brýle fungují stejně jako v případě projektorů – jedno oko vnímá levotočivě polarizovaný obraz, druhé oko vnímá pravotočivě polarizovaný obraz. Nevýhodou této metody je omezení efektivního rozlišení. Díky rozdělení řádků pixelů dle polarizace získáváme jen poloviční rozlišení obrazu. [16, 17]



Obrázek 3.4 Cirkulární polarizace elektrického pole světelného paprsku. Levotočivá polarizace (křivka vlevo). Pravotočivá polarizace (křivka vpravo). Převzato z [16]

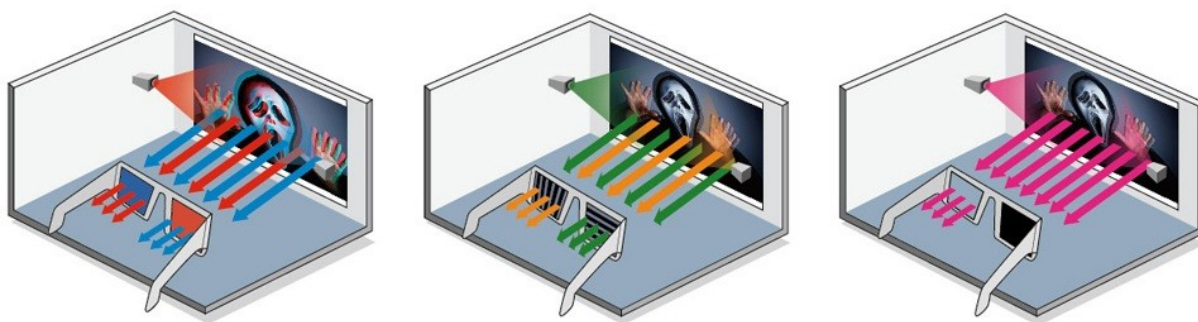
Polarizační 3D zobrazení je poměrně levná technologie prostorové projekce, proto se s ní také nejčastěji setkává v kinosálech. Polarizace resp. polarizační filtrace však není 100% úspěšný proces. Proto může docházet ke křížení signálů pro levé a pravé oko,

tzv. „cross-talk“. Následkem toho se může obraz jevit rozmazaný, nejasný a rozostřený. Kvalita obrazu též klesá při posunu pozorovatele laterálně od osy středu displeje či plátna. [16, 17]

3.3 Metoda dvojnásobné snímkovací rychlosti

Metoda dvojnásobné snímkovací rychlosti využívá zatmívací brýle, v angličtině „shutter glasses“, a displeje (popř. projektory), které lze v literatuře nalézt pod názvem „frame sequential displays“ nebo „alternace frame displays“. Podstatou metody je spojení zmíněných zatmívacích brýlí a vysokofrekvenčního displeje popř. projektoru. Jedná se o momentálně nejsofistikovanější běžně užívanou metodu. Na plátně či displeji se objevují střídavě obrazy pro levé a pravé oko s frekvencí 60 obrazů pro každé oko za vteřinu ($f = 120$ Hz). Synchronně s obrazy se zatmívá střídavě levé a pravé oko. Pokud tedy každý lichý obraz náleží levému oku, bude pravé oko při každém lichém obrazu zatemněné a naopak. Synchronizaci displeje resp. projektoru a brýlí lze zajišťovat pomocí kabeláže, ale také bezdrátově, nicméně v obou případech musí být brýle napájeny. Výhoda systému tkví v plném rozlišení pro každý obraz a lze tak dosáhnout lepšího 3D obrazu než u ostatních systémů. Obecně mívají projektory a displeje používající tuto metodu lepší i 2D obraz. Nejsou také potřeba polarizační filtry. Další výhodou je, že u této metody lze vyloučit zmíněný cross-talk, vzhledem k tomu, že průhledná je vždy jen jedna čočka v časový moment. Nevýhodou je již zmíněná potřeba displejů s vysokou obnovovací frekvencí. Displeje s obnovovací frekvencí menší než 120 Hz budou 3D obraz zobrazovat blikající. Shutter glasses, aktivní brýle používané s frame sequential resp. alternace frame displeji a projektory mívají nejčastěji čočky z tekutých krystalů. Obsahují též synchronizační jednotku. Výhodou zatmívacích brýlí je, že kvalita obrazu se nezhoršuje při natočení hlavy nebo při změně pozice pozorovatele laterálně od osy středu obrazovky či plátna, jako je tomu u polarizačního systému. [16, 17]

Metodu dvojnásobné snímkovací rychlosti lze kombinovat s polarizační stereoskopií. Používá se jeden vysokorychlostní projektor s přepínatelným polarizátorem (neužívá se pro displeje) a polarizační brýle. Polarizátor je během promítání sekvenčně přepínán z polohy „pro pravé oko“ do polohy „pro levé oko“ a zpět. Tak je při snímkovací frekvenci 120 Hz opět vysláno za vteřinu 60 obrazů pro levé oko a 60 obrazů pro pravé oko. [18]

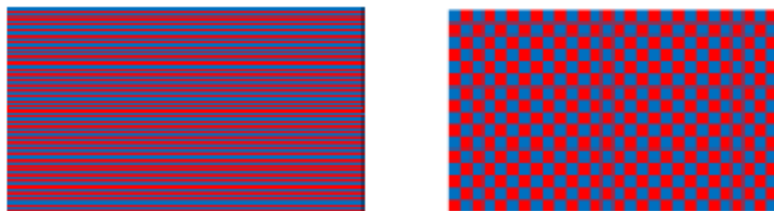


Obrázek 3.5 Typy 3D zobrazení. Obrázek vlevo – anaglyf. Obrázek uprostřed – polarizační stereoskopie. Obrázek vpravo – metoda dvojnásobné snímkovací rychlosti. Převzato z [17].

3.4 DLP

DLP neboli Digital Light Processing je licencovaný název společnosti Texas Instruments pro technologii prostorového promítání pomocí displejů či projektorů. V podstatě jde o variaci promítání metodou dvojnásobné snímkovací rychlosti s jistými prvky

užívanými u polarizační stereoskopie. Signál pro projektor či displej je ve formě tzv. „checkerboardu“. Jde o podvzorkovaný obrazový signál s šachovnicovým vzorem. Vstupní signál, překryté checkerboardy pro levé a pravé oko, jsou promítány s frekvencí alespoň 120 Hz. Divák musí být vybaven zatmívacími brýlemi. V každém obraze je obsažen obraz pro pravé i levé oko, nicméně až zatmívání očí vytváří prostorový vjem. Pochopitelnou nevýhodou je jen poloviční rozlišení obrazu, vzhledem k podvzorkování signálu. [16]



Obrázek 3.6 Srovnání vzorkování signálu při použití polarizační stereoskopie (schéma vlevo) a DLP (schéma vpravo). Převzato z [16].

3.5 Autostereoskopické systémy

Základní myšlenkou autostereoskopických systémů je, že pozorovatel nepotřebuje žádné zařízení, které by diferencovalo obraz zvlášť pro levé a zvlášť pro pravé oko. Autostereoskopická zobrazovací zařízení promítají 3D obraz pro obě oči přímo do prostoru pozorovatele, který je schopen při správné náhledové pozici sledovat takový obraz prostorově. Dělení autostereoskopických systémů se určuje dle technologie a také dle počtu poskytovaných náhledů.

Technologické dělení:

- Prostorový multiplex
- Multiprojektor
- Časové sekvenování

U technologie prostorového multiplexu je rozlišení displeje členěno do několika náhledů. Naopak u multiprojektorů každá projekce odpovídá jednomu náhledu. Technologie časového sekvenování využívá displeje s vysokou snímkovací frekvencí pro zobrazení všech náhledů. Už z principu vyplývá, že metoda multiprojektorů je finančně nejnákladnější zatímco metoda časového sekvenování je technologicky nejnáročnější. Proto je, z technického hlediska použitelnosti, v dnešních dnech číslem jedna technologie prostorového multiplexu.

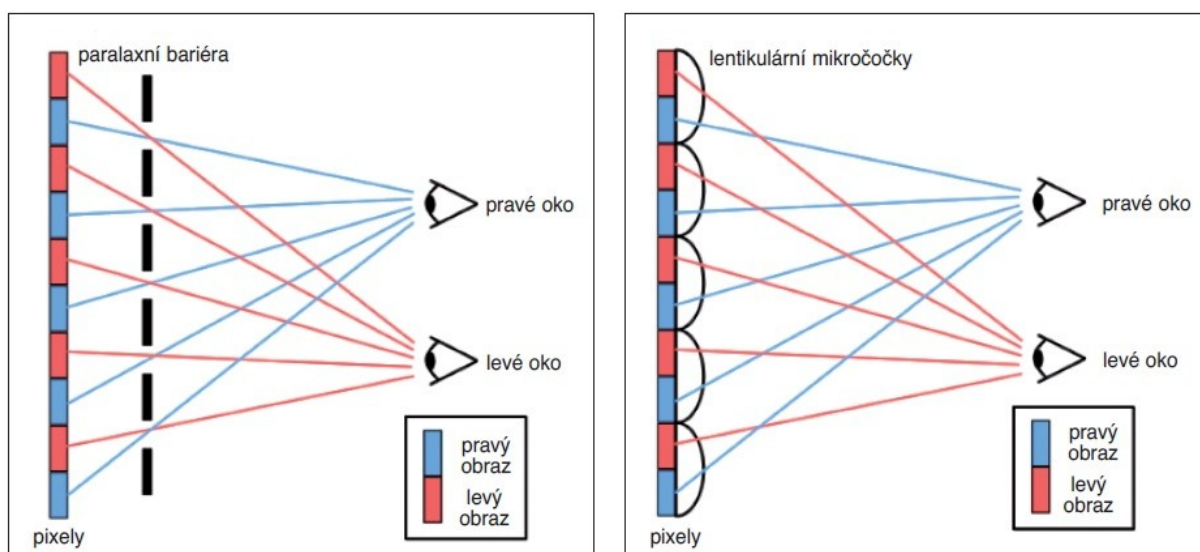
Dělení náhledové:

- Dvounáhledové systémy
 - Se sledováním hlavy
 - Bez sledování hlavy
- Vícenáhledové systémy

Dvounáhledové systémy jsou určeny pro jednoho pozorovatele, zatímco vícenáhledové systémy jsou užívány pro více pozorovatelů. Dvounáhledové systémy umožňují sledování polohy hlavy pozorovatele. Tím nedochází ke ztrátě prostorového vjemu při horizontálním či vertikálním pohybu hlavy pozorovatele. Díky tomu mohou tyto systémy poskytnout mimo stereoparalaxy také pohybovou paralaxu. [12]

3.6.1 Technologie prostorového multiplexu

Tato technologie pracuje s displejem a sekundárním optickým systémem. Tímto optickým systémem může být buď soustava lentikulárních čoček, nebo tzv. parallaxní bariéra. Sekundární optický systém se nachází před samotným displejem a směřuje obrazy do příslušných pozorovacích oken. Tyto obrazy mají nižší rozlišení nežli původní obraz. To je následkem tzv. horizontálního rozdělení obrazu, kdy jsou např. liché sloupce pixelů vysílány do levého oka a sudé sloupce pixelů do oka pravého. Od displejů se vyžadují co nejpřesnější rozteče pixelů, jejich poziční stabilita a jednotná tloušťka krycího skla. Mezi nevýhody patří omezení rozlišením displejů, které umožňuje jen omezený počet náhledů. Další nevýhodou je útlum výstupního světla při použití parallaxní bariéry nebo nežádoucí zvětšení struktur mimo pixely při použití lentikulárních čoček, což vytváří temné zóny v obraze.



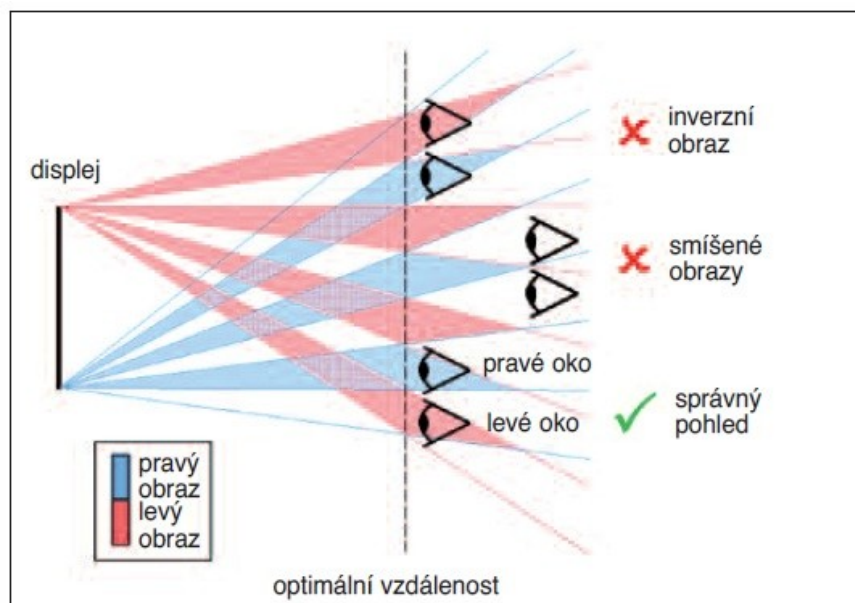
Obrázek 3.7 Sekundární optický systém. Parallaxní bariéra (schéma vlevo). Lentikulární čočky (schéma vpravo). Převzato z [12].

Rozdíl mezi užitím lentikulárních čoček nebo parallaxní bariéry spočívá mimo jiné v tom, že systém lentikulárních čoček je určen striktně pro 3D displeje, zatímco systém parallaxní bariéry může přecházet z 3D módu do 2D módu. To je dáno technologií výroby parallaxní bariéry. Ta je tvořena tekutými krystaly, které se mohou regulací procházejícího proudu během okamžiku zprůhlednit. [12]

3.6.2 Dvounáhledové systémy

Dvounáhledové systémy se nejčastěji realizují technologií prostorového multiplexu, využívá se u nich tedy lentikulárních čoček nebo parallaxní bariéry. Obraz displeje je horizontálně rozdělen. Obraz pro jedno oko se skládá z lichých sloupců pixelů a pro druhé oko ze sudých sloupců pixelů displeje. Takto oddělené obrazy směřují do příslušných náhledů resp. do příslušného oka pozorovatele. To logicky vyžaduje správné umístění diváka v prostoru. U systémů bez sledování hlavy může docházet k nesprávnému výběru pozice jak je vidět na obrázku 3.8. Následkem toho dochází k devalvaci obrazu. Pozorovatel může vidět obraz smíšený (rozostřený, nejasný a dezorientující) nebo obraz inverzní. U systémů se sledováním hlavy se o směřování horizontálně rozdělených obrazů stará dnes již poměrně sofistikované zařízení a nedochází tak k devalvaci obrazu. Zmenšení pravděpodobnosti, že si divák vybere špatnou pozorovací pozici, lze dosáhnout také zvýšením počtu náhledů. Tato

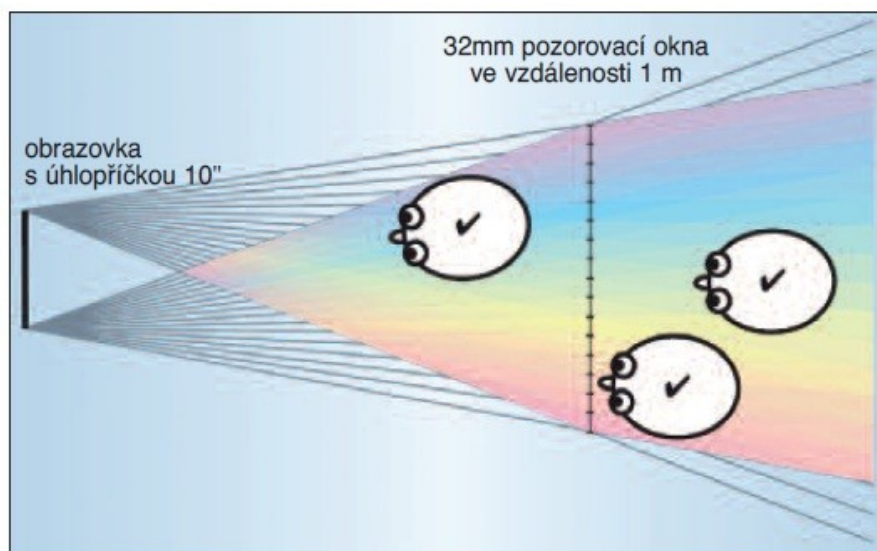
úprava je však omezena technickými možnostmi displeje. Od systému sledování hlavy se vyžaduje rychlá odezva na změnu polohy. Bohužel systém sledování hlavy je dostupný jen pro jednoho pozorovatele. [12]



Obrázek 3.8 Pozice diváka před autostereoskopickým displejem. Převzato z [12].

3.6.3 Vícenáhledové systémy

Princip vícenáhledových systémů stojí na promítání všech dostupných náhledů do vymezeného koridoru pomocí soustavy čoček (viz. Obrázek 3.9). Potom všichni pozorovatelé nacházející se v tomto koridoru mohou sledovat prostorový obraz. Vyšší počet diváků je největší výhodou vícenáhledových systémů. Naopak nevýhodou je pochopitelná vyšší náročnost sestavení odpovídajících displejů. Počet náhledů je obvykle v rámci druhé dekády, ale testovány bylo již i několik desítek náhledů. [12]



Obrázek 3.9 Pozorovací koridor displeje s vícenáhledovým systémem. Převzato z [12].

Obecně lze říci, že autostereoskopické systémy nacházejí své využití především v situacích, kdy chceme prostorový obraz prezentovat více divákům bez nutnosti použití některého druhu stereoskopických brýlí. Nicméně autostereoskopické systémy jsou značně pozadu s poskytovaným rozlišením obrazu. [19]

3.6 HMD

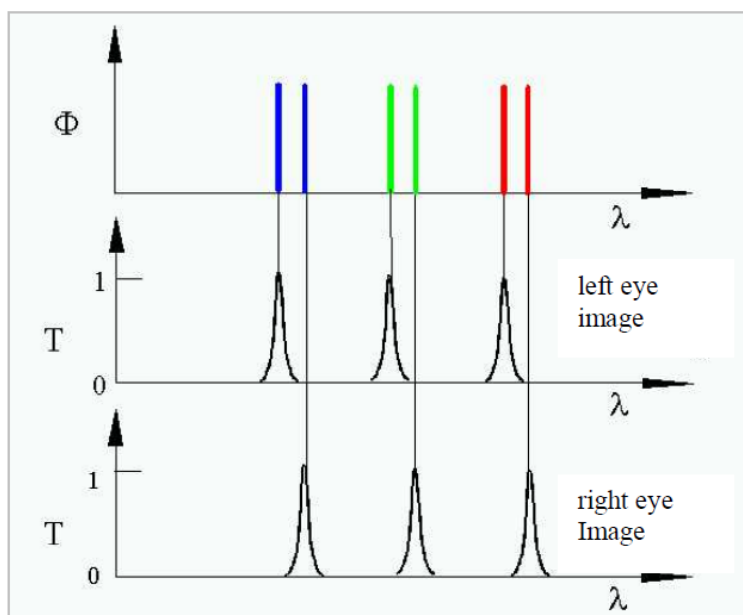
HMD neboli Head Mounted Display (volně přeloženo jako „displej na hlavě“) je často označován za autostereoskopickou metodu zobrazení, nicméně její princip není zcela v souladu s podmínkou, zmíněnou v předešlé podkapitole, že autostereoskopie nepoužívá vybavení jako např. zvláštní brýle pro pravo-levé oddělení obrazu. Brýle používané metodou HMD jsou totiž samy o sobě zdrojem obrazu. Každý průzor těchto brýlí je vybaven mini displejem vyrobeným nejčastěji z tekutých krystalů. Tyto displeje promítají pro každé oko náležitý obraz. Před každým displejem je dále umístěn optický systém, který umožňuje oku na promítaný obraz zaostřit. Výhodou je nulový cross-talk, nicméně dnešní technologie neumožňují zobrazovat pomocí HMD obrazy v HD. [16, 18]



Obrázek 3.10 Brýle HMD. Převzato z [20].

3.7 INFITEC

INFITEC neboli Intereference Filter Technology je stereoskopická metoda, která využívá předností již dříve zmíněných metod a spojuje je dohromady. Základem je tzv. vlnový multiplex. Tedy světlo s mírně posunutými vlnovými délkami složek RGB pro levé i pravé oko. V případě displejů není obrazový bod reprezentován trojicí pixelů, ale šesticí. Jedna trojice emituje světlo s vlnovými délkami kompatibilními s levým okem, druhá trojice emituje světlo s vlnovými délkami kompatibilními s pravým okem. Pro takové displeje je však těžké najít vhodný zdroj světla, proto se vývoj metody INFITEC soustředí především na zobrazení pomocí projektorů. Používá se dvojice projektorů s interferenčními filtry, které zajistí posun vlnové délky světla (podobnost s polarizační stereoskopií). Divák má při pozorování obrazu na očích brýle, které v průzoru pro každé oko obsahují opět interferenční filtry, odpovídající filtrům v projektorech (podobnost s anaglyfem). Filtry musí být úzkopásmové, neboť rozdíl ve vlnových délkách bývá nepatrný, aby nedošlo k narušení barevného vjemu. Výhodou metody je, že při použití projektorů není potřeba žádné zvláštní promítací plátno. Díky tomu je možné použít tuto metodu na jakoukoliv běžnou promítací plochu a střídat tak např. promítání 3D i 2D obrazu. Další výhodou je, že INFITEC poskytuje obraz v HD. [19]



Obrázek 3.11 Graf dvojice tripletů vlnových délek používaných metodou INFITEC. Převzato z [19].

Metodu INFITEC lze kombinovat s metodou dvojnásobné snímkové rychlosti. Používá se jeden vysokorychlostní projektor s dvěma interferenčními filtry, mezi kterými je přepínáno. Brýle zůstávají stejné jako v původním INFITEC návrhu. [18]

3.8 Srovnání stereoskopických metod

Metoda anaglyfu je samozřejmě tou nejjednodušší a nejjednodušeji realizovatelnou stereoskopickou zobrazovací metodou. Není třeba žádného zvláštního vybavení, postačuje běžný monitor resp. projektor a anaglyfové brýle, které nejsou nijak drahé. Anaglyfovou projekci lze realizovat v plném rozlišení a pro početné publikum. Nespornou nevýhodou je ovšem ztráta části barevného spektra, což je nevýhoda přítomná pouze a právě jen u anaglyfu. Další nevýhodou je, že sledování anaglyfů, může být pro některé diváky nepříjemné nebo může dokonce způsobovat bolest očí a hlavy.

Náklady na polarizační stereoskopickou projekci jsou o něco vyšší než u anaglyfu, přesto se stále jedná o relativně levnou zobrazovací metodu. Je sice vyžadován polarizátor vybavený projektor a zvláštní plátno resp. pro tento účel zkonstruovaný monitor, přesto se jedná o relativně levnou metodu prostorového zobrazení, kterou lze využít pro početné publikum. Nevýhodou je v případě monitoru nižší použitelné rozlišení. Navíc polarizační filtrace není dokonalý jev, proto může mít tato metoda vyšší míru „cross-talku“. Dle užití metody lze také zaznamenat deformaci obrazu, pokud divák nesleduje projekci v přímém směru s narovnanou hlavou.

Metoda dvojnásobné snímkové rychlosti patří k finančně nákladnějším. Je nutné zajistit každému pozorovateli speciální napájené brýle. Tyto brýle musí být synchronizovány s projektorem resp. s monitorem. Pokud je synchronizace realizována bezdrátově, je tato metoda přístupná pro početné publikum. V případě kabelového spojení je již realizace náročnější a dražší. Také je vyžadován vysokorychlostní monitor resp. projektor. Výhodou je však plné rozlišení, nulový „cross-talk“ a také odpadá nutnost sledování projekce v přímém směru.

Metoda DLP je v porovnávání parametrech totožná s metodou dvojnásobné snímkovací rychlosti, s tím rozdílem, že nenabízí plné rozlišení obrazu.

Autostereoskopické zobrazovací systémy patří k nejdražším. Tato metoda také není určena pro projektory. Počet diváků je velmi rozdílný. Na trhu presentované displeje poskytují obvykle jeden až 16 náhledů. Experimentálně jsou však testovány displeje s několika desítkami náhledů. Nespornou výhodou je, že divák nepotřebuje, kromě monitoru, žádné další zvláštní zařízení. Některé autostereoskopické displeje umožňují sledování divákovi hlavy, díky čemuž divák nemusí setrvávat v přímé pozici vůči monitoru bez pohybů hlavy. Vícenáhledové systémy dokonce poskytují poměrně velký tzv. náhledový koridor, ve kterém lze pozorovat obraz. Nedostatkem je zatím poskytované rozlišení. Technologicky jsou tyto displeje nejkomplikovanější.

Systém HMD rozhodně poskytuje divákovi nejlepší propojení se scénou, což je vhodné např. při sledování filmů nebo při hraní počítačových her. Další výhodou je nulový „cross-talk“. Na druhou stranu však není systém HMD určen pro větší počet diváků, nedokáže poskytnout HD rozlišení a jde o poměrně nákladnou variantu stereoskopického zobrazení.

Metoda INFITEC dokáže poskytnout rozlišení HD a je ji možno použít pro vyšší počet diváků, finanční náročnost je mírně vyšší. Tato metoda je používána výhradně pro zobrazování pomocí projektorů.

3.9 Výběr projekční plochy a obtíže spojené s projekcí

Pro správný vjem pozorovaného stereoskopického obrazu je dobré věnovat nějaký čas správnému výběru zobrazovacího média. Obvykle je nutné vyvinout větší snahu při sledování menších displejů na kratší vzdálenosti nežli při sledování velkých projekčních ploch z větší dálky. Dalším objektem našeho zájmu při volbě promítacího média a promítacích prostor je okolí resp. hrany projekční plochy. V takovém případě mluvíme o projekčním okně. Ke konfliktu nejčastěji nedochází u objektů s kladnou paralaxou, které jsou ořezány okrajem projekční plochy, jelikož objekty s kladnou paralaxou se jeví být „uvnitř“ projekční plochy resp. za projekční plochou. Objekty s negativní paralaxou jsou však vnímány před projekční plochou, tedy v prostoru pozorovatele. V takovém případě není ořezávací rám zřejmý, a jelikož jde o jev v reálně světě se nevyskytující, mozek pozorovatele může mít problém tuto obrazovou informaci interpretovat. Tento problém je výraznější u vertikálního rámu než u rámu horizontálního. Je to tzv. efektem paradoxního stereoskopického okna. Ten je založen na faktu, že pokud hledíme skrze skutečné okno ve skutečném světě, pravé oko vidí z obrazu, který je ořezáván levým vertikálním rámem, větší porci než levé oko a naopak. Pokud však pravé oko hledí na obraz s negativní paralaxou ořezávaný levým vertikálním rámem projekčního okna, vidí paradoxně menší porci obrazu než oko levé a naopak. [15]

Nejčastějším problémem v zobrazení prostorové informace je již dříve zmíněný crosstalk, tedy situace, kdy jedno oko vidí obrazovou informaci, která je určena pro druhé oko. Povaha i úroveň crosstalku vychází z použité promítací techniky (více v kapitole 3. Stereoskopie). Jako *ghosting*, nebo také *prosakování*, je označován přetrvávající crosstalk. Úroveň ghostingu narůstá s rostoucí paralaxou. Největší ghosting lze sledovat u vysoce kontrastních obrazů. V případě promítání prostorového obrazu na monitoru jsou ke ghostingu náchylnější obrazy s větší účastí zelené barvy. [15]

4. Snímání prostorového obrazu

Zatímco předchozí kapitola se zabývala metodami zobrazení prostorového obrazu pomocí displejů a projektorů, tato kapitola se zabývá snímáním resp. zaznamenáváním prostorové scény. Záznam prostorové scény probíhá za použití alespoň dvou záznamových kamer popř. dvou záznamových čoček, vzájemně umístěných ve správných pozicích, snímající totožnou scénu z dvou nepříliš vzdálených základů v prostoru, čímž simulují ten nejdokonalejší systém snímání prostorové informace, lidské oči. Co se týče kamer, je vyžadováno přesné nastavení celé skupiny parametrů kamer i polohy samotných kamer. Z toho nám vyplývá, že základním předpokladem pro správné sejmutí prostorové scény, jak statické tak o to více dynamické, je precizní synchronizace obou kamer. V případě čoček jde o záznam dvojí informace do jediné stopy.

Prostorovou informaci lze získat i alternativním způsobem. Prostorovou informaci můžeme získat i z dvojrozměrného obrazu použitím disparitních map. Nejde však o obrazovou, ale spíše škálovou informaci. Specifickým případem snímání a zobrazování 3D informace je např. CT vyšetření. Při CT vyšetření je snímána statická scéna (pacient) pomocí pohybující se „kamery“ a získaná data jsou díky následnému zpracování převedena na trojrozměrný obraz tkání vyšetřovaného. Jde tedy spíše o pseudostereoskopickou snímací metodu.

4.1 Technická realizace snímání

Nejjednodušším způsobem záznamu prostorového obrazu je snímání pomocí dvou paralelních kamer (jejich optické osy jsou paralelní), tzv. „side-by-side“ postavení, umístěných na posuvné kolejnici, díky které lze variovat stereobázi. Kamery jsou následně spolu s kolejnicí umístěny na stativu. To nám zaručí rigidní pozici obou kamer. Ovládání bývá realizováno zpravidla pomocí společného ovladače popř. softwarově z osobního počítače. Konstrukce takového snímacího zařízení je sama o sobě omezením použitelnosti. Stereobáze kamer je totiž omezena jejich šířkou resp. výklopným displejem apod., proto lze tento systém užít jen pro orthostereobázi a hyperstereobázi, nikoliv pro hypostereobázi.



Obrázek 4.1 Postavení kamer „side-by-side“. Převzato z [22].

Pro menší až nejmenší používané hodnoty stereobáze se užívají kamery s děličem paprsku. Tyto paprsky používají zvláštní skla, která jednomu paprsku dovolí projít a druhý odrazí. Tak jedna kamera snímá procházející paprsky a druhá paprsky odražené. Kamery jsou ve vzájemně kolmém postavení. Takto je možné dosáhnout interaxiální separace 0 mm. Na bázi děliče paprsků pracují též stereoskopické mikroskopy.



Obrázek 4.2 Kamera s dělícím paprsku. Převzato z [22].

Na trhu se také nacházejí speciální stereoskopické čočky, se kterými lze snímat prostorový obraz i za použití jednoduché kamery bez dělící paprsku. Tyto stereoskopické čočky potom do jediného snímku zaznamenají levé i pravé zorné pole. Z takového obrazu lze následným zpracováním vytvořit obraz trojrozměrný. Logicky však dochází ke snížení rozlišení takových snímků. Další nevýhodou tohoto systému je nízká rychlost snímání.



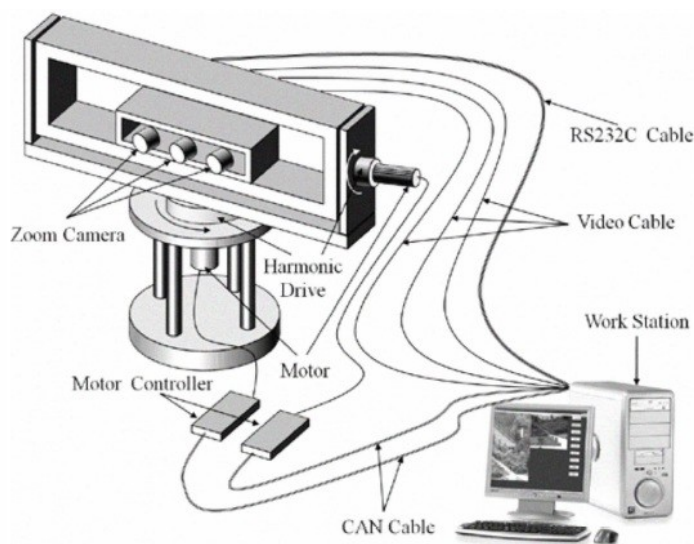
Obrázek 4.3 Dva příklady stereoskopických čoček. Převzato z [22].

Na pomyslném vrcholu technického pokroku stojí tzv. stereoskopické kamery. To jsou zařízení určená přímo ke snímání stereoskopického obrazu. Kamery mohou zaznamenávat, stejně jako stereoskopické čočky, do jednoho obrazu obě zorná pole, nebo poskytují záznam dvou oddělených obrazových toků. V prvním i druhém případě získáme prostorový obraz následným softwarovým zpracováním dat. [22]



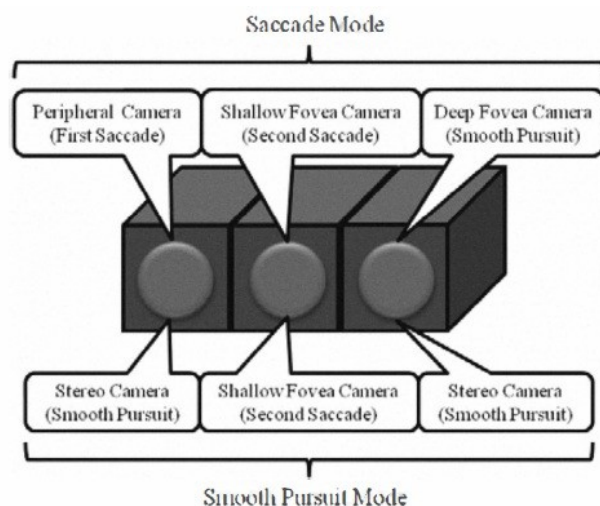
Obrázek 4.4 Dva příklady stereoskopických kamer. Převzato z [22].

Na pokročilé úrovni snímání se nachází aktivní sledovací zařízení Wide Area Tracking System, která prezentují Yan Gao a XiaoLin Zhang z Tokijského technického institutu v Japonsku ve své práci *Active zoom cameras control system using stereo parallax* [23]. Toto zařízení je primárně určeno k užití ve sledovacích a bezpečnostních systémech. Využívá třech kamer v paralelním postavení optických os. Kamery však nejsou synchronizovány ve smyslu předchozí podkapitoly. Snímání okolí a jednotlivých objektů totiž probíhá v několika fázích. Kamery snímají obraz ve dvou módech, které odpovídají lidským očním pohybům: sakády, hladké sledovací pohyby. Systém simuluje „orlí zrak“ (název souhrnnému systému módů a režimů pochází z anglického překladu *Eagle vision*). Orli mají v sítnici dva regiony, specifické pro určitý druh vidění. Tyto regiony předurčují režimy snímání jednotlivých kamer. Hluboké struktury fovey jsou odpovědné za vyšší rozlišení, proto orel využívá hlubokých struktur fovey k zachycení vzdálených cílů. Z tohoto vyplývá hluboké foveální vidění. Naopak mělké struktury fovey používá ke sledování předmětů blízkých. Z tohoto vychází mělké foveální vidění. Sakádový mód, který slouží pro zachycení pohybujících se objektů, pracuje monokulárně. Pomalé sledovací pohyby, které fixují pozorovaný objekt, naopak pracují binokulárně. Monokulární obraz poskytne ostrý obraz, potřebný k detekci cílů na různé vzdálenosti. Binokulární obraz pomáhá orientaci v prostoru.



Obrázek 4.5 Architektura Wide Area Tracking System. Převzato z [23].

V běžném pozorovacím režimu jsou kamery v sakádovém módu, každá s jinou ohniskovou vzdáleností, čímž se dosáhne širokého periferního vidění, hlubokého foveálního vidění i mělkého foveálního vidění. V tomto módu má každá kamera jinou úlohu. První kamera, která se stará o široký periferní obraz, simuluje první sakádu. Tedy první registrační pohyb. Druhá kamera, která je v režimu hlubokého foveálního vidění, simuluje druhou sakádu. Třetí kamera, která je v režimu mělkého foveálního vidění, simuluje hladké sledovací pohyby. Pokud je v sakádovém módu zaznamenán pozorovaný objekt, kamery přecházejí do módu hladkých sledovacích pohybů. V tomto módu jsou dvě kamery v režimu hlubokého foveálního vidění, které bývají také označovány jako stereo kamery. Tyto kamery zajišťují záznam prostorového obrazu s dostatečným rozlišením. Třetí kamera pracuje v režimu mělkého foveálního vidění a simuluje druhou sakádu, což poskytuje relativně široké zorné pole.



Obrázek 4.6 Módy a režimy kamer v systému Eagle vision. Převzato z [23].

Nesporné výhody systému Eagle vision v aplikaci na Wide Area Tracking System tkví právě v kombinaci několika režimů a módů. Systém poskytuje vysoké rozlišení, což pomáhá sledovat objekty ve velké dálce, široké zorné pole, což pomáhá sledovat velké objekty v přímé blízkosti a poskytuje prostorový obraz, který napomáhá orientaci v pozorované scéně. Všechny tyto vlastnosti jsou navíc uplatňovány kontinuálně díky sofistikovanému algoritmu „zoomování“. [23]

4.2 Parametry nastavení kamer

Pro popsání potřebných parametrů budeme uvažovat snímání scény pomocí dvou kamer v postavení „side-by-side“, tedy vedle sebe, stejně jako lidské oči. Osy středů čoček jsou nejčastěji paralelní. Takový přístup byl nakonec zvolen pro snímání scén v této práci. Oční osy mohou konvergovat, nicméně mírně konvergentní postavení os kamer může způsobovat deformace obrazu a diskomfort u pozorovatelů. Důležité je, mít osy kamer ve stejné vertikální rovině. Jen tak se vyhneme vertikální paralaxe resp. disparitě, která by mohla způsobit (stejně jako např. paralaxa či disparita rotační nebo přibližovací) zkreslení obrazu či dokonce až nepříjemné vjemy u diváka. Vyžadována je naopak paralaxa resp. disparita horizontální, která je podstatou prostorového vjemu. Vzdálenost středových os lidských očí bývá typicky u dospělých mužů 65 mm. Tato vzdálenost se nazývá **interokulární separace**. Tato rozteč je velmi důležitá pro nastavení vzdáleností kamer při snímání prostorového obrazu. Rozteč středů čoček kamer se nazývá **interaxiální separace**. Jiný název pro tento parametr je **stereobáze**. Interaxiální separaci nebo také stereobázi volíme dle povahy zaznamenávané scény. Jako orthostereobáze se označuje vzdálenosti kamer, která je stejná jako vzdálenost očí průměrného dospělého muže, tedy 65 mm. Pokud je rozteč kamer menší než 65 mm, jedná se o hypostereobázi. Ta se užívá při snímání makro záběrů (záběry malých objektů), ale také při snímání 3D filmů, promítaných v kinech. Pokud je rozteč kamer naopak větší než 65 mm, jedná se o hyperstereobázi. Čím větší je rozteč kamer, neboli stereobáze, tím hlubší je prostorový vjem. Je to vidět především u větších objektů. Lze to také pozorovat na faktu, že se oddaluje hranice, za kterou jsou již objekty vnímány výhradně monokulárně. Hyperstereobáze může však někdy vyvolat jev zvaný *nanismus*. Potom se ve skutečném světě velké objekty jeví jako malé, protože interaxiální separace je větší než interokulární separace, tím pádem můžeme např. obhlédnout velké objekty z levé i pravé strany, což by se nám při aplikaci interokulární separace nepovedlo. Mozek tuto informaci

vyhodnotí však s ohledem právě na interokulární separace a interpretuje objekty menší, než ve skutečnosti jsou. Stejný jev avšak s opačným efektem, *gigantismus*, lze pozorovat při použití hypostereobáze.

Volba velikosti stereobáze se často činí na základě pravidla „1 ku 30“. Toto pravidlo říká, že stereobáze by měla být jednou třicetinou vzdálenosti mezi stativem kamer a nejbližším objektem v obraze. Literatura však uvádí, že pravidlo „1 ku 30“ neplatí ve všech případech. Toto pravidlo lze aplikovat v případech, kdy je nasnímaná scéna promítána na displejích s úhlopříčkou menší než 65 palců. Stejně tak je dobré toto pravidlo aplikovat, pokud je scéna snímána ve venkovním prostředí s pozadím v „nekonečnu“. U filmů, které můžeme dnes vidět na plátnech v kinosálech, se volí poměr stereobáze a vzdálenosti nejbližšího objektu jako 1/60, 1/100 ale i více. [15, 22]

Když je nastavena stereobáze a kamery jsou řádně umístěny, je nutno nastavit dílčí vlastnosti obou kamer. Samotné kamery (vč. použitých čoček) i jejich nastavení musí být samozřejmě shodné. Je třeba synchronizovat spouštění záznamu, rychlost závěrky, aperturu, citlivost a korekci expozice, snímkovací frekvenci, rozlišení, přiblížení i záznamový formát. Synchronizuje se také ohnisková vzdálenost. Pro záznam prostorové scény je nutno vypnout stabilizaci obrazu kamery. Tuto funkci nelze mezi kamerami synchronizovat a docházelo by k pohybu optických os. Vyvažování bílé je nutno nastavit manuálně dle snímání scény. Opět by mohlo dojít k nesynchronnímu přenastavování v automatickém režimu. Stejně tak je nutno ostřit ručně. Zisk expozice se nastavuje na univerzální hodnotu 0 dB. Tím lze dosáhnout nejkvalitnějšího záznamu struktur v obraze. Dále čím lepší hloubku obrazu kamera poskytne, tím je také vhodnější pro stereoskopické snímání. To úzce souvisí s clonovým číslem, které požadujeme co největší. Pro stereoskopické snímání se potom nejlépe hodí kamery s menší ohniskovou vzdáleností, což poskytuje širší úhel pohledu (širokoúhlé objektivy). [22]

5. Návrh snímání dynamických scén

Na základě technických možností a jejich konzultace s vedoucím práce byl pro realizaci vlastního snímání prostorového obrazu přijat systém dvou kamer s paralelními optickými osami. Jednalo se o dvě zcela totožné digitální HD videokamery Sony HDR-CX115E, zapůjčené z Ústavu biomedicínského inženýrství při FEKT, VUT v Brně. Použitý typ kamer pracuje se senzory CMOS Exmor R™ typ ¼" o velikost senzoru 4,5 mm (resp. 3,2 mm na 2,4 mm šířky a výšky). Rozlišení videozáznamu je 1920x1080. Použitý objektiv je Carl Zeiss® Vario-Tessar®. Ohnisková vzdálenost objektivu je 2,5-62,5 mm. Kamery byly upevněny na kolejnici, která umožňuje odměření stereobáze. [27]



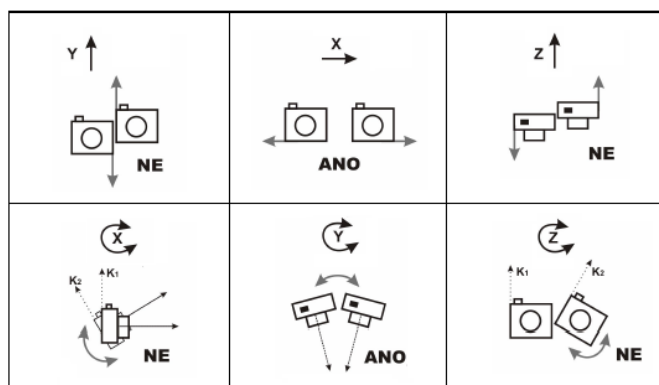
Obrázek 5.1 Kamera SONY HDR-CX115E. Převzato z [27].

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, homogenita záznamových prvků je zásadní. Kamery musí být zcela totožné, aby nedocházelo k rozdílům ve velikosti obrazu, v poměru stran a jiným geometrickým zkreslením (v případě rozdílných objektivů) popř. k rozdílům v barevném podání či počtu pixelů (v případě rozdílných senzorů) atd.

5.1 Technické parametry snímání

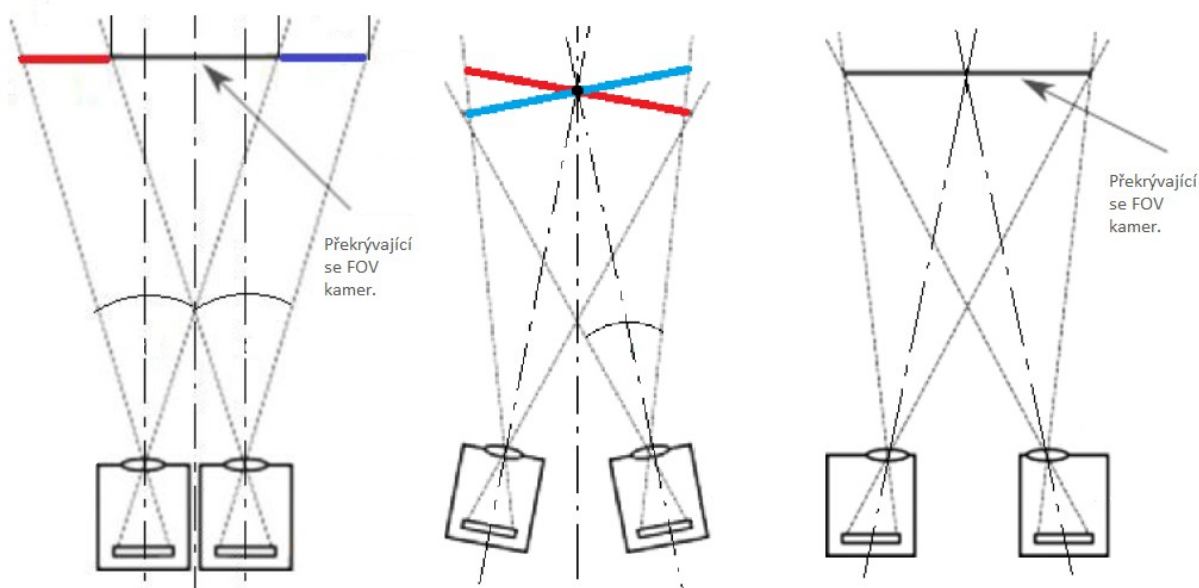
5.1.1. Poloha kamer

Vzájemnou polohu kamer je nutno definovat ve smyslu posunu i natočení dle os x , y , z . Pokud je naším cílem snímat reálný prostorový obraz, chceme dosáhnout horizontální paralaxy, tedy posunu korespondujících bodů v horizontální rovině (tak, jak je tomu u lidského zraku) a vyhnout se vertikální paralaxe, tedy posunu korespondujících bodů ve vertikální rovině (která lidskému zraku způsobuje diskomfort). Toho lze dosáhnout paralelním postavením kamer, se stejnou polohou ve smyslu osy y a z . Variováním vzájemné polohy ve smyslu osy x lze měnit stereobázi. Zcela nežádoucí je jakékoliv vzájemné natočení dle os x a z . Přijatelné je mírné vzájemné natočení ve smyslu osy y , avšak jen ve smyslu konvergence, nikoliv ve smyslu divergence.



Obrázek 5.2 Poloha kamer ve smyslu vzájemného posuvu po osách x , y , z resp. pootočení okolo os x , y , z . Převzato z [18].

Kamery jsou tedy v paralelním postavení, jejich poloha je neměnná ve smyslu posuvu po osách y a z . Posun po ose x , způsobující změnu stereobáze bude popsán dále. Rotace kolem os x a z je nepřipustná. Zbývá vyřešit možnou rotaci kolem osy y a z toho vyplývající postavení kamer. Nejčastěji používanou metodou pro snímání prostorové scény je Off-axis, tedy paralelní postavení kamer s paralelním vedením optických os. Optické osy se protínají nekonečnu. Obrazy snímání kamerami se překrývají v centrální části s určitým posunem, nicméně vnější okraje obrazu jsou vždy specifické jen pro jednu kameru. S tímto problémem je nutno se vyrovnat při následném zpracování nasnímaných dat a přicházíme tak o část obrazové informace. Méně používanou je metoda Toe-in. Kamery jsou vůči sobě natočeny ve smyslu osy y , optické osy konvergují na snímaném objektu. U metody Toe-in nedochází ke ztrátě obrazové informace v laterálních částech dílčích obrazů, nevyhneme se však vertikální paralaxe. Metoda Toe-in sice napodobuje fungování očního aparátu, nicméně senzor kamery je rovinná plocha na rozdíl od konkávní plochy sítnice lidského oka. Právě tento rozdíl je zdrojem vertikální paralaxy. Samotný fakt, že se optické osy protínají v konkrétním snímaném objektu, navíc divákovi předem určuje cíl pozorování. Při změně pozorovaného objektu by bylo třeba měnit bod protínání optických os kamer natočením kamer, což se jeví jako problematické. Někdy se používá i metoda Off-axis s posunem optiky kamery vůči čipu, pokud to kamera umožňuje. V takovém případě však již optické osy nejsou paralelní, ale konvergují, za současného paralelního postavení kamer (tzn. bez vzájemného natočení ve smyslu osy y). Tato metoda se jeví jako nejpraktičtější, kombinuje totiž výhody předchozích dvou metod – bezztrátový zisk obrazové informace za současné eliminace vertikální paralaxy. Spornou otázkou zůstává ostření na konkrétní bod. V praxi se nepoužívá metoda, kdy jsou kamery vzájemně natočeny ve smyslu osy y a jejichž osy divergují. [15, 18, 24, 25]

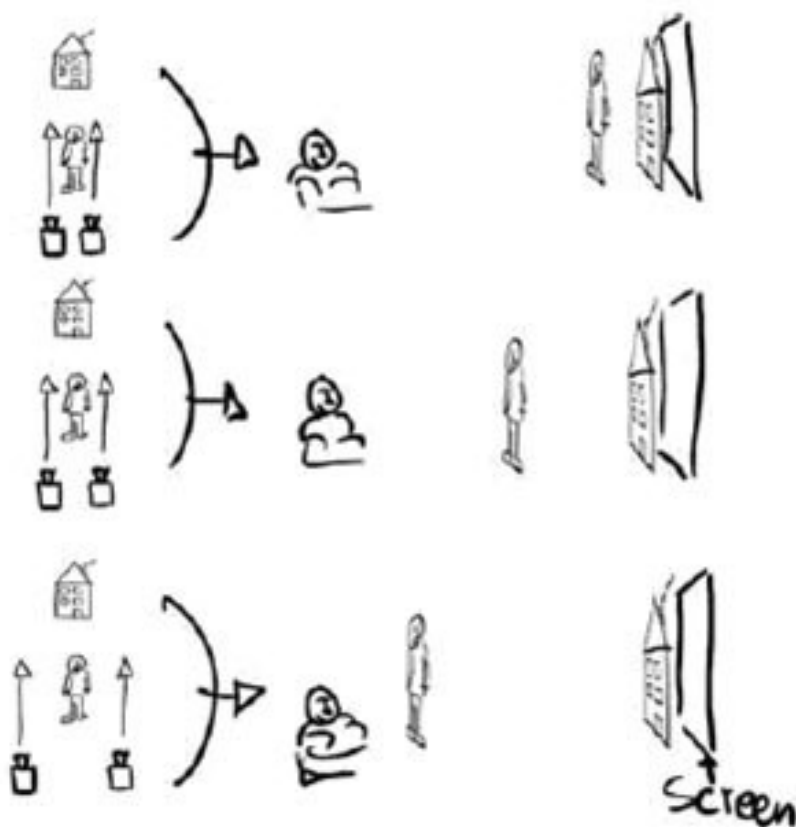


Obrázek 5.3 Druhy paralelních postavení kamer v závislosti na vzájemné poloze optických os. Zcela vlevo – Off axis (červeně a modře zvýrazněny nepřekrývající se části FOV). Uprostřed – Toe in (červeně a modře zvýrazněna dílčí FOV). Zcela vpravo - Off axis s posunem optiky. Převzato z [24].

Na základě předcházejících řádků a technických možností byla pro snímání prostorové scény použita metoda Off-axis bez posunu optiky vůči čipu. Metoda Off-axis s posunem by byla vhodnější, nicméně použité kamery tuto možnost nenabízejí. Metoda Off-axis umožňuje získat horizontální paralaxy za současné eliminace vertikální paralaxy. Bylo nutno se však vyrovnat s krajními segmenty, které postrádají prostorovou informaci, protože kamery snímají obrazy scény, které se překrývají s určitou mírou posunu jen v centrální části. Kamery byly připevněny na kolejnici s měřítkem pro určení stereobáze. Fixace byla zajištěna jediným šroubem pro každou kameru.

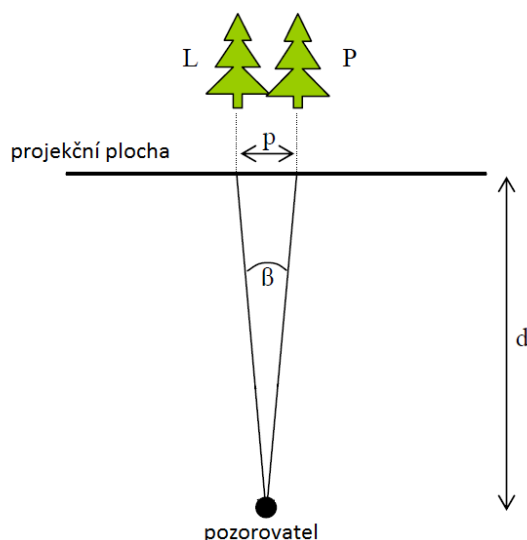
5.1.2 Volba stereobáze

Stereobáze neboli interaxiální separace je rozteč mezi optickými osami paralelně postavených kamer (tedy mezi pomyslnými středy čoček kamer). Je obdobou interokulární separace, tedy vzdálenosti optických os lidských očí. Volba stereobáze je zásadním krokem, který předchází snímání prostorové informace. Hodnota stereobáze rozhodujícím způsobem ovlivňuje výsledný prostorový dojem z následně promítaného obrazu. Volba stereobáze úzce souvisí s paralaxou scény. Čím jsou čočky vzájemně vzdálenější, tím je větší stereobáze, díky čemuž roste paralaxa a s paralaxou se prohlubuje i prostorový dojem ze scény, jak demonstruje Obrázek 5.4.



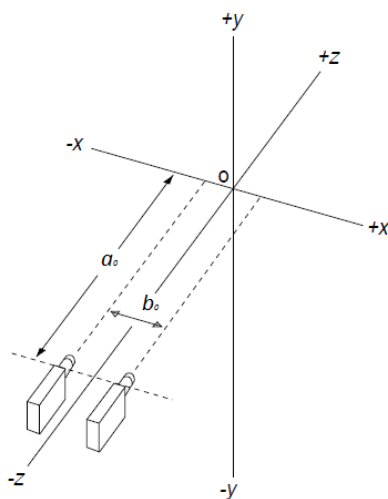
Obrázek 5.4 Vliv velikosti stereobáze na hloubku prostorového vjemu. Převzato z [25].

Nicméně velké hodnoty paralaxy (tedy velké rozteče korespondujících bodů na projekční ploše) mohou vyvolávat u pozorovatelů diskomfort, jelikož svaly odpovědné za akomodaci a konvergenci jsou zvyklé pracovat v součinnosti. To znamená, že konvergují a akomodují na ten objekt, na který člověk upírá svoji pozornost. Při pozorování stereoskopického obrazu však lidský zrak akomoduje na promítací rovinu (např. promítací plátno), ale konvergence se odvíjí od příslušné paralaxy dílčích objektů. To může být při velkých hodnotách paralaxy pro pozorovatele nepříjemné. Literatura proto uvádí, že je vhodné volit raději menší hodnoty zobrazované paralaxy, při kterých zároveň ještě získáme dobrý prostorový vjem za současné minimalizace diskomfortu při konvergenci a akomodaci očního aparátu. Menší paralaxy dosáhneme volbou menší stereobáze. Maximální paralaxa snímané scény by neměla překročit $1,5^\circ$. Je potřeba mít na mysli, že průměrná vzdálenost lidského páru očí je cca 65 mm, pokud se však v obraze vyskytují objekty s větší paralaxou, korespondující body na projekční ploše budou vzdáleny více než 65 mm a oči budou nuceny divergovat, což je pro pozorovatele nepříjemné.



Obrázek 5.5 *Paralaxa na projekční ploše. L a P označují korespondující obraz pro levé a pravé oko. p – paralaxa v délkových jednotkách. β – paralaxa v úhlových jednotkách. d – vzdálenost mezi pozorovatelem a projekční plochou. Převzato z [28].*

Ideální je kombinovat menší hodnotu stereobáze s vyšší hodnotou zorného úhlu kamer (alespoň 40° horizontálně), přičemž zorný úhel vychází z ohniskové vzdálenosti kamer. Platí úměra, že menší ohnisková vzdálenost znamená širší zorný úhel. Pokud zvolíme velký zorný úhel, je možné snížit hodnotu stereobáze beze ztráty prostorového dojmu. I přes vhodnou volbu stereobáze, mohou někteří pozorovatelé zejména při prvních zkušenostech se stereoskopickým obrazem pociťovat určitý diskomfort. Tento jev bývá méně častý u dětí a při opakovaném sledování stereoskopických obrazů se může vytratit. [15]

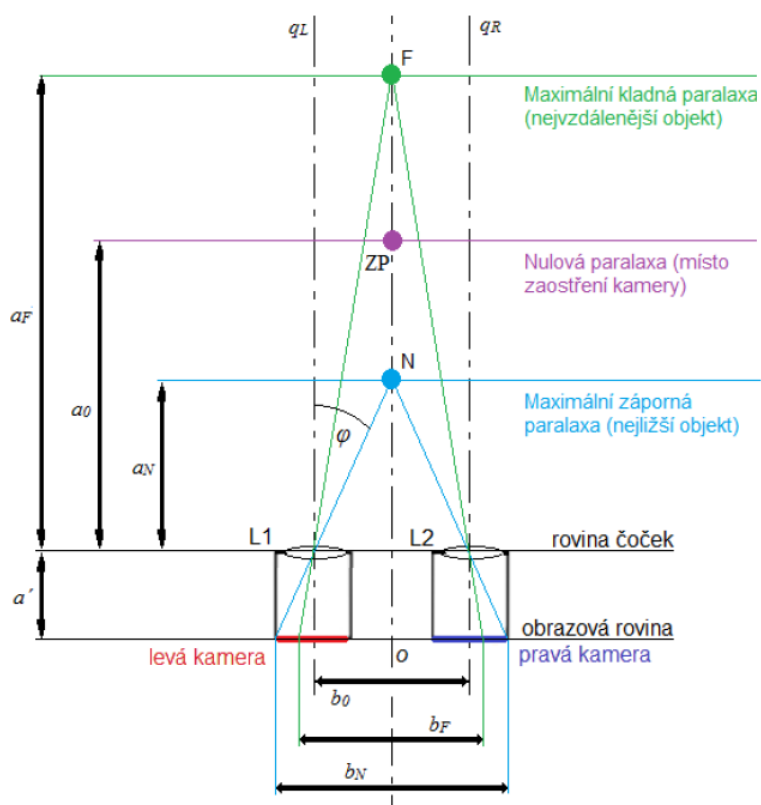


Obrázek 5.6 *Paralelní postavení kamer. Parametr a_0 reprezentuje vzdálenost projekční roviny od kamer, parametr b_0 reprezentuje zvolenou stereobázi. Převzato z [15].*

Literatura nabízí hned několik přístupů k volbě správné hodnoty stereobáze. Obecně je doporučováno podřídít hodnotu stereobáze povaze snímané scény. Proto je při volbě stereobáze nutné zohlednit rozložení snímaných/pozorovaných objektů ve scéně. Je dobré definovat nejvzdálenější objekt ve scéně a nejbližší objekt ve scéně. Stejně tak je vhodné

správně definovat vzdálenost od kamery, kterou prochází pomyslná projekční rovina, tedy místo s nulovou paralaxou. To vše je samozřejmě jednodušší při natáčení v uzavřeném prostoru, kde lze jednotlivé vzdálenosti jednodušeji definovat. Při venkovním natáčení často uvažujeme o nejvzdálenějším bodu v nekonečnu. V neposlední řadě je také vhodné rozhodnout, pro jaké zobrazovací medium je snímaná scéna určena. Jinou stereobázi zvolíme, pokud se scéna bude promítat na velkém plátně nebo na displeji. Na zvážení je též, zda v obraze použít i negativní paralaxu. Jsou scény, ve kterých je vhodnější definovat nulovou paralaxu jako nejbližší bod a celou scénu tak umístit „dovnitř“ pozorovaného rámce, tzn. snímat ji jen s pozitivní paralaxou. To je vhodné u scén, ve kterých se nachází dominantní vzdálené pozadí apod. [15, 22]

První možností, jak získat hodnotu stereobáze, vhodnou pro naši snímanou scénu, je provést vlastní matematický výpočet vycházející z optického modelu, který můžeme vidět na Obrázku 5.7.



Obrázek 5.7 Schéma pro výpočet vhodné stereobáze. Převzato z [24].

Schéma na Obrázku 5.7 reprezentuje paralelní postavení dvou kamer metodou Off-axis. $L1$ a $L2$ jsou čočky kamer. Parametr b_0 zastupuje stereobázi, parametr a_F je vzdálenost mezi čočkami a nejvzdálenějším objektem scény, parametr a_0 je vzdálenost mezi čočkami a rovinou nulové paralaxy, parametr a_N je vzdálenost mezi čočkami a nejbližším objektem scény, parametr a' je obrazová vzdálenost. Nalezení stereobáze b_0 je možné pomocí podobnosti trojúhelníků definovaných osami čoček a paprsků protínajících body F a N spolu se vzniklými úhly φ . Trojúhelníky jsou definovány následujícími vztahy:

$$\operatorname{tg}(\varphi_1) = \frac{b_0/2}{a_N} \quad (5.1)$$

$$\operatorname{tg}(\varphi_2) = \frac{b_0/2}{a_F} \quad (5.2)$$

Následný rozvoj je možný díky podobnosti trojúhelníků v optickém systému na Obrázku 5.7:

$$\operatorname{tg}(\varphi_1) = \frac{(b_N - b_0)/2}{a'} \quad (5.3)$$

$$\operatorname{tg}(\varphi_2) = \frac{(b_F - b_0)/2}{a'} \quad (5.4)$$

Tímto způsobem jsme schopni vyčíslit hodnoty b_N a b_F :

$$b_N = \frac{a' * b_0}{a_N} + b_0 \quad (5.5)$$

$$b_F = \frac{a' * b_0}{a_F} + b_0 \quad (5.6)$$

Parametry b_N a b_F nám dávají informaci o zobrazených krajních bodech snímané scény. Pro zjednodušení dalšího výpočtu jejich rozdíl definujeme jako parametr Δ . Potom:

$$\Delta = b_N - b_F \quad (5.7)$$

Tak se dostáváme k samotnému výpočtu stereobáze:

$$b_0 = \Delta * \left(\frac{a_F * a_N}{a_F - a_N} \right) * \frac{1}{a'} \quad (5.8)$$

Z důvodu apriorní neznalosti parametru a' využijeme rozkladu dle zobrazovacích rovnic a provedeme poslední úpravu vzorce pro výpočet stereobáze:

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a_0} \quad (5.9)$$

Ve vzorci (5.9) f reprezentuje ohniskovou vzdálenost a a_0 je již zmíněná vzdálenost roviny s nulovou paralaxou. Výpočet stereobáze potom vypadá následovně:

$$b_0 = \Delta * \left(\frac{a_F * a_N}{a_F - a_N} \right) * \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{a_0} \right) \quad (5.10)$$

Ze vzorce (5.10) lze získat hledanou vyhovující stereobázi za předpokladu, že známe rozložení objektů ve scéně, tedy pokud známe vzdálenosti nejdlejších a nejpřilehlých objektů vůči kamerám, dokážeme určit polohu roviny s nulovou paralaxou a máme již zvolenou ohniskovou vzdálenost optik kamer. [24, 25, 26]

V literatuře [18] lze nalézt modifikaci vzorce (5.10) pro výpočet stereobáze:

$$b_0 = \left(\frac{a_F * a_N}{a_F - a_N} \right) * \frac{k}{f} \quad (5.11)$$

Tato modifikace nahrazuje rozdíl zobrazených krajních bodů a vzdálenost roviny s nulovou paralaxou od snímací aparatury parametrem k , který je dále definován:

$$d = v * \frac{d}{D} \quad (5.12)$$

Ve vzorci (5.12) figurují parametry v , velikost senzoru, d , velikost maximální horizontální difference mezi levým a pravým obrazem, a D , šířka projekční plochy. Poměr d/D lze potom sám o sobě definovat jako maximální procentuální hodnotu paralaxy v promítaném obraze. Ta by, jak víme z předešlé teorie, neměla překročit 4%. [18]

Ti kdo začínají se snímáním stereoskopického obrazu, však již mají k dispozici paletu osvědčených softwarových nástrojů (založených na výše zmíněných výpočtech) a empirických pravidel, podle kterých lze zvolit vhodnou stereobázi, aniž by bylo třeba procházet celým složitým výpočtem.

Ve většině příruček pro začínající stereo filmaře se na prvních řádcích kapitoly o volbě stereobáze nachází zmínka o empirickém pravidle „1 ku 30“, které říká, že stereobáze má mít velikost 1/30 vzdálenosti kamer od nejbližšího snímaného objektu. Ve většině takových knih se však na následujících řádcích dodává, že toto pravidlo je vhodné často porušit popř. pozměnit. Proto je tento poměr často měněn na 1/50, 1/60, nebo dokonce 1/100. Poměr 1/30 je možné použít, pokud snímané záběry budou následně promítány na projekční ploše (plátně, displeji) menší než 65 palců a pozadí scény se nachází ideálně v nekonečnu. Pro velká promítací plátna, která jsou běžně viděni v kinosálech, se používají právě poměry 1/50 až 1/100. [15, 22]

Jednou z možností je též nastavit hodnotu interaxiální separace stejnou jako je interokulární separace a snímat tak prostorové scény podobným způsobem, jakým na ně nahlíží člověk. Potom bychom při splnění třech základních podmínek mohli hovořit o ortostereoskopii. Literatura tvrdí, že takový obraz, pokud jsou splněny tři základní podmínky, by měl být izomorfní, tedy obrazově totožný, s reálným vizuálním světem, tak jak ho vnímáme očima. První podmínkou je, že obraz velmi vzdálených objektů dostává optické osy očí do paralelního postavení. Druhou podmínkou je, že difference mezi dvěma snímanými obrazy odpovídá velikosti interokulární separace. A za třetí, je splněna návaznost perspektivy dle vztahu (5.13), tedy, že obraz by měl být sledován ze vzdálenosti V , která odpovídá součinu zvětšení pozorovaného objektu M a ohniskové vzdálenosti f záznamových čoček.

$$V = M * f \quad (5.13)$$

Ortostereoskopie má však svá úskalí. Jedno z nich vychází přímo z první podmínky. Při sledování velmi vzdálených objektů, kdy jsou oční optické osy paralelní, se paralaxa dostává na hodnotu interokulární separace, což může být při sledování na projekční ploše pro pozorovatele nepříjemné, vzhledem k výše vysvětlenému vztahu mezi akomodací a konvergencí při sledování projekce. Logicky i druhá podmínka je v některých případech nesplnitelná – například při zobrazování molekulárních struktur, jejichž velikost je ve skutečném světě běžnému oku neviditelná. I třetí podmínka je často stěžejí realizovatelná, neboť bychom při zaostření na každý nový objekt museli znovu upravovat pozorovatelovu vzdálenost od projekční plochy. [15]

Jak již bylo řečeno, pro volbu stereobáze jsou dnes k dispozici sofistikované programy, které vyžadují pouze zadání parametrů snímané scény a kamery. Výstupem jejich výpočetního algoritmu je pro danou scénu vhodná hodnota stereobáze. Jeden z takových programů jsem využil pro hledání vhodné stereobáze ve svojí práci a to na doporučení Ing. Petra Fedry. Podrobný rozbor je uveden v následující podkapitole. Každá snímaná scéna nakonec vyžadovala mírně odlišné nastavení stereobáze. Konkrétní hodnoty interaxiální

separace jsou uvedeny v popisu jednotlivých scén níže včetně osvětlení důvodů, které k volbě dané stereobáze vedly.

5.1.3 Inition StereoBrain Calculator

Program Inition StereoBrain Calculator je sofistikovaný software pro kalkulaci základních parametrů stereoskopického snímání v uživatelsky přátelském prostředí. Stereoskopické snímání lze plánovat ve dvou režimech. Pro každý je uživatelském okně vlastní záložka. V režimu *Calculate Interaxial* uživatel zadává požadovanou pozitivní paralaxu v obraze a vzdálenost objektů s maximální, nulovou a minimální paralaxou v obraze. Výsledkem kalkulace je, jak už název napovídá, vhodná interaxiální separace.

Camera

Camera Sensor Type: [User] Sensor Width: 36.0 mm Sensor Height: 24.0 mm

Focal Length / Field Of View

Focal Length (as on camera/lens markings): 50 mm Horizontal FOV: 39.6°

Min: 5 mm Max: 250 mm Vertical FOV: 27.0°

Equiv 35mm stills Focal Length: 50.0 mm Diagonal FOV: 46.8°

Equiv 35mm motion Focal Length: 30.5 mm

Useful Links

[3D Rigs](#)
[3D Displays](#)
[e-mail support](#)

Calculate Interaxial **Calculate Parallax**

Desired Positive Parallax (in-screen): 3.0 % of screen width

Negative Parallax (out-screen): 31.7 % of screen width

Calculated Interaxial Distance: 2189 mm

Distance to max Positive Parallax Point: 19.00 m ☐ Set to Infinity

Distance to Convergence Point/Zero Parallax Point: 16.00 m

Distance to a Chosen Negative Parallax Point: 6.00 m

Height of Frame at Convergence Point: 7.68 m

☐ Set Min Interaxial Distance

Min Interaxial Distance: 1 mm

Presets: [User]

Max distances: 100 m

Screening

Screen Width: 0.10 m Predefined Screens: [User] Screen FOV: 90.0°

Viewer distance as multiple of screen width (0.1 to 10): 0.5 = Viewer distance in meters: 0.15 m

Viewer Interocular: 64 mm

Positive Parallax: On Screen: 9 mm Viewer Eye Angle: -10.4° (Convergent)

Negative Parallax: On Screen: 95 mm Perceived Max Pop-Out: 90 mm

Scene Depth Diagram

Max Positive Parallax at: 19m

Zero Parallax at: 16m

Max Negative Parallax at: 6m

Interaxial dist: 2189mm

Screening Diagram

Screen Width: 0.30m Pos Parallax: 3.0% Neg Parallax: 31.7% Pop-out distance: 0.08m

Screen FOV: 90.0°

Viewer distance: 0.15m

[Open 3D View](#)

Obrázek 5.8 Vzhled uživatelského okna programu Inition StereoBrain Calculator v režimu *Calculate Interaxial*.

V režimu *Calculate Parallax* naopak uživatel zadá na vstupu interaxiální separaci, vzdálenost objektů s maximální, nulovou a minimální parallaxou v obraze a výsledkem kalkulace je parallaxa získaná za daných podmínek. Kalkulace vyžaduje mimo tyto hodnoty i další vstupní data, která jsou společná pro oba režimy. Jde o typ senzoru, jeho výška a šířka, ohniskové vzdálenosti optik kamer (minimální, maximální, aktuální) a rozměry projekční plochy, pro kterou je stereo záznam určen. Z toho vyplyne vzdálenost pozorovatele od projekční plochy. Z parametrů kamer, především z ohniskové vzdálenosti, program také počítá poměrně užitečnou hodnotu zorného úhlu ve stupních a mnohé další parametry.

Camera

Camera Sensor Type: [User]
 Sensor Width: 36.0 mm
 Sensor Height: 24.0 mm

Focal Length / Field Of View

Focal Length (as on camera/lens markings): 50 mm
 Horizontal FOV: 39.6°
 Vertical FOV: 27.0°
 Diagonal FOV: 46.8°
 Min: 5 mm, Max: 250 mm
 Equiv 35mm stills Focal Length: 50.0 mm
 Equiv 35mm motion Focal Length: 30.5 mm

Calculate Interaxial **Calculate Parallax**

Interaxial Distance: 100 mm
 Set Max Positive Parallax: 3.0 % of screen width
 Set Max Negative Parallax: 3.0 % of screen width
 Distance to max Positive Parallax Point: 19.00 m
 Distance to Convergence Point/ Zero Parallax Point: 16.00 m
 Distance to a Chosen Negative Parallax Point: 6.00 m
 Max distances: 100 m

Screening

Screen Width: 0.10 m
 Predefined Screens: [User]
 Screen FOV: 90.0°
 Viewer distance as multiple of screen width (0.1 to 10): 0.5
 Viewer distance in meters: 0.15 m
 Viewer Interocular: 64 mm
 Positive Parallax: On Screen 0 mm
 Negative Parallax: On Screen 4 mm
 Viewer Eye Angle: -12.0° (Convergent)
 Perceived Max Pop-Out: 10 mm

Scene Depth Diagram

Max Positive Parallax at: 19m
 Zero Parallax at: 16m
 Max Negative Parallax at: 6m
 Interaxial dist: 100mm

Screening Diagram

Screen Width: 0.30m
 Pos Parallax: 0.1%
 Neg Parallax: 1.4%
 Pop-out distance: 0.01m
 Viewer distance: 0.15m
 Screen FOV: 90.0°

Open 3D View

Obrázek 5.9 Vzhled uživatelského okna programu *Inition StereoBrain Calculator* v režimu *Calculate Parallax*.

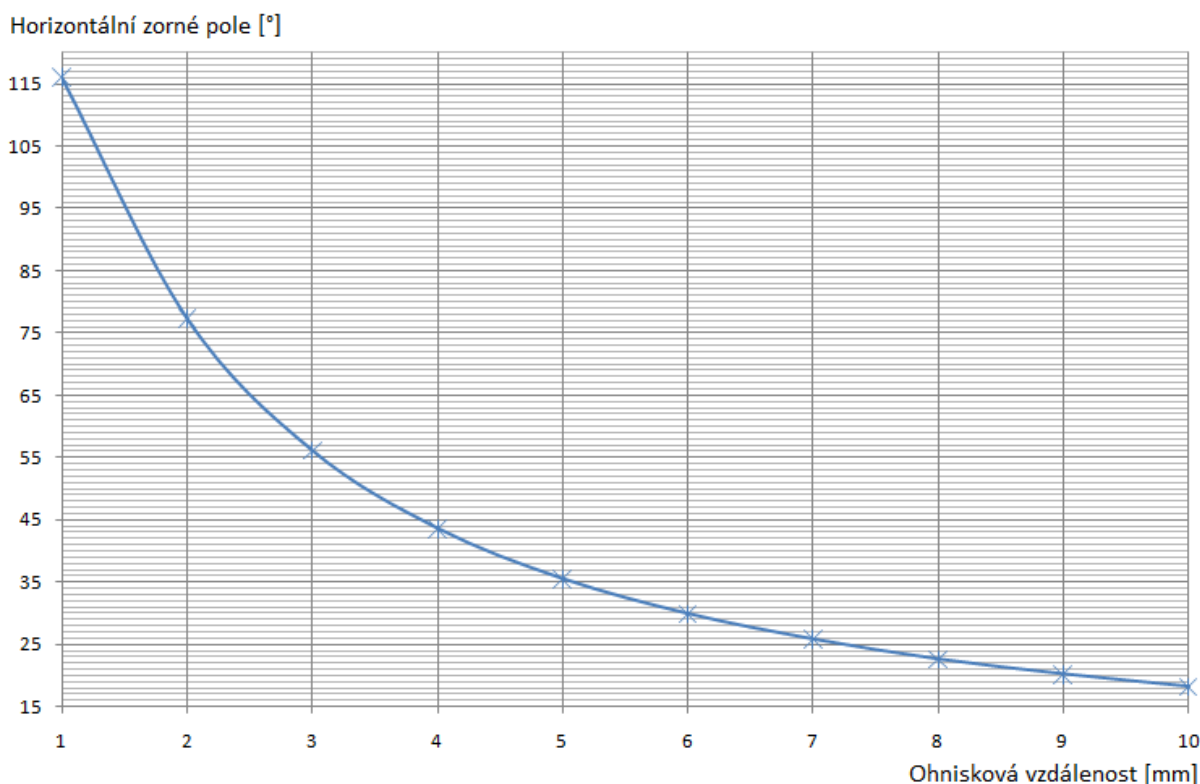
Uživatelské okno obsahuje včetně zadávaných a spočítaných parametrů také dvě schémata v pravé polovině uživatelského okna. *Scene Depth Diagram* zobrazuje vzdálenost snímací aparatury od rovin minimální, nulové a maximální paralaxy současně s názornou roztečí kamer snímací aparatury. *Screening Diagram* zobrazuje úhly pozitivní a negativní paralaxy ve vztahu pozorovatel – projekční plocha.



Obrázek 5.10 *Model 3D View v programu Initon StereoBrain Calculator.*

Poslední maličkostí, kterou program poskytuje je *3D View*, což je grafické prostorové schéma pozorované scény s barevnou reprezentací levých (modrých) a pravých (červených) korespondujících bodů s maximální negativní (bližší barevné objekty) resp. pozitivní (vzdálenější barevné objekty) paralaxou a rovinou nulové paralaxy (šedivý objekt uprostřed).

Postup práce s programem Initon StereoBrain Calculator lze popsat následujícím způsobem. V prvním kroku bylo nutné vybrat typ senzoru kamer. V mém případě se jedná o CMOS Exmor R™ typ ¼". Tento výběr přenastavil hodnotu rozměru senzoru, tj. šířka 3,2 mm a výška 2,4 mm. Dále jsem definoval minimální a maximální ohniskovou vzdálenost optiky (2,5 ÷ 62,5 mm) a ohniskovou vzdálenost použitou při natáčení (2,5 mm). Použitá ohnisková vzdálenost přímo ovlivňuje zorný úhel, a samozřejmě také hodnotu stereobáze a výslednou paralaxu. Jak již bylo řečeno, čím menší ohnisková vzdálenost, tím větší zorný úhel, přičemž bychom chtěli dosáhnout zorného úhlu alespoň 40°, proto jsem použil nejmenší možnou ohniskovou vzdálenost, tedy 2,5 mm. Jedním z důvodů také bylo, že použité kamery neumožňovaly dostatečně přesné natavení ohniskové vzdálenosti a proto by jejich synchronizace v tomto parametru mohla být diskutabilní. Je faktem, že velmi nízká ohnisková vzdálenost zvyšuje potřebnou stereobázi, nicméně pokusné výpočty provedené v programu StereoBrain a zveřejněné v kapitole 5.2 Návrh snímaných scén, ukazují, že lze mít nízkou hodnotu ohniskové vzdálenosti a zároveň používat rozumnou stereobázi. Graf 5.1 ukazuje závislost velikosti zorného pole na velikosti ohniskové vzdálenosti. Při mnou zvolené ohniskové vzdálenosti jsem dosáhl zorného pole o velikosti cca 65°.



Graf 5.1 Závislost velikosti horizontálního zorného pole na velikosti ohniskové vzdálenosti optiky kamery.

Jelikož mým cílem bylo získat vhodnou stereobázi, použil jsem ke kalkulaci režim *Calculate Interaxial*. Procentuální hodnotu žádoucí zobrazené pozitivní paralaxy jsem nastavil na 3 %. Krajní hodnota dle literatury jsou 4 %, nicméně zvyšování hodnoty paralaxy nad 3 % způsobovalo zvýšení nároků na stereobázi. Zásadními parametry, které se různily pro každou ze tří snímáných scén, jsou vzdálenosti k rovině maximální negativní (bod nejbližší ke snímací aparatuře), k rovině maximální pozitivní paralaxy (bod nejvzdálenější od snímací aparatury a k rovině nulové paralaxy (bod konvergence). Tyto vzdálenosti spolu s dalšími zmíněnými parametry jsou základem pro výpočet stereobáze. V posledním kroku se nastavila šířka promítacího plátna a vzdálenost pozorovatele od plátna, což mělo vliv na promítanou paralaxu. Ta zase přímo určuje, zda nebude docházet při sledování záznamu k nežádoucí divergenci očního páru. K tomu by docházelo, pokud by promítaná paralaxa překračovala povolenou míru a/nebo pokud by pozorovatel seděl příliš blízko. I toto jsou hodnoty, které program StereoBrain Calculator počítá. Proto je v nejnižší části uživatelského okna vypočítávána také hodnota *Viewer Eye Angle*, která kromě hodnoty ve stupních disponuje i slovním hodnocením scény. Slovní hodnocení říká, zda ještě dochází ke konvergenci, nebo zda už bude docházet k divergenci očních os. Oba stavy jsou odlišené barevným zvýrazněním. V odezvě na takto zadané parametry program vypočítal vhodnou stereobázi pro danou scénu. Největší vliv na výslednou stereobázi měla vzdálenost roviny s nulovou paralaxou od snímacího zařízení.

Hledání vhodné stereobáze s ohledem na všechny zmíněné parametry vyžadovalo dostatek času stráveného s programem StereoBrain Calculator. Postupně jsem nastavoval parametry vycházející z jednotlivých scén a snažil jsem se ladit hodnoty takovým způsobem, abych získal co nejideálnější kombinaci hodnot pro snímání i promítání scén. Výstupy těchto pokusů jsou zaznamenány na grafech 5.1 až 5.4.

Všechny obrázky použité v této kapitole pocházejí z uživatelského okna programu Initon StereoBrain Calculator.

5.1.4 Hloubka ostrosti

Hloubkou ostrosti je myšlena vzdálenost mezi nejbližším a nejvzdálenějším ostrým objektem, pokud ostříme na konkrétní bod ve scéně. Čím větší je hloubka ostrosti, tím menší má pozorovatel problém přeostršovat v rámci scény, tím větší porce scény se jeví ostře. Hloubka ostrosti je závislá na parametrech objektivu, konkrétně na ohniskové vzdálenosti, cloně a ostření objektivu. Nejlepších výsledků lze dosáhnout s širokoúhlými objektivy s velkým číslem clony. Ostřit je vhodné na větší vzdálenosti. [18]

5.1.5 Nastavení kamer a technické parametry snímací aparatury

Před snímáním bylo nutné nastavit stejně parametry obou kamer, aby nedocházelo k nežádoucím nehomogenitám v nasnímaných obrazech. Použité kamery SONY HDR-CX115 mají uživatelsky přívětivé ovládání. Uživatel při nastavování prochází jednoduchým intuitivním menu a není zahlcen zbytečným nadbytkem volitelných parametrů. Většina hodnot, které lze nastavovat v určité škále, se variuje pomocí dotykového posuvníku. V tomto spatřuji jasnou nevýhodu tohoto typu kamer. S posuvníkem se totiž zároveň nezobrazuje přesná aktuálně nastavená hodnota, což je velmi omezující a práci znesnadňující skutečnost. Uživatel není schopen přesně natavit ohniskovou vzdálenost nebo expozici. Proto bylo při volbě ohniskové vzdálenosti přistoupeno k natáčení s nejmenší možnou ohniskovou vzdáleností, tj. 2,5 mm, kterou lze nastavit s jistotou. Při nastavení expozice jsem se řídil znaky na displeji a snažil se posuvník na obou kamerách nastavit co nejpřesněji ve vztahu k těmto pomocným znakům, tj. asi v 45 % škály. Expozici jsem nastavoval až na místě natáčení dle světelných podmínek scény. Vyvážení bíle jsem nastavil na volbu *Venku*. Výběr scény jsem natavil na volbu *Krajina*. Vypnul jsem detekci úsměvu i tváře, stejně tak stabilizátor obrazu. Všechny tyto parametry by způsobily nežádoucí přeostršování v obraze. Ostření jsem nastavil v nekonečno. U posuvníku ostření se sice zobrazovala aktuální hodnota vzdálenosti ostřeného bodu, ale bylo poměrně náročné trefit se u obou kamer do stejné hodnoty a i vzhledem k povaze scén se jevílo ostření v nekonečno jako vyhovující. Parametry kamer bylo nutné před každým natáčením na místě nastavovat, jelikož kamery měly tendenci restartovat své nastavení po každém vypnutí.

Jak již bylo řečeno, použité kamery byly umístěny na posuvné kolejnici s délkovou škálou. Takových kolejnic je obecně k dispozici celá řada. Variace lze nalézt v upevnění kamer, v širší nastavitelné stereobáze atd. K dispozici byla kolejnice s délkou 19 cm a bez zvláštního upevnění. Původní technické řešení upevnění kamer na kolejnici a upevnění kolejnice na stativ bylo takové, jaké lze vidět na Obrázku 5.11.



Obrázek 5.11 Kamery SONY HDR-CX115E na posuvné kolejnici a stativu – původní technické řešení, detail.

Vzhledem k tomuto systému upevnění kolejnice ke stativu a šířce kamer, bylo možné variovat stereobázi pouze v rozsahu 50-120 mm. To je bohužel dost malé rozpětí, obzvláště při filmování venkovních scén se vzdálenými objekty. Mimo to jsem zjistil, že kolejnice má vlivem váhy kamer tendenci naklánět se a vychylovat se tak z vodorovné polohy, což by působilo rozkol při lícování obrazů a mohla by vnikat vertikální paralaxa či geometrické zkreslení. Proto jsem spojení kamery – kolejnice – stativ změnil a to do takové podoby, kterou lze vidět na Obrázku 5.12. Stabilitu vodorovné polohy jsem kontroloval pomocí vodováhy. Takové technické řešení zajistilo paralelní postavení kamer bez jakéhokoliv vychylování a umožnilo nárůst maximální stereobáze na celých 190 mm. Naopak stoupnula hodnota minimální možné stereobáze a to asi na 70 mm. Tak malá stereobáze však v práci nemá uplatnění. Šířku stereobáze jsem kromě stupnice na kolejnici kontroloval také pomocí pravítka a měření na totožných bodech v přední a zadní části kamer. Tímto způsobem jsem také zjišťoval, zda jsou osy kamer paralelní. Nasnadě byla také kontrola pomocí kalibračního obrazce, ale to se ukázalo při filmování venkovních scén za běžného denního provozu jako nepraktické. Dle mého názoru kontrola rovnoběžnosti pomocí pravítek je zcela dostačující, jak ukazují i výsledná nasnímaná videa. Dvojice kamer byla upevněna ke kolejnici jediným šroubem. Stejně tak kolejnice ke stativovému nástavci. Vše jsem doplnil sadou kovových a gumových podložek pro lepší stabilitu. Kamerami osazená kolejnice byla upevněna k běžnému fotografickému stativu. Snímací aparatura byla navržena a sestrojena za odborného dohledu doc. Ing. Radima Koláře, Ph.D.



Obrázek 5.12 Kamera SONY HDR-CX115E na posuvné kolejnici a stojanu – použité technické řešení, detail.



Obrázek 5.13 Kamera SONY HDR-CX115E na posuvné kolejnici a stojanu – použité technické řešení.

5.2 Návrh snímaných scén

Binokulární vidění, neboli vidění oběma očima resp. prostorové vidění je komplexní proces, který zahrnuje monokulární a binokulární aspekty. Některé tyto prvky se navíc prolínají. Už to nám napovídá, že pokud máme hodnotit prostorový vjem promítané scény, musíme se zaměřit jak na monokulární tak na binokulární vodítka (viz. 2. Binokulární vidění). Zadání mluví o dynamických scénách dopravních situací. Pro snímání byly tedy po konzultaci s prof. Ing. Ivo Provazníkem, Ph.D. navrženy tři (resp. čtyři) situace ze silničního provozu, které umožňují hodnocení základních stavebních kamenů binokulárního vidění, jako je odhad vzdáleností objektů v obraze, vzájemné postavení objektů v obraze, směr a rychlost pohybu atd. Hodnotit se bude také celkový dojem ze scény, zda je divák schopen zaměřit se na konkrétní objekty, zda je schopen akomodovat, zda nedochází k rozbití vztahu akomodace - konvergence a zda na diváka vůbec scéna působí plasticky a prostorově, nikoliv ploše. Zjišťovat se také bude, zda stereoskopický obraz nepůsobí na pozorovatele nepříjemně.

Souhrnně lze říci, že scény byly navrženy tak, aby testovali citlivost respondentů na monokulární i binokulární vodítka, z čehož lze následně vyvodit citlivost binokulárního vidění a úroveň vnímání prostoru u jednotlivců. Při 2D projekci by nebylo možno mnohé vztahy ve scéně dovodit, zatímco 3D projekce pomáhá definovat vzdálenosti, vzájemné pozice a dynamické parametry ve scéně.

5.2.1 Nerealizovaná scéna – Garáž

Jedna z navržených scén měla být natáčena v podzemních garážích. Záměrem bylo vytvořit alespoň jednu kontrastní scénu, která by se natáčela v uzavřených prostorech. Garážové prostory vytvářejí koridor, z jedné strany uzavřený zdí a z druhé strany lemovaný sloupořadím, což se zdálo perfektní pro odhad rychlosti i vzdáleností při zabírání projíždějícího automobilu. Nicméně světelné podmínky se ukázaly být zcela nevyhovující pro natáčení použitým technickým vybavením. Obraz byl velmi tmavý a rozmazaný, proto nebyla čtvrtá scéna realizována.

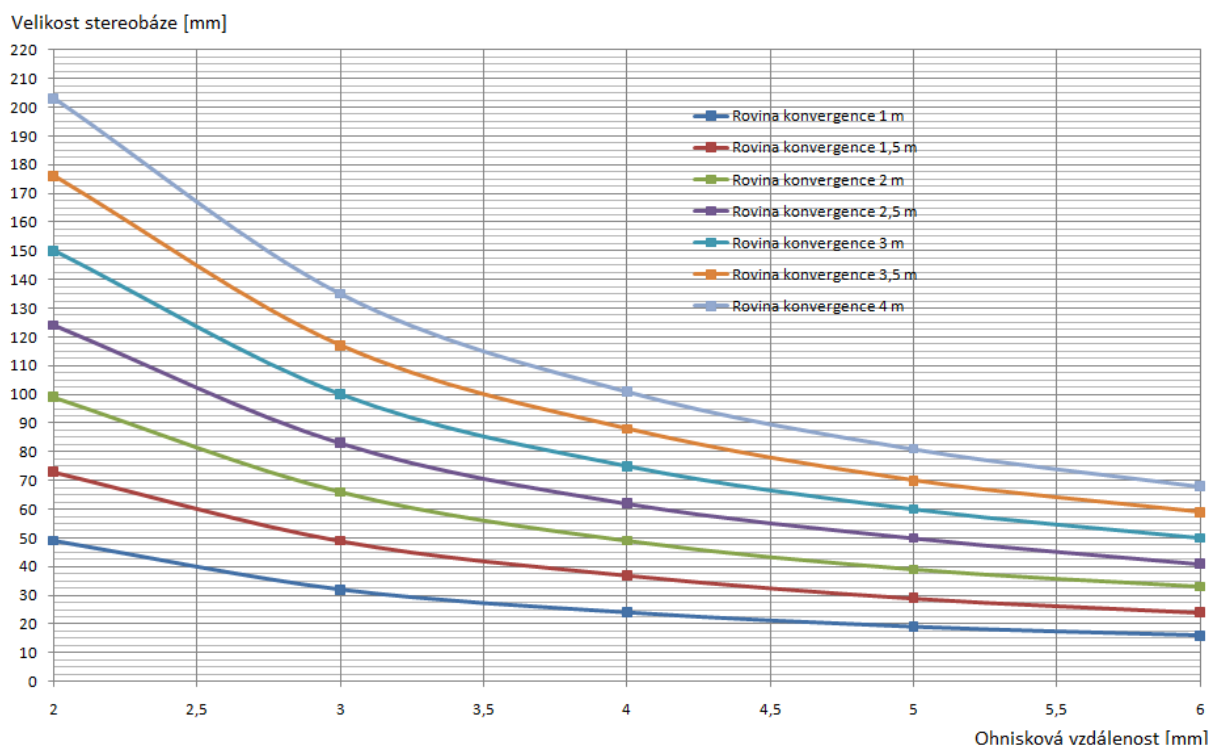
5.2.2 Scéna 1. – Zelená brána

V první scéně je dominantou 59 metrů vysoká Zelená brána v centru Pardubic. Snímána byla čelně, přičemž po komunikaci ve scéně přejížděli trolejbusy v obou směrech. Scéna se nachází v koridoru ulice, z obou stran uzavřené domy a je zaměřena na odhad větších vzdáleností a postupnou kontinuální akomodaci na projíždějící trolejbusy. Dále se ve scéně objevují chodci a cyklisté. Pohyb objektů ve scéně a to především trolejbusů před věží a budovou s transparentem by měli napomáhat odhadu vzdálenosti a hloubky. Pozadí s dominantou a koridor tvořený na obou stranách zástavbou by měly prohlubovat prostorový dojem scény.



Obrázek 5.14 Scéna 1. – Zelená brána.

Scéna je snímána s ohniskovou vzdáleností 2,5 mm při zorném úhlu 65°. Rovina konvergence, tedy nulové paralaxy, se nachází přibližně 3 metry před snímací aparaturou. Hodnota stereobáze je 123 mm. Pokud bychom chtěli využít jako stereobázi interokulární separaci (tedy stereobázi o velikost 65 mm), bylo by nutné posunout rovinu nulové paralaxy blíže ke snímací aparatuře asi o 2 metry. Objekt s maximální pozitivní paralaxou je definován ve vzdálenosti přibližně 100 m. Pokusné výpočty provedené v programu StereoBrain jsou uvedeny na Grafu 5.2. Při pokusných výpočtech v programu StereoBrain jsem pracoval především se vzdáleností roviny s nulovou paralaxou, s ohniskovou vzdáleností a stereobází.



Graf 5.2 Závislost velikosti stereobáze na velikosti ohniskové vzdálenosti při různých vzdálenostech roviny s nulovou paralaxou od snímací aparatury v první scéně.

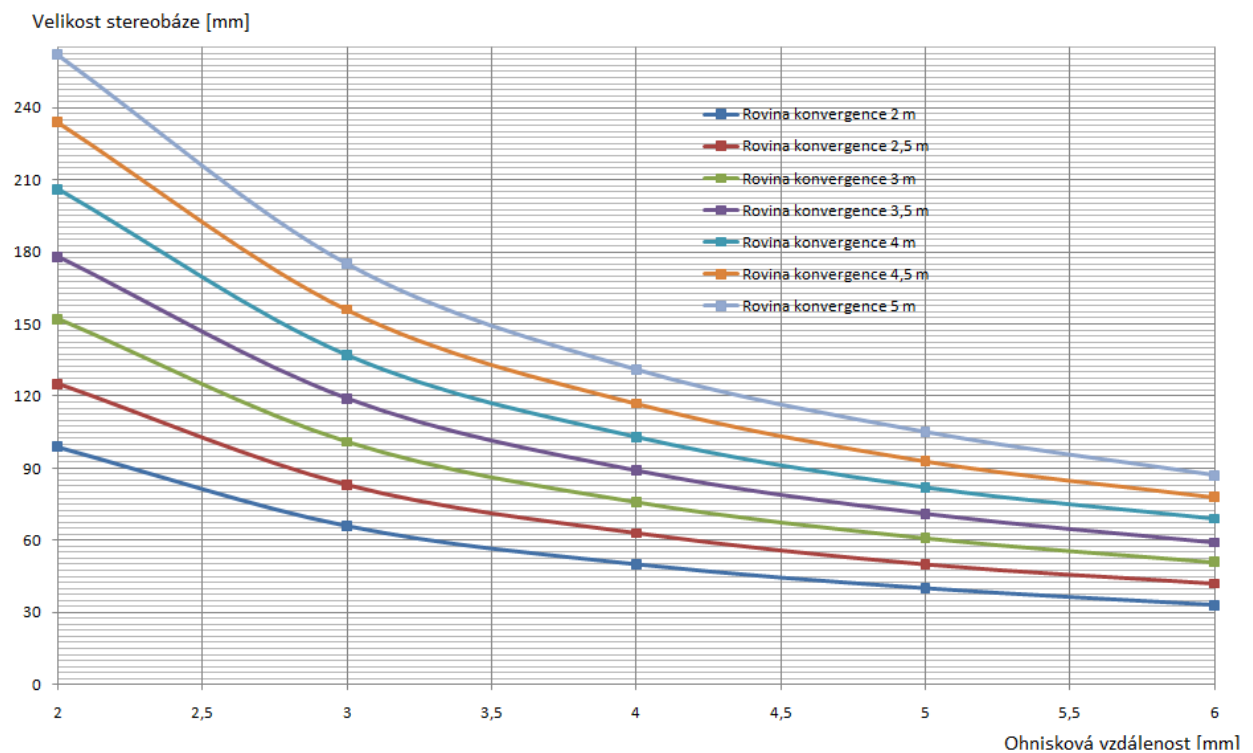
5.2.3 Scéna 2. – Křižovatka

Druhá scéna byla snímána na rušné křižovatce v centru Pardubic. Pohybující si objekty jsou blíže snímací aparatuře, než v případě první scény, proto je tato scéna zaměřena především orientaci v relativně chaotickém prostoru. Bude zjišťováno, zda jsou pozorovatelé vůbec schopni se v rychle měnící situaci ve scéně vyznat, zda jsou schopni na jednotlivé objekty ve scéně akomodovat a zda vnímají přechod pohybujících se objektů z rámce za plátnem na plátno a následně do rámce před plátnem.



Obrázek 5.15 *Scéna 2. – Křižovatka.*

Scéna je snímána s ohniskovou vzdáleností 2,5 mm při zorném úhlu 65°. Rovina konvergence, tedy nulové paralaxy, se nachází přibližně 2 metry před snímací aparaturou. Hodnota stereobáze je 80 mm. Dle výpočtů není využití interokulární separace jako stereobáze vhodné. Objekt s maximální pozitivní paralaxou je definován ve vzdálenosti přibližně 60 m. Pokusné výpočty provedené v programu StereoBrain jsou uvedeny na Grafu 5.3. Při pokusných výpočtech v programu StereoBrain jsem pracoval především se vzdáleností roviny s nulovou paralaxou, s ohniskovou vzdáleností a stereobází.



Graf 5.3 Závislost velikosti stereobáze na velikosti ohniskové vzdálenosti při různých vzdálenostech roviny s nulovou paralaxou od snímací aparatury ve druhé scéně.

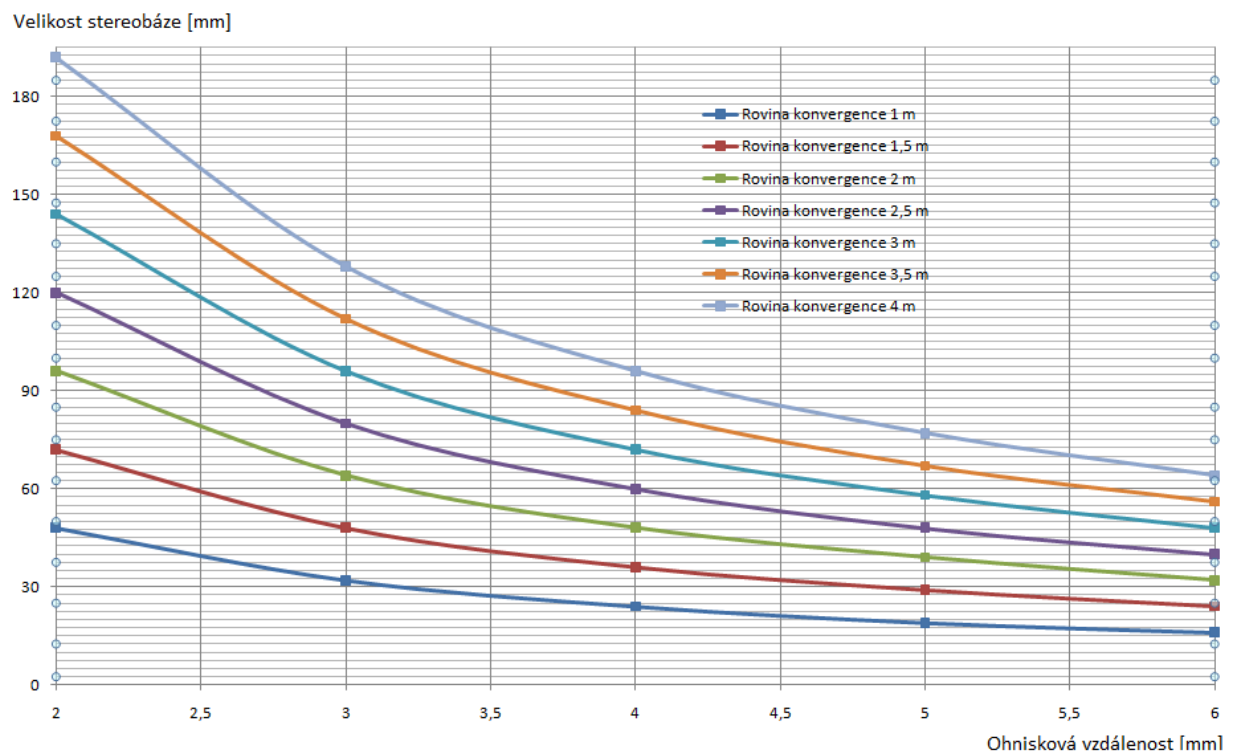
5.2.4 Scéna 3. – Příjezdová cesta

Třetí scéna je snímána na delší rovné komunikace s přechodem a sloupy veřejného osvětlení v otevřeném prostoru a je zaměřena na odhad rychlosti přijíždějícího automobilu, změnu rychlosti automobilu, kontinuitu akomodace na jedoucí automobil a vzájemnou polohu sloupů ve scéně. Právě sloupové by mělo být ku pomoci při odhadu rychlosti automobilu, neboť automobil kolem něj na své cestě k pozorovateli projíždí. Scéna má poměrně jednoduché pozadí, většina objektů se nachází ve velké vzdálenosti od pozorovatele a tak výsledný dojem hloubky nijak neovlivní.



Obrázek 5.15 Scéna 2. – Příjezdová cesta.

Scéna je snímána s ohniskovou vzdáleností 2,5 mm při zorném úhlu 65°. Rovina konvergence, tedy nulové paralaxy, se nachází přibližně 2,5 metru před snímací aparaturou. Hodnota stereobáze je 102 mm. Dle výpočtů není využití interokulární separace jako stereobáze vhodné. Objekt s maximální pozitivní paralaxou je definován v nekonečnu. Pokusné výpočty provedené v programu StereoBrain jsou uvedeny na Grafu 5.4. Při pokusných výpočtech v programu StereoBrain jsem pracoval především se vzdáleností roviny s nulovou paralaxou, s ohniskovou vzdáleností a stereobází.



Graf 5.4 Závislost velikosti stereobáze na velikosti ohniskové vzdálenosti při různých vzdálenostech roviny s nulovou paralaxou od snímací aparatury ve třetí scéně.

6. Projekce nasnímaných scén

Volba vzdálenosti pozorovatelů od projekčního plátna je další rozhodující parametr pro získání co nejlepšího nezkresleného prostorového dojmu. Volba vzdálenosti úzce souvisí i s rozhodnutím, prezentovat projekci dvojicím, nikoliv skupině pozorovatelů. S narůstající vzdáleností od plátna roste sice prostorový vjem, ale objekty se občas mohou jevit nepřírodně vystupující z pozorovacího okna, navíc s odstupem narůstá i geometrické zkreslení a objekty se na plátně „natahují“. Pozitivem rostoucí vzdálenosti pozorovatele od plátna je, že se zmírňuje efekt rozkolu konvergence a akomodace. Objekty s větší paralaxou tak se zvětšujícím se odstupem diváka dopadají na bližší disparátní body lidské sítnice. Člověk je tedy schopen pozorovat větší paralaxu v obraze bez nepříjemných vjemů či dokonce divergence. Z těchto důvodů je nutné ještě před natáčením definovat, pro jaké zobrazovací médium (plátno či displej konkrétních rozměrů) je stereoskopický film určen a z jaké vzdálenosti bude nejlepší prostorový vjem. K volbě vzdálenosti pozorovatelů jsem použil program Inition StereoBrain Calculator. [15, 22]



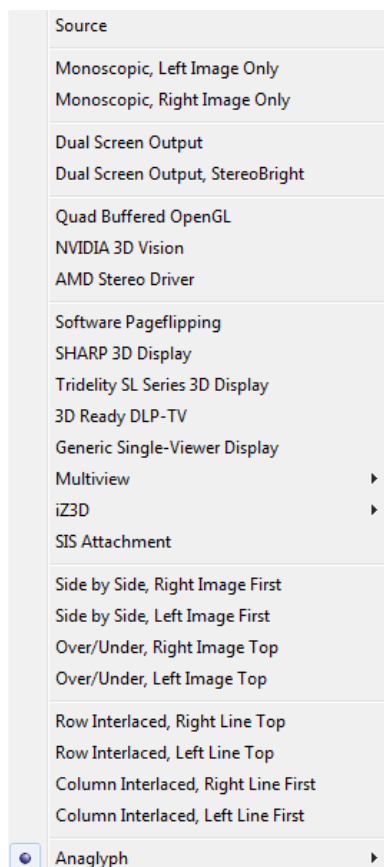
Obrázek 6.1 *Promítací místnost s veškerým potřebným vybavením. V pozadí je postříbřené plátno. Před plátnem je umístěna promítací aparatura s ovládacím počítačem. Zcela v popředí se nachází dvě židle pro dvojice diváků.*

Promítání výsledků stereoskopického snímání bylo realizováno na ÚBMI, kde je k dispozici postříbřené plátno určené pro polarizační stereoskopickou projekci. Volba polarizační stereoskopické projekce vychází z technických možností ústavu. Polarizační stereoskopie je poměrně levná metoda. Poskytuje věrnější podání barev nežli starší anaglyfy, trpí však větší mírou cross-talku. Plátno má úhlopříčku 2980 mm, při šířce 2510 mm a výšce 1680 mm. Promítací aparatura sestává ze dvou nad sebou umístěných projektorů s lineárními polarizačními filtry, které jsou vzájemně pootočené o 90°. Horní projektor je polohovatelný ve smyslu částečného otáčení okolo osy x při frontálním pohledu a celá aparatura byla výškově nastavitelná. Projektory byly k počítači připojeny pomocí DVI konektoru. Zpočátku činilo potíže kalibrování projektorů. Za tímto účelem byl na pozadí plochy v operačním systému Windows nastaven kalibrační kříž. Projektory se však jevily jako promítající v jiném měřítku či formátu. Vše se vyřešilo pomocí menu projektoru, kde bylo dosaženo shodného nastavení promítaného obrazu projektorů na poměr 16:9. V operačním systému Windows bylo třeba dále nastavit správně zobrazení pomocí monitorů a to v kolonce *Nastavení monitorů* volbou *Rozšířit tato zobrazení*. Zpočátku jsem zkoušel pracovat v módu *Duplikovat tato zobrazení*, což nepřinášelo žádaný efekt, jelikož projektory přes sebe jen promítaly totožný obraz. Při nastavování a přípravě promítací aparatury mi svými radami pomohl Ing. Jiří Sekora.



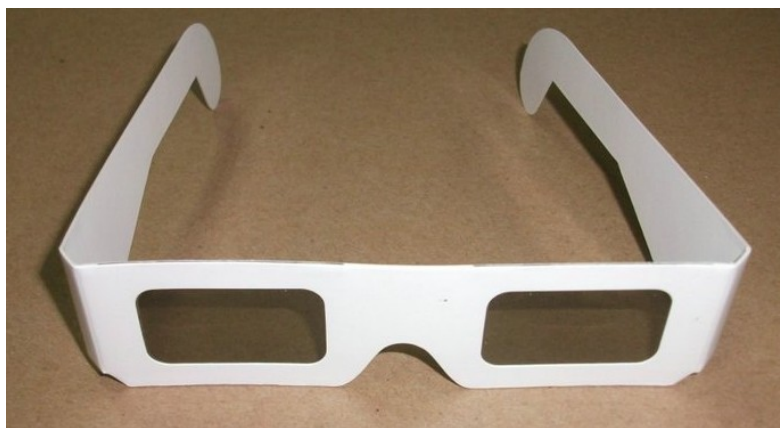
Obrázek 6.2 Promítací aparatura s dvěma nad sebou umístěnými projektory. Před objektivy projektorů jsou upevněny polarizační filtry.

Pro realizaci promítání byl kromě dvou projektorů s polarizačními filtry potřeba také počítač s odpovídajícím softwarem. K projekci 3D obrazu byl použit program Stereoscopic Player 1.9.9 Copyright© 2001-2013 Peter Wimmer. Tento program poskytuje celou škálu způsobů 3D projekce, jak je možné vidět na Obrázku 6.3. Pro potřeby mé projekce jsem zvolil zobrazovací metodu Dual Screen Output. Dále bylo třeba nahrát videa pro levé a pravé oko a přepnout video do full-screen módu.



Obrázek 6.3 3D zobrazovací metody poskytované programem Stereoscopic Player.

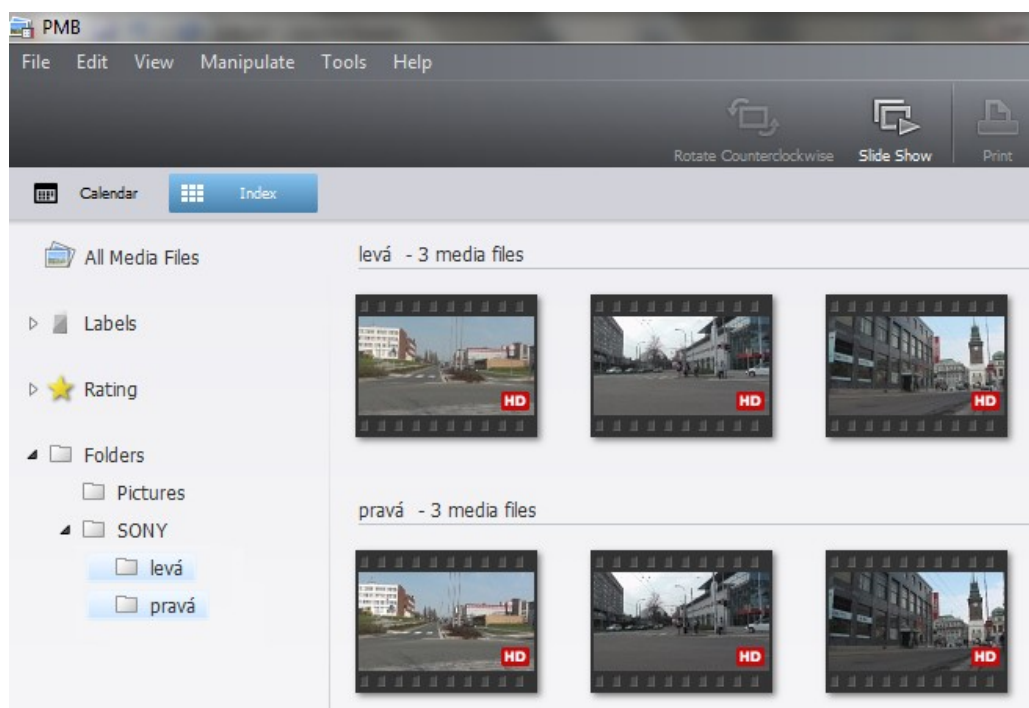
Dynamické scény byly promítány dvojicím, tudíž diváci sledovali projekci ze stejné vzdálenosti od projekční roviny i promítací aparatury s pouhým rozdílem v umístění nalevo či napravo od promítací aparatury. K tomu bylo přistoupeno proto, aby bylo možné v hodnocení parametrů projekce eliminovat vliv rozdílných náhledů na plátno, ke kterému by mohlo docházet zásadním způsobem, pokud by byli diváci rozptýlení po celé místnosti. Volba dvou pozorovatelů též souvisí se způsobem promítání. Obraz promítaný pomocí polarizační stereoskopie má pro pozorovatele největší kvality, když je sledován z pozice co nejbližší středové osy plátna. Vzdálenost diváků od projekčního plátna byla 6,5 m, což je hodnota, která vzešla z výpočtů v programu StereoBrain. Jde o takovou vzdálenost, při které nebude docházet k divergenci očních os diváků. Diváci měli při projekci na očích obyčejné papírové brýle opět s lineárními polarizačními filtry s odpovídajícím nastavením korespondujícím s nastavením lineárních polarizačních filtrů projektorů místo skel. Místnost byla v době promítání zatemněna, tak jak tomu bývá v kino sálech, pro zvýšení kontrastu obrazu. Zkušebně proběhla projekce i v místnosti bez zatemnění a v místnosti s rozsvíceným umělým osvětlením. Obě simulované situace však znesnadňovaly sledování videa a zásadním způsobem snižovaly viditelnost 3D efektu ve scénách.



Obrázek 6.4 Brýle s polarizačními filtry.

6.1 Předzpracování sekvencí

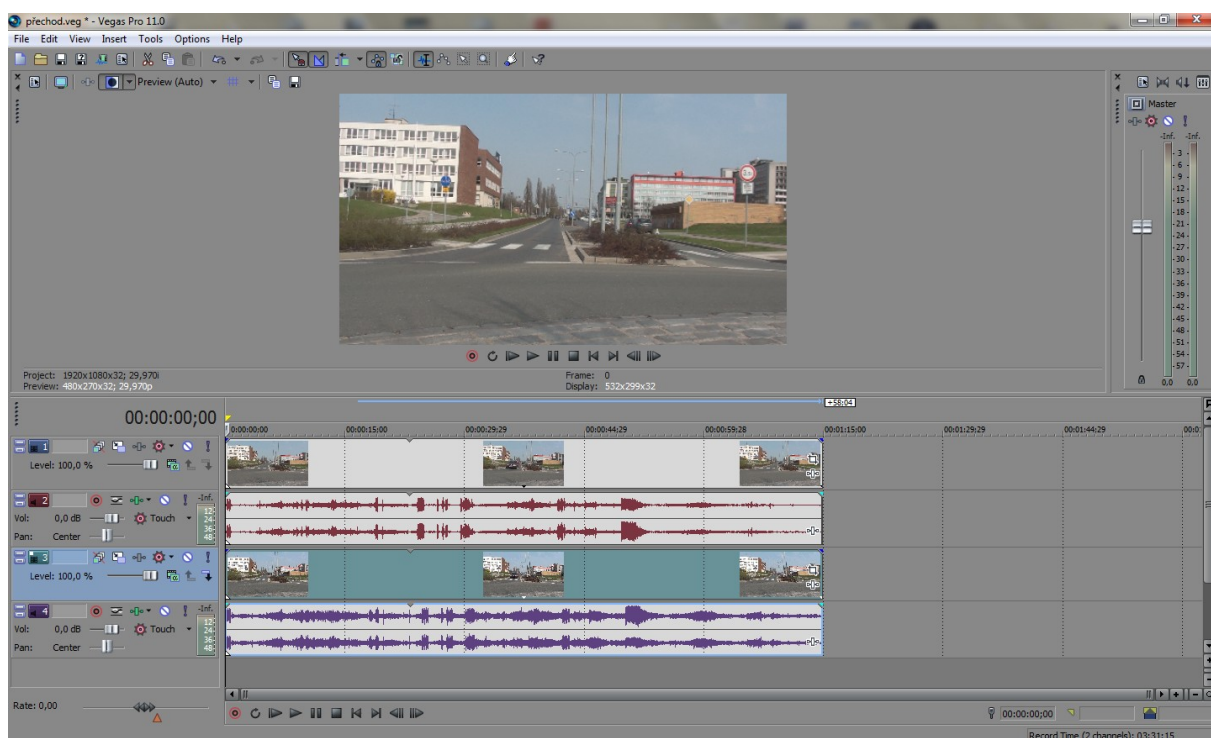
Softwarové nástroje použité k tvorbě videa zahrnovali program SONY PMB 5.8, což je správce dat určený pro digitální kamery a fotoaparáty značky SONY. Do tohoto správce byla importována data přímo z digitálních kamer použitých při záznamu scén. Program videozáznamy uložil ve specifickém formátu .m2ts.



Obrázek 6.5 Správce dat SONY PMB.

Dalším použitým softwarovým nástrojem byl program Vegas Pro 11.0 Copyright 2011 Sony Creative Software Inc. Jedná se o program pro práci s videem. V tomto programu bylo provedeno sestřihání a slícování videí z levé a pravé kamery určené pro levé a pravé oko. Nalezení počátečního bodu pro stříh obou videí bylo možno díky vysokofrekvenčnímu zvukovému signálu, jímž bylo natáčení zahájeno. Signál byl zprostředkován mobilním telefonem. Program pracoval přímo s videoformátem .m2ts a exportoval videosekvence do formátu .avi PAL DV. Nejdříve jsem měl snahu exportovat videa ve formátu .avi PAL DV

Widescreen, nicméně program Vegas Pro při těchto pokusech vždy „zamrzl“ a nebylo možné export videa dokončit. Mimo formátu .avi nabízí Vegas Pro export do dalších třech desítek formátů. Exportovaná videa ve formátu .avi již sloužila jako vstup pro výše zmíněný Stereoscopic Player.



Obrázek 6.6 *Nástroj pro práci s videem Vegas Pro 11.0.*

7. Vyhodnocení experimentu a diskuze výsledků

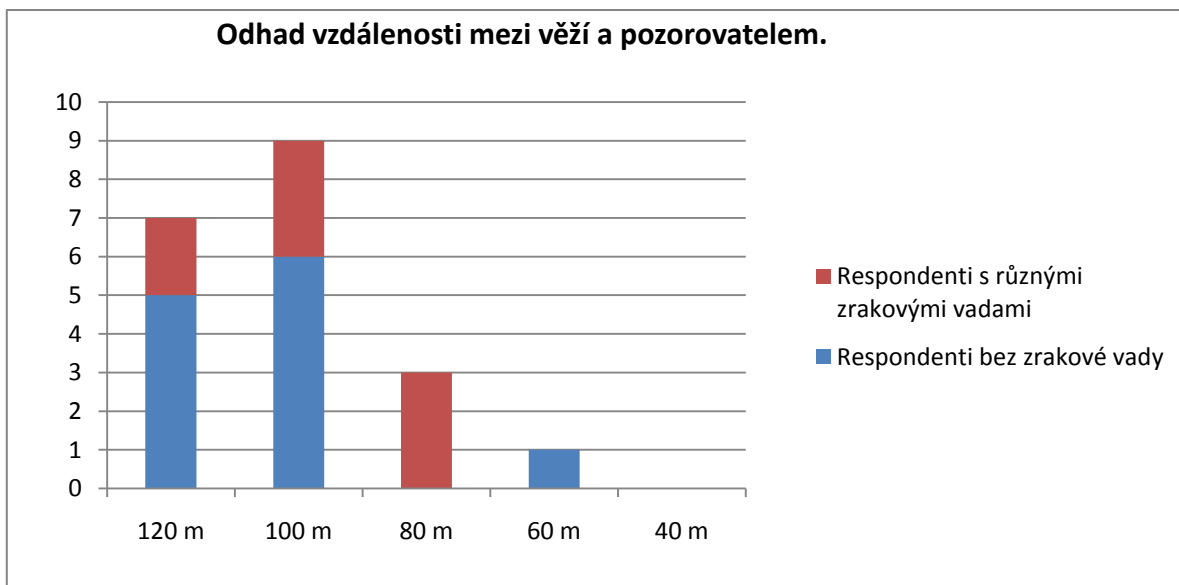
Nasnímané videosekvence s dopravními situacemi byly prezentovány skupině 20 diváků za podmínek, které jsou rozebrány v předchozí kapitole. Respondentům byl před promítnutím scén rozdán dotazník (Příloha A a Příloha B), se kterým byli před samotným promítáním řádně seznámeni. Následně jim byly promítnuty příslušné scény. Po každé jednotlivé scéně měli respondenti čas zodpovědět otázky týkající se příslušné scény a připravit se na projekci scény následující. Experimentální skupina čítala 4 diváky, pro které bylo toto promítání jedním z prvních kontaktů s 3D obrazem, 15 diváků, kteří se setkávají s 3D obrazem občas (nejčastěji ve formě 3D filmů v kině) a 1 divák, který se setkává s 3D technologiemi pravidelně (3D filmy a 3D počítačové hry). Mezi respondenty bylo 12 jedinců se zcela zdravým zrakem a 8 jedinců s nějakým druhem zrakové vady (nejčastěji se jednalo o krátkozrakost či dalekozrakost korigovanou dioptrickými brýlemi či čočkami). Věkové rozpětí diváků bylo 20 až 25 let.

7.1 Vyhodnocení specifických parametrů scény „Zelená brána“

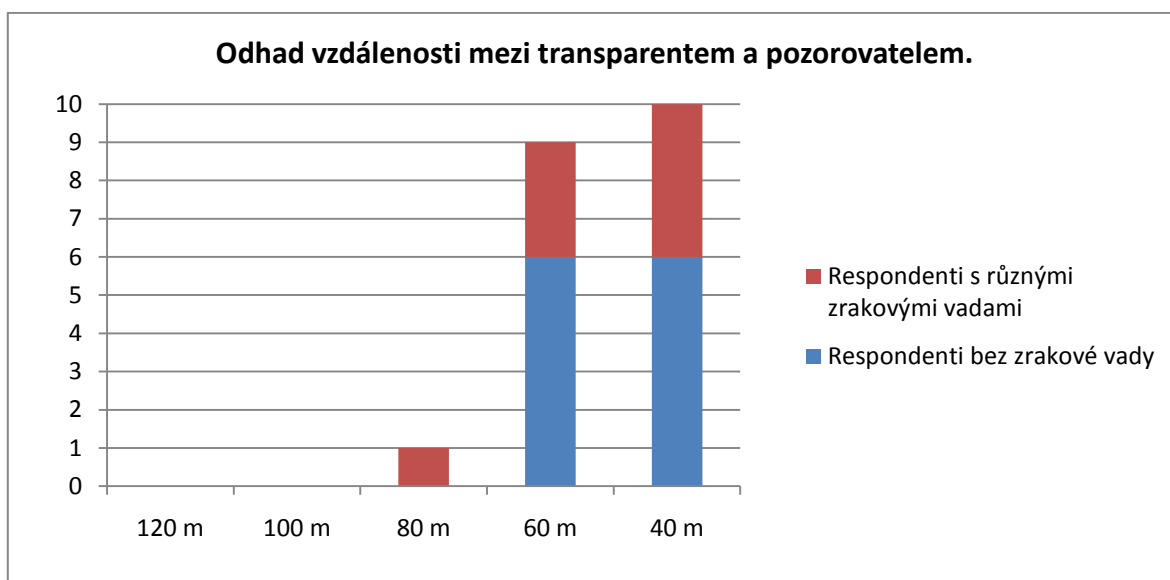
V první scéně se zjišťovala schopnost odhadu vzdáleností, k čemuž měly pomoci dynamické objekty, které měly pomoci utvořit představu o vzájemném postavení objektů scény. Odhadovala se vzdálenost pozorovatele od věže v pozadí scény a vzdálenost pozorovatele od transparentu asi ve středu vzdálenosti k věži. Před věží a kolem transparentu přejížděli trolejbusy, cyklisté a proudili chodci. Odhad vzdálenosti mezi pozorovatelem a věží dopadl o něco hůře než odhad vzdálenosti mezi pozorovatelem a transparentem.

Správnou vzdálenost mezi věží a pozorovatelem (100 m) odhadlo pouze 45 % respondentů. 35 % respondentů odhadovalo věž ještě o 20 metrů dále, zatímco 15 % respondentů ji odhadovalo o 20 metrů blíže. Jen 5 % respondentů (tj. jeden jediný respondent) se odchýlil od správného odhadu o 40 metrů délky.

Správnou vzdálenost mezi transparentem a pozorovatelem (40 m) odhadlo 50 % respondentů, což je jen nepatrně lepší výsledek než u odhadu vzdálenosti věže. 45 % respondentů však odhadovalo vzdálenost jen o 20 metrů větší, čímž byli velmi blízko pravdivému odhadu. Jen 5 % respondentů (tj. jeden jediný respondent) se odchýlil od správného odhadu o 40 metrů délky. Pro vylepšení dotazníku by bylo pravděpodobně dobré přidat ještě jednu možnost, aby správná hodnota nebyla zároveň nejnižší hodnota a divák tak měl možnost se odchýlit i odhadem menší vzdálenosti, než je vzdálenost korektní.



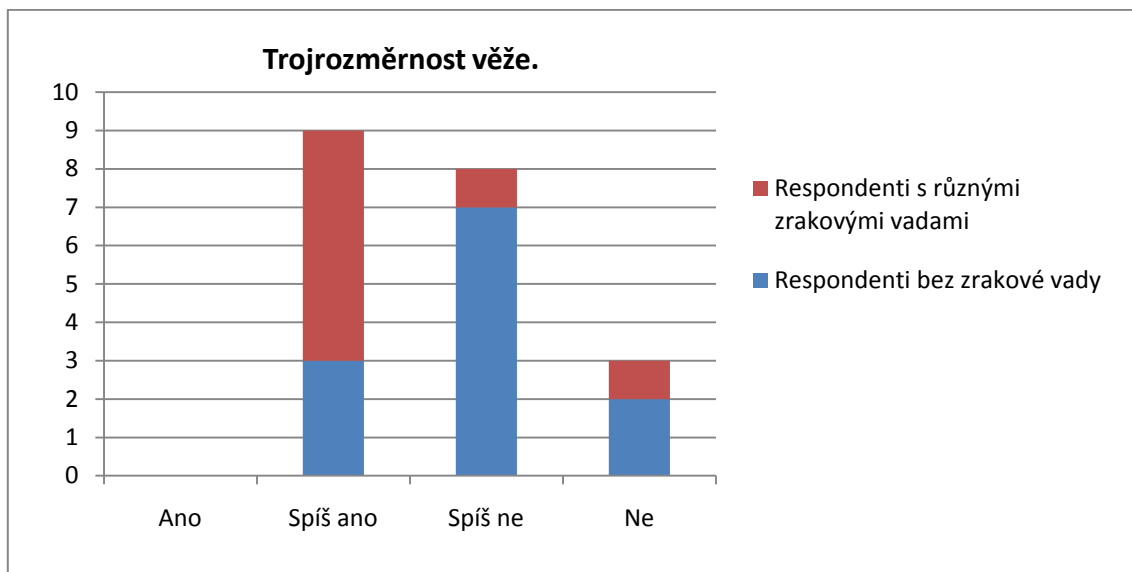
Graf 7.1 Odhad vzdálenosti mezi věží a pozorovatelem v první scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.



Graf 7.2 Odhad vzdálenosti mezi transparentem a pozorovatelem v první scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

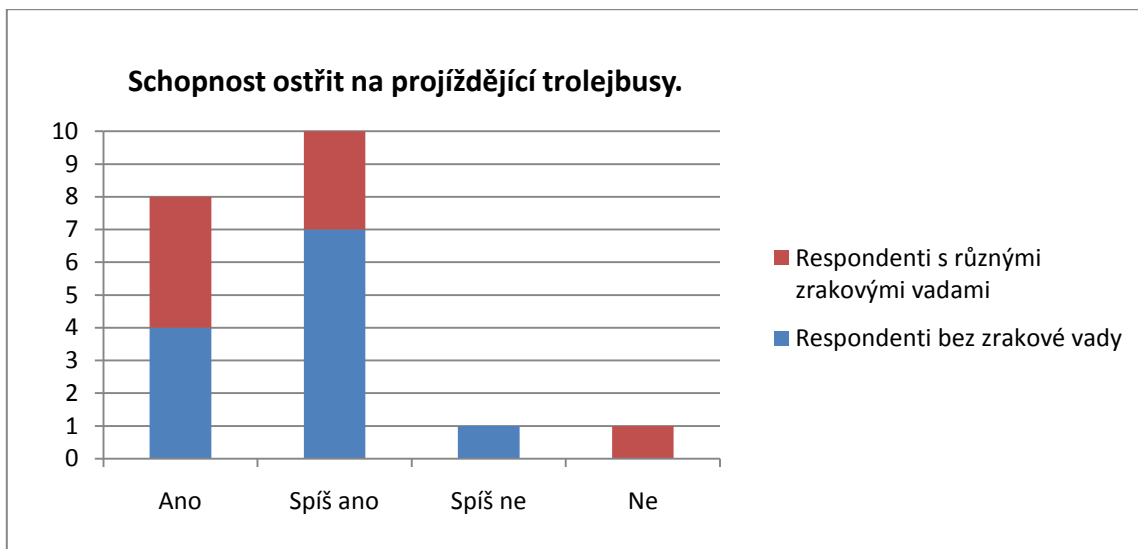
Dalším zjišťovaným parametrem byla trojrozměrnost věže, tedy zda se věž jeví pozorovatelům prostorově. Stereobáze byla nastavena tak, aby se věž nacházela na samé hranici prostorového vjemu (v návaznosti na zvolenou stereobázi se od určité vzdálenosti prostorový jev již nevyskytuje). To znamená, že diváci s citlivějším binokulárním viděním by věž měli ještě vnímat trojrozměrně, zatímco diváci se slabším binokulárním viděním nikoliv. Ostré „Ano“ nezvolil ani jeden respondent, 45 % respondentů však připadala věž více či méně prostorová. Nadpoloviční většině diváků však věž připadala ploše, nikoliv trojrozměrně. Při zvýšení stereobáze by bylo možné postupně zprostředkovat prostorový vjem i dalším divákům a postupně tak odstupňovat diváky dle citlivosti jejich binokulárního

vidění. Zajímavé je, že trojrozměrnost věže v této scéně lépe vnímali diváci s nějakým druhem zrakové vady nežli zdraví respondenti.



Graf 7.3 *Trojrozměrnost věže v první scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.*

Posledním specifickým parametrem byla schopnost ostření na projíždějící trolejbusy. V této scéně nemělo s ostřením problém 90 % respondentů. To vypovídá o relativní bezproblémovosti scéně. Ostré „Ne“ zvolil divák se zrakovou vadou. Je diskutabilní, zda právě zraková vada měla v tomto případě nějaký vliv.

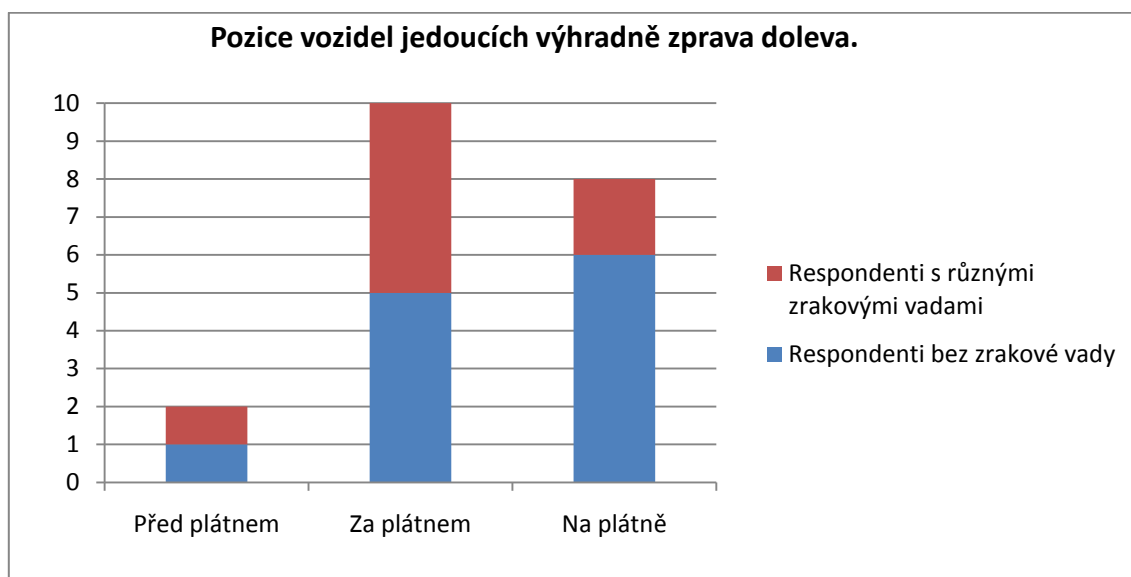


Graf 7.4 *Schopnost ostřit na projíždějící trolejbusy v první scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.*

Pokud respondent dokázal správně odpovědět na všechny specifické parametry, lze ho považovat za diváka s relativně citlivým binokulárním viděním a vnímáním prostoru. Rozdíly mezi skupinou diváků se zrakovou vadou a bez zrakové vady se projevily jen u vnímání trojrozměrnosti na hraniční vzdálenosti samotného prostorového jevu (viz. Graf 7.3), v ostatních případech jsou poměry vyrovnané.

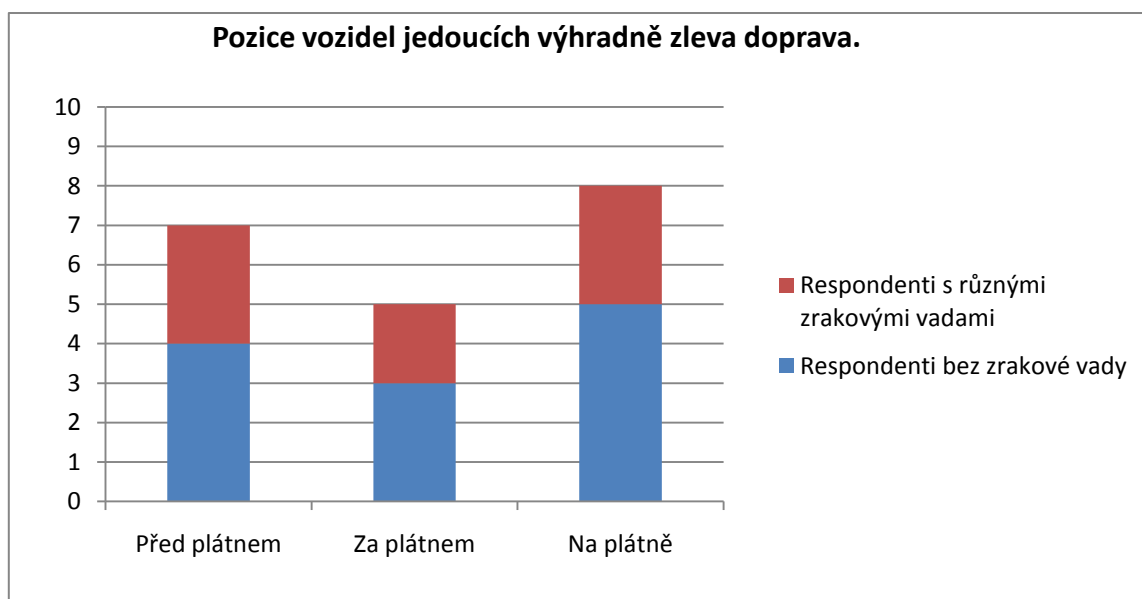
7.2 Vyhodnocení specifických parametrů scény „Křižovatka“

Druhá scéna pracovně pojmenovaná „Křižovatka“ by měla být pro pozorovatele nejnáročnější. Dynamické objekty jsou zde snímány z poměrně malé vzdálenosti vzhledem k jejich velikost, což vedlo ke snížení stereobáze. Snížení velikosti stereobáze zákonitě vedlo ke snížení dojmu trojrozměrnosti a hloubky obrazu. Respondenti byli dotazováni, zda jsou schopni vnímat dynamické objekty v jejich správné pozici vůči plátnu (před plátnem, na plátně, za plátnem). 50 % respondentů správně označilo auta jedoucí po horizontální ose zprava doleva jako nacházející se za plátnem. Celých 40 % respondentů označilo tato auta jako nacházející se na plátně. 10 % respondentů (tj. dva respondenti) označilo automobily jako nacházející se před plátnem.



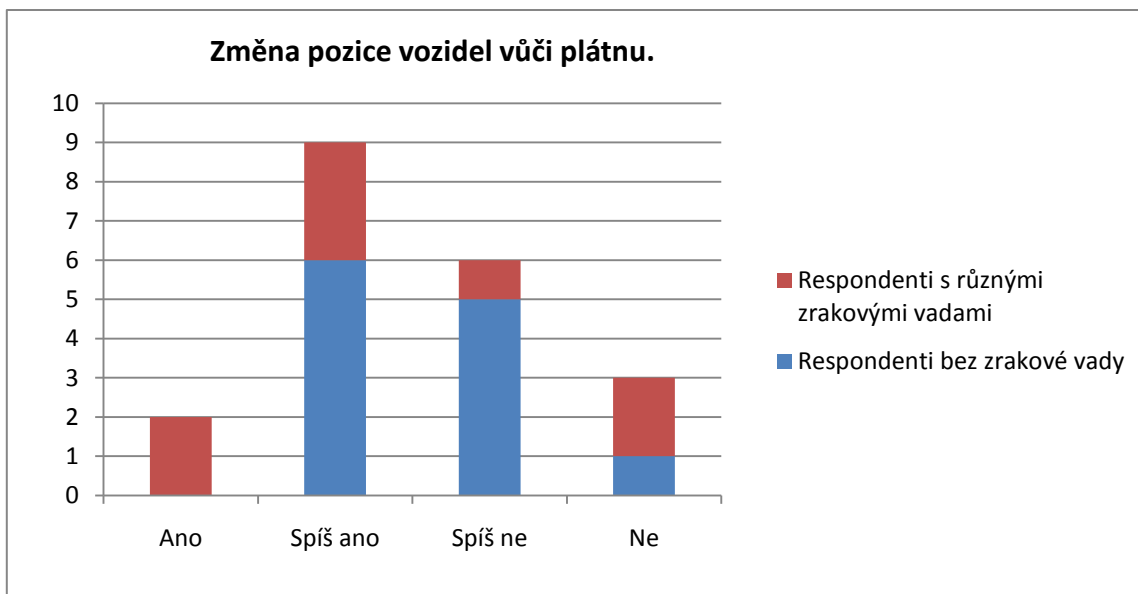
Graf 7.5 Pozice vozidel jedoucích zprava doleva ve druhé scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

Respondenti byli dotazováni také na automobily jedoucí blíže k pozorovateli a jejich pozici vůči plátnu. Podle očekávání se toto určení ukázalo být ještě náročnější než odhad pozice vozidel ve vzdálenějším pruhu. Jen 35 % respondentů správně určilo automobily jako nacházející se před plátnem. Celých 40 % respondentů vnímalo automobily jako nacházející se na plátně a 25 % respondentů je vnímalo dokonce za plátnem. Toto převážení „nesprávných“ odpovědí lze však vysvětlit opět nastavením stereobáze. Bylo velmi náročné zvolit stereobázi tak, aby se správně a ostře vyčlenil prostor s negativní a pozitivní parallaxou. Toto je jediná scéna, ve které jsem se o to pokusil. Ve všech ostatních scénách jsem negativní parallaxu nepoužil, jelikož se v nich nenacházely žádné blízké dynamické objekty a pozadí se nacházelo v relativně velké vzdálenosti (především u třetí scény). V takovém případě i literatura vybízí k přehodnocení použití negativní paraxly. V této scéně však automobily přejíždějí přímo před pozorovatelem, takže jsem se snažil vytvořit prostor s negativní parallaxou, zahrnující silniční pruh náležící automobilů jedoucím zleva doprava, tedy nejbližší pozorovateli. Opět lze hovořit o individuální citlivosti binokulárního vidění a vnímání prostoru, jako tomu bylo u vnímání hloubky věže v první scéně. Tedy jen diváci s citlivějším binokulárním viděním jsou schopni tuto náročně členěnou scénu správně sledovat a následně správně určit rámce před a za plátnem. Pro ostatní pozorovatele může být scéna matoucí a to co vidí, pro ně nemusí být zcela jednoznačné.



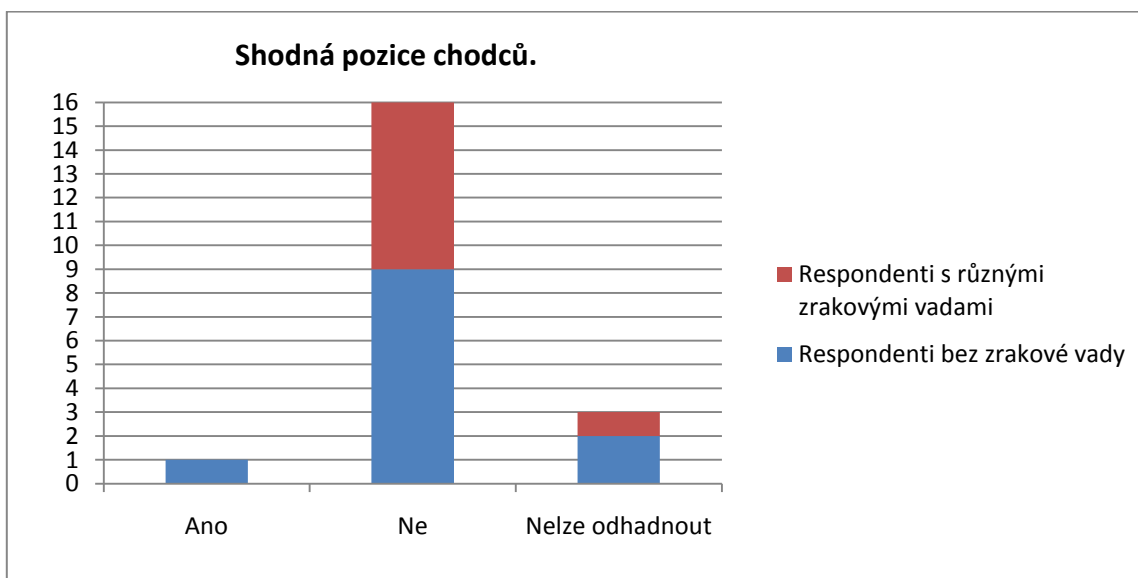
Graf 7.6 Pozice vozidel jedoucích zleva doprava ve druhé scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

S výše komentovanými výsledky samozřejmě souvisí i třetí dotaz spjatý s druhou scénou a to zda vozidla v přímém směru mění svoji pozici vůči plátnu (tedy zda vystupují z rámce za plátnem a dostávají se do prostoru před plátno a naopak). Jen 10 % respondentů (tj. dva diváci) si touto změnou pozice bylo zcela jisto. 45 % respondentů (tj. devět diváků) zvolilo možnost „Spíše ano“, tedy přiklání se ke změně pozice vozidel vůči plátnu s jistým váháním. Možnost „Spíš ne“ a „Ne“ zvolilo úhrnem 45 % respondentů. Z toho vyplývá, že více než polovina respondentů byla schopna zaznamenat změnu pozice vozidel vůči plátnu. S vysvětlením se odvolávám na předchozí odstavec této podkapitoly. Scéna byla nejnáročnější na sledování, dynamické objekty se pohybovaly relativně vysokou rychlostí a poměrně blízko pozorovateli. Zároveň byla zvolena nižší stereobáze. To vše vedlo k tomu, že „správné“ odpovědi ve druhé scéně nepřevažovali zcela přesvědčivě.



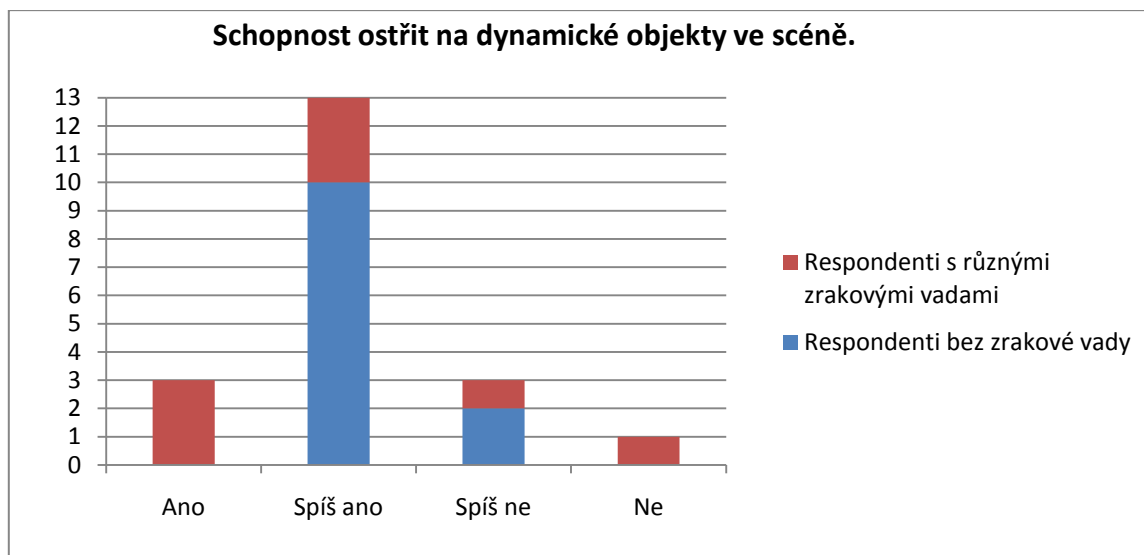
Graf 7.7 Změna pozice vozidel vůči plátnu ve druhé scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

Doplňkovou otázkou na odhad vzdáleností a vzdálenostních vztahů ve scéně bylo zjišťování vzájemné pozice chodců, čekající na různých přechodech, vycházejících však ze stejného „ostrůvku“ ve vozovce. U této otázky byl výsledek jednoznačný, 80 % respondentů odpovědělo správně, že chodci nestojí ve stejné vzdálenosti od pozorovatele. Jen 5 % respondentů (tj. jeden divák) zhodnotilo vzdálenost obou skupin od pozorovatele jako stejnou. 15 % respondentů odpovědělo, že ze scény, tak jak byla promítána, nelze tuto informaci odhadnout.



Graf 7.8 Shodná vzdálenost chodců od pozorovatele ve druhé scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

Schopnost ostřit na dynamické objekty ve druhé scéně byla překvapivě velmi dobrá a to i přes vyšší rychlost dynamických objektů a i přes to, že některé objekty se nacházely velmi blízko pozorovateli. 80 % respondentů označilo na otázku, zda pro ně bylo snadné ostřit na dynamické objekty, odpověď „Ano“ nebo „Spíše ano“, přičemž odpověď „Spíše ano“ je zásadně převažující. To vykazuje určitou míru váhání, která je ovšem pochopitelná vzhledem k náročnosti scény.



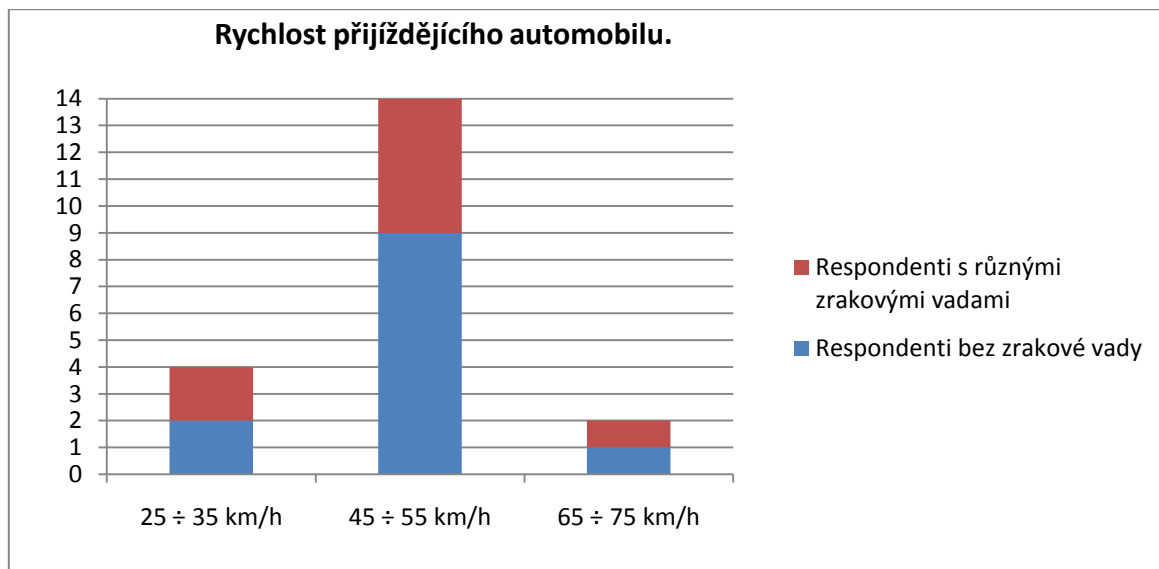
Graf 7.9 *Schopnost ostřit na dynamické objekty ve druhé scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.*

První i druhá scéna jasně ukázala, že je nutné vnímat binokulární vidění jako zcela individuální záležitost. Stejně jako u ostatních smyslů, ani u zraku nenajdeme dva jedince, kteří by měli zcela totožný dojem z téhož vjemu. Jako má někdo vytříbenější sluch nebo čich, jsou tací, kteří mají citlivější binokulární vidění a vnímání prostoru než ostatní. To se projeví především při sledování takovýchto pro diváka náročnějších scén. Náročnost scén je dána mimo jiné menší stereobází, užším pozorovacím prostorem, vyšším počtem rušivých prvků (chodci), relativně malou vzdáleností mezi pozorovatelem a dynamickými objekty, poměrně vysokou rychlostí pohybu dynamických objektů a změnou pozice dynamických objektů vůči plátnu. Je pravděpodobné, že svůj díl na nejednoznačnosti prostorových vztahů pro diváky, mohl mít efekt paradoxního stereoskopického okna. Méně potom výskyt ghostingu, který se však dotazníkovou metodou velmi špatně sleduje.

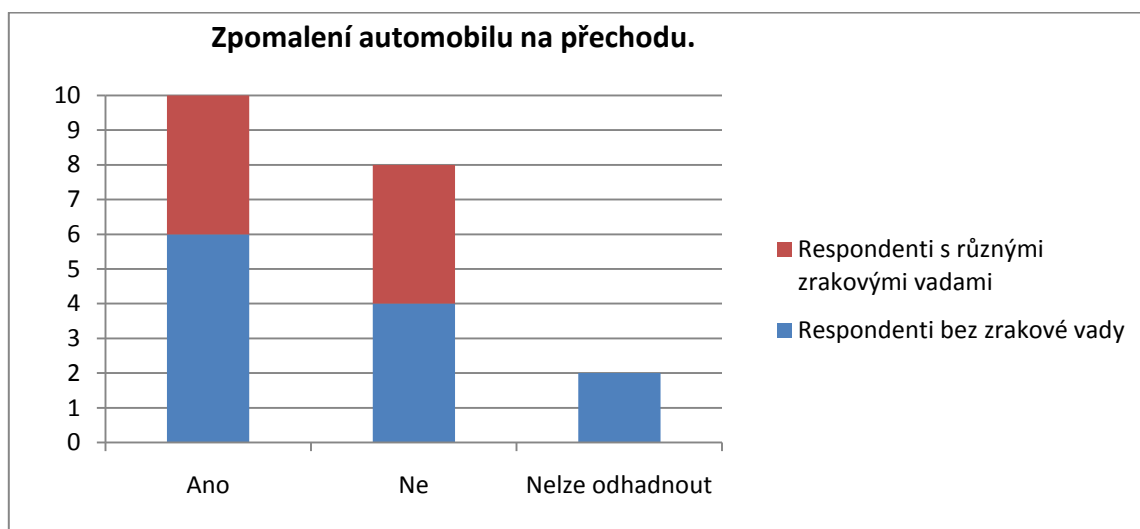
7.3 Vyhodnocení specifických parametrů scény „Příjezdová cesta“

Třetí scéna pracovní nazvaná „Příjezdová cesta“ je zaměřena na odhad rychlosti pohybujícího se objektu a na odhad případné změny rychlosti (automobil zabrzdil či nezabrzdil). Jedná se o scénu se střední hodnotou stereobáze (100 mm) vzhledem k ostatním dvěma scénám. Nejvzdálenější bod scény je nastaven v nekonečno, jelikož scéna nemá na horizontu žádnou dominantu, která je zohledněna dotazníkem. Vzhledem ke vzdálenostem objektů ve scéně byla též vypuštěna negativní paralaxa, divák tak není rušen přechodem pohybujících se objektů mezi rámcem za a před plátnem. Anketa ukázala, že celých 70 % respondentů bylo schopno správně odhadnout rychlost příjezdujícího automobilu a to i přes to, že k nejednoznačnosti přispěla dlouhá mírně se svažující příjezdová rovina, která by

sváděla k odhadu vyšší rychlosti i následné přiblížení ke kruhovému objezdu, což by naopak svádělo k odhadu nižší rychlosti. To též souviselo s dalším dotazem, zda automobil před přechodem zpomalil. Automobil skutečně před přechodem zpomalil, ale jen velmi mírně, tak aby to při prvním pohledu nebylo zcela očividné. Tím pádem se museli diváci dobře soustředit. Tato scéna jim byla puštěna opakovaně. Přesto jen polovina diváků odhadla správně, že automobil zpomalil. 10 % respondentů (tj. 2 diváci) odpověděli, že to není možné z videa určit.

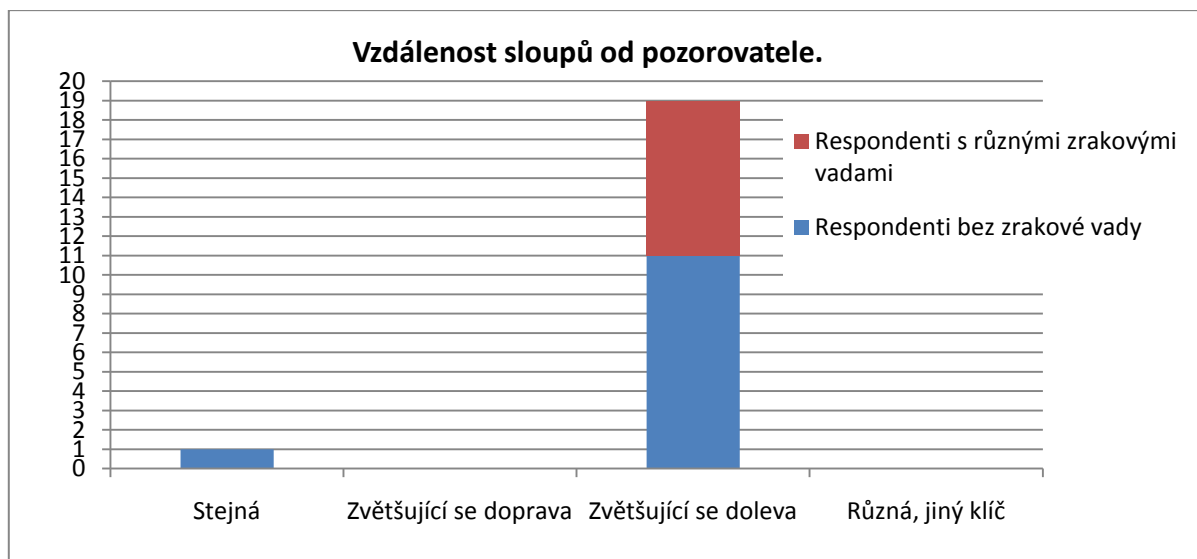


Graf 7.10 Rychlost přijíždějícího automobilu ve třetí scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.



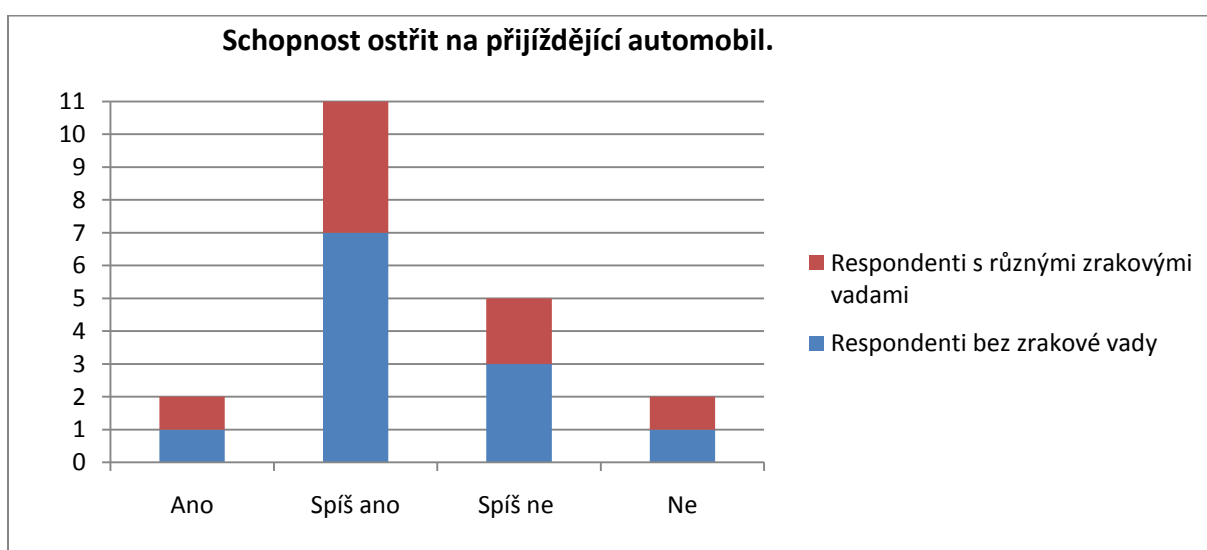
Graf 7.11 Zpomalení automobilu na přechodu ve třetí scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

Dále dotazník zkoumal, zda budou diváci schopni rozlišit rozdílnou vzdálenost sloupů veřejného osvětlení od pozorovatele. Sloupky se nacházejí na „ostrůvku“, který odděluje jízdní pruhy. Při obyčejné 2D projekci se sloupky jeví v jedné řadě a tudíž stejně vzdálené od pozorovatele. Až 3D projekce jasně odkrývá skutečné postavení sloupů. V tomto bodě byli respondenti téměř neomylní a volili, že vzdálenost sloupků od pozorovatele narůstá směrem doleva.



Graf 7.12 Vzdálenost sloupů od pozorovatele ve třetí scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

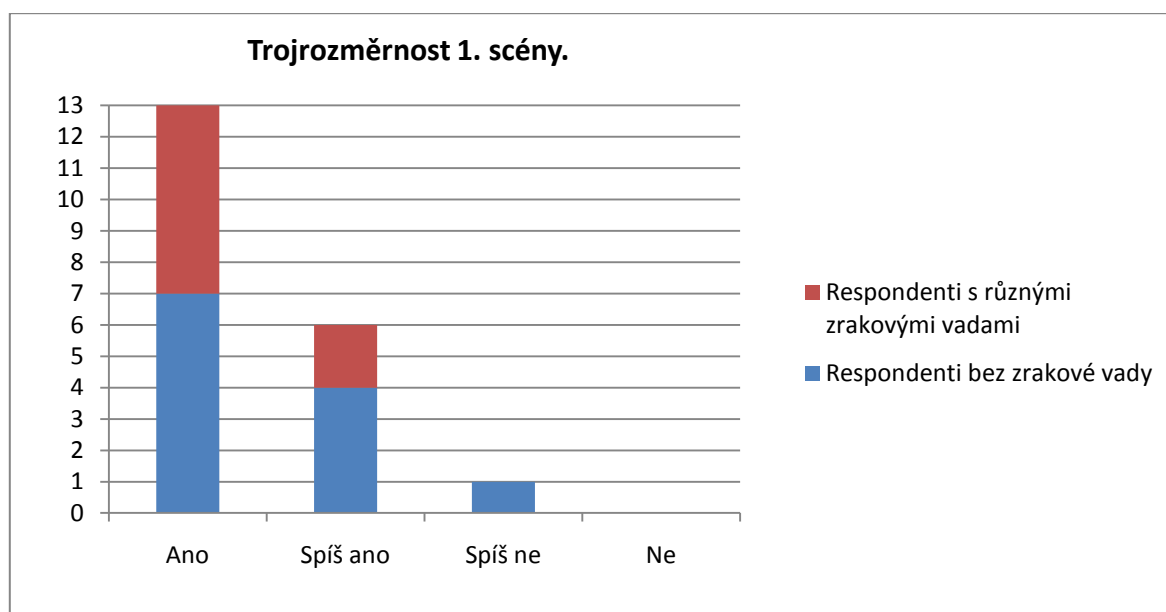
Schopnost ostřit na přijíždějící automobil byla o něco nižší než například u druhé scény, což je překvapivé. Scéna obsahuje minimum rušivých prvků, odehrává se v otevřeném prostoru a pozadí je bez dominanty. Pozorovatel má dostatečný odstup od pozorovaných objektů i dostatek času na ostření. Na druhou stranu ve scéně chybí kontrastní objekty a automobil přijíždí v přímém směru, což by mohlo být důvodem problémů s ostřením.



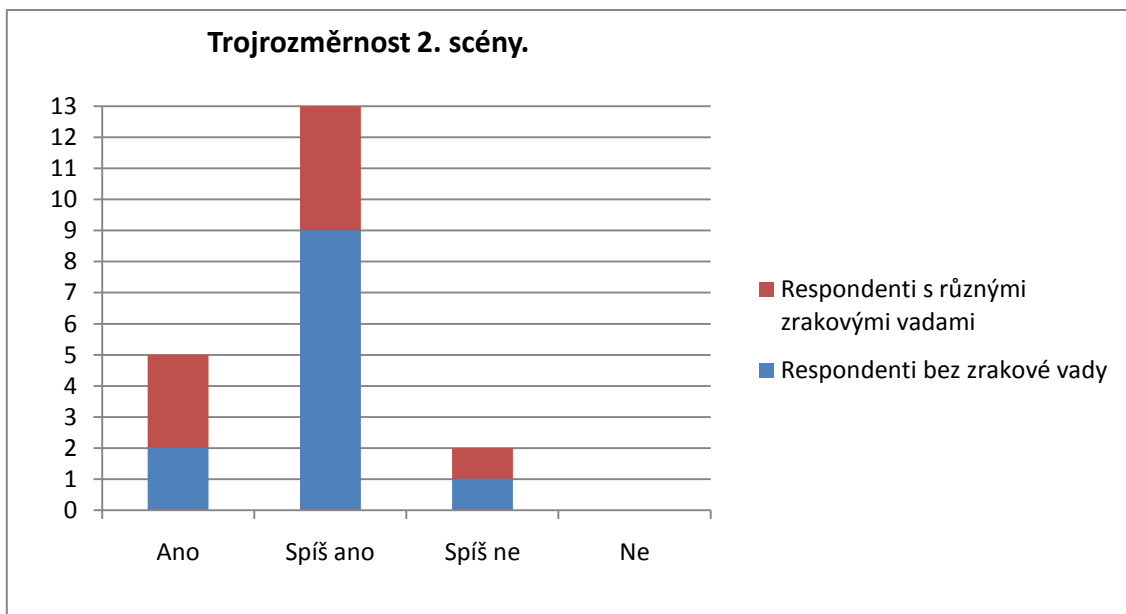
Graf 7.13 Schopnost ostřit na přijíždějící automobil ve třetí scéně. Osa y reprezentuje počet respondentů.

7.4 Vyhodnocení trojrozměrnosti scén

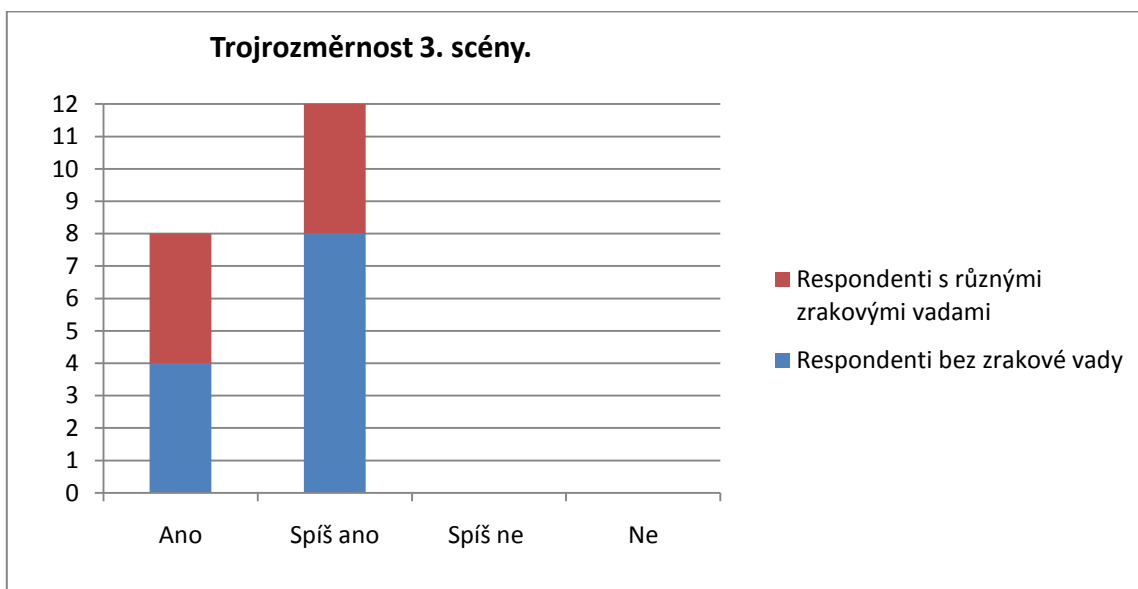
Co se týče celkového prostorového dojmu ze scény, dopadla nejlépe scéna první pracovně nazvaná „Zelená brána“. To potvrzuje teorii, která říká, že lepší dojem hloubky poskytuje video natáčené s větší stereobází. Scéna „Zelená brána“ byla natáčena s největších stereobází z prezentovaných scén (123 mm). Naopak nejhůře z prezentovaných scén dopadla scéna pracovně nazvaná „Křižovatka“, která byla naopak natáčena s nejmenší stereobází (80 mm). Je pravděpodobné, že prostorovému dojmu ze scény napomáhá též členitost pozadí resp. členitost scény jako celku, proto není až tak velký rozdíl mezi výsledky druhé a třetí scény, přičemž druhá scéna má členité pozadí, ale nižší použitou stereobázi, zatímco u třetí scény je to naopak. Opět nutno říci, že kvůli poměrně malé experimentální skupině nejsou rozdíly ve výsledcích až tak propastné. To, že někteří respondenti označili možnost „Spíše ne“ lze vysvětlit tím, že otázka se ptala na prostorový dojem ze scény jako celku. Někteří respondenti pravděpodobně shledali některé objekty ve scéně nebo části scény jako plošší spíše nežli trojrozměrné. Co se týče rozdílu mezi respondenty se zrakovou vadou a bez zrakové vady, nevykazují výsledky žádné schéma. Kompletní výsledky lze vidět na grafech 7.14-16.



Graf 7.14 Trojrozměrnost 1. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.



Graf 7.15 *Trojrozměrnost 2. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.*



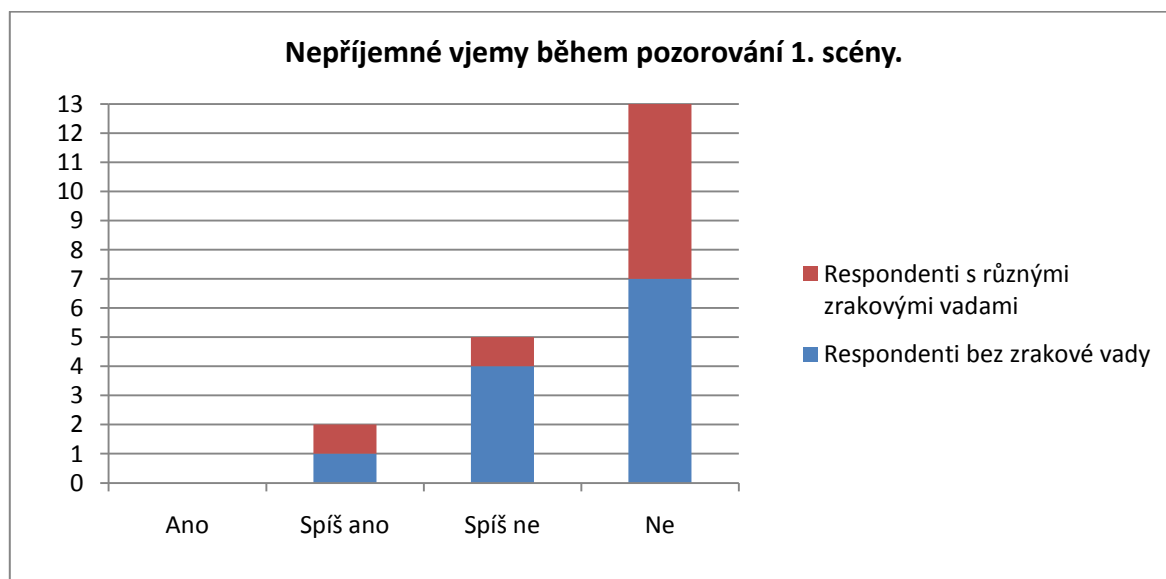
Graf 7.16 *Trojrozměrnost 3. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.*

7.5 Srovnání scén z hlediska vyskytujících se obtíží při sledování

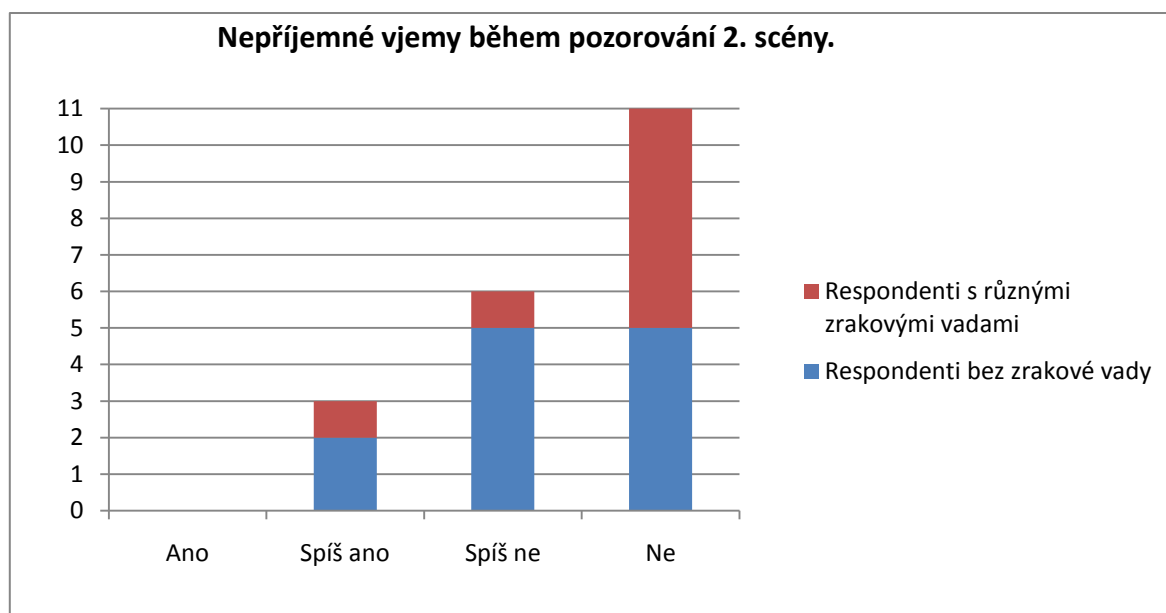
Ani jeden z respondentů v dotazníku neoznačil u dotazu, zda pro něj bylo nepříjemné či obtížné sledovat scénu ostrou možnost „Ano“. Pětkrát respondenti označili možnost „Spíše ano“, z čehož usuzuji, že respondenti byli schopni pozorovat scénu jen s mírnými obtížemi, popř. že se obtíže objevili až po nějakém čase promítání. To vytváří prostor pro zkoumání, jak dlouhé video již způsobuje obtíže, jak se s rostoucím časem obtíže stupňují, popř. kde je hranice, za kterou již respondent není schopen dále pokračovat ve sledování videa. Zajímavé však je, že nejčastěji respondenti vykazovali potíže při projekci u videa nejkratšího. Dalším zajímavým faktem je, že výskyt obtíží nekoresponduje se zvětšující se stereobází použitou pro snímání scén. To si vysvětlují tím, že použité rozmezí stereobáze (80 ÷ 123 mm), lze stále ještě považovat za rozmezí s relativně malými hodnotami

stereobáze. Mnohé články naznačují, že při profesionálním natáčení např. 3D filmů, jsou často používány úspěšně mnohem větší stereobáze. Navíc se mi díky kalkulacím v programu StereoBrain podařilo udržet paralaxu na komfortní hodnotě 3 %, což je podle mého názoru pro výskyt obtíží při sledování scén zásadní.

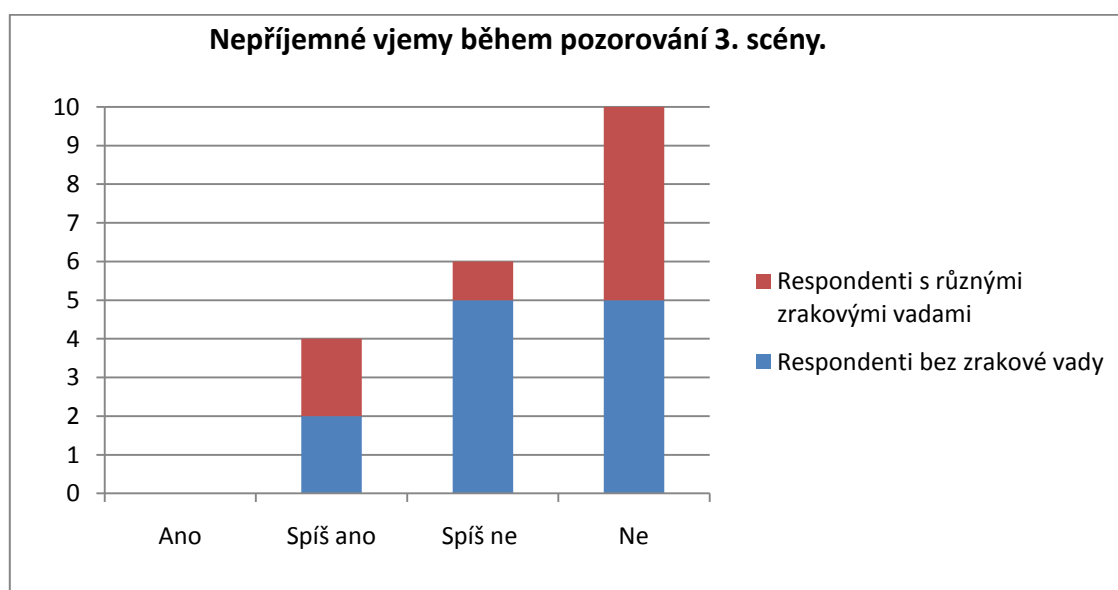
Co se týče výsledků získaných z dotazníků, konkrétně z otázky „Je pro Vás nepříjemné či obtížné scénu sledovat?“, u první scény s pracovním názvem „Zelená brána“ respondenti označili dvakrát možnost „Spíše ano“ celkem dvakrát. Zde je nutno podotknout, že jde o scénu s největší zvolenou stereobází (123 mm). U druhé scény pracovně označené „Křižovatka“ respondenti označili možnost „Spíše ano“ celkem třikrát. Druhá scéna byla naopak natáčena s nejmenší stereobází (80 mm). U druhé scény se relativně velké dynamické objekty pohybovali v nejmenší vzdálenosti od pozorovatele, proto jsem očekával nejčastější potíže právě u druhé scény, což se naplnilo jen částečně. U třetí scény, pracovně označené „Příjezdová cesta“, respondenti označili možnost „Spíše ano“ celkem čtyřikrát. Jde o scénu s prostřední hodnotou stereobáze (100 mm). Tento výsledek je překvapením, neboť dynamické objekty mají odstup od pozorovatele, scéna je relativně „čistá“ co se rušivých elementů týče a navíc byla filmována v otevřeném prostoru, na rozdíl od předchozích dvou scén. Dva respondenti označili možnost „Spíše ano“ u všech třech pozorovaných videí. Další tři respondenti označili možnost „Spíše ano“ jen u jednoho ze sledovaných videí. Možnost „Spíše ne“ byla volena těmi, kteří nezažívali při sledování videí jakékoliv obtíže, nicméně jejich dojem z projekce nebyl stoprocentně pozitivní. Kompletní výsledky lze vidět na grafech 7.17-19.



Graf 7.17 Výskyt nepříjemných vjemů během pozorování 1. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.



Graf 7.18 Výskyt nepříjemných vjemů během pozorování 2. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.



Graf 7.19 Výskyt nepříjemných vjemů během pozorování 3. scény. Osa y reprezentuje počet respondentů.

Co se týče konkrétních obtíží, nejčastěji, tedy devětkrát, respondenti označili možnost „Bolest očí“, shodně třikrát označili možnosti „Bolest hlavy“ a „Neschopnost ostřit na objekty ve scéně“. Ani jednou nebyla označena možnost „Závrať“. Lze říci, že tyto výsledky odpovídají očekávání. Bolest očí a hlavy jsou v literatuře a dalších zdrojích (např. i provozovateli 3D kinosálů) nejčastěji zmiňované obtíže, stejně tak obtíže s ostřením na obraz. Výskyt závratí by se dal považovat za pokročilou obtíž, neslučitelnou s dalším sledováním videí.

Zajímavé je, že mezi těmi respondenty, kteří se setkali při sledování videí s nějakými obtížemi, není ani jeden ze čtyř respondentů, kteří v dotazníku uvedli, že jde o jednu z jejich prvních zkušeností s 3D obrazem. V předchozích kapitolách bylo řečeno, že obtíže při sledování 3D videí mohou často zažívat „nováčci“ ve světě 3D filmů. V případě mojí experimentální skupiny se toto tvrzení nepotvrdilo. Naopak mezi respondenty s obtížemi je onen jediný dotazovaný, který uvedl, že se setkává s 3D technologiemi na pravidelné bázi. Co se týče rozložení obtíží mezi diváky s nějakou zrakovou vadou a bez zrakové vady, je skóre v podstatě vyrovnané – 3 diváci s obtížemi bez zrakové vady a 2 diváci s obtížemi s nějakou zrakovou vadou.

Na závěr je nutno podotknout, že experimentální skupina čítající 20 respondentů, je bohužel dosti malá pro vyvozování nějakých zásadních závěrů. Jde spíše o informativní průzkum v menší skupině pozorovatelů. Jen těžko lze v takto početné skupině získat schémata oddělující diváky se zrakovou vadou od těch bez zrakové vady apod. Co se dle mého názoru podařilo, bylo oddělit skrze některé pozorované parametry diváky s citlivějším a méně citlivým binokulárním viděním, nebo chcete-li se silnějším a slabším vnímáním hloubky prostoru.

7.6 Poznámky respondentů

V závěru dotazníku byl dán respondentům prostor k vyjádření se na téma shlédnuté 3D projekce. Často se opakující byli připomínky k dynamickým objektům, pohybujícím se nejbližší k pozorovateli. Ty diváci považovali za velmi těžko sledovatelné. Dále diváci často uváděli, že jim ve scénách chyběly objekty „vystupující před plátno“. To vychází z toho, že jsem minimalizoval použití negativní paralaxy, jak již bylo zmíněno výše. Vyhnout se v podobných situacích negativní paralaxe radí většina literárních zdrojů, které jsem v této práci použil. Podrobnější rozbor lze nalézt v předchozích kapitolách. Z technických připomínek se vyskytla jen jedna a to od diváků s dioptrickými brýlemi. Brýle s polarizačními filtry se respondentům s dioptrickými brýlemi hůře nasazovaly a museli si je během projekce přidržovat.

Závěr

Jen stěží se hledá literární zdroj, který by přímo spojoval vyšetření binokulárního vidění či úroveň prostorového vnímání jedince s 3D projekcí dynamických scén, přesto je možné po zevrubném studiu problematiky a veškerých komponent binokulárního vidění simulovat takové scény, které nám pomohou odhalit citlivost binokulárního vidění jedince a jeho schopnost vnímat prostorové vztahy ve světě kolem nás. Samozřejmě nejde o natolik sofistikovanou metodu, abychom byli schopni jedince ostře kategorizovat, tak jak jsme schopni pomocí optotypů určit ostrost jedincova zraku nebo pomocí Ishiharových obrazců zjistit schopnost jedince vnímat jednotlivé barvy. Nicméně po vyhodnocení dotazníků lze říci, že metoda má svoji výpovědní hodnotu a oddělila jedince s citlivějším a méně citlivým binokulárním viděním a vnímáním prostoru. Pro konkrétnější a preciznější diagnostiku by bylo nutné aplikovat metodu na mnohem větší skupinu respondentů a ustanovit tak jisté standardy, podle kterých by bylo možné zavést nějakou stupnici citlivosti binokulárního vidění. Tyto standardy by se samozřejmě museli týkat i ustálení kontrolních scén promítaných diváků. Tyto scény by měli zahrnovat jak monokulární tak binokulární vodítka a pravděpodobně by bylo třeba metodu kombinovat s konvenčním vyšetřením binokulárního vidění, které jsem zmínil v jedné z úvodních kapitol.

Mnou nasnímaná videa byla většinou pro diváky sledovatelná bez potíží. V několika případech se objevily problémy s ostřením, bolestí očí či lehké bolesti hlavy při delším sledování obrazu. Výsledky potvrzují teorii, která říká, že lepší prostorový dojem poskytují videa s větší stereobází. Neúměrně velká stereobáze spjatá s narůstající paralaxou v obraze však může způsobovat právě výše zmíněné potíže. Tomu se mi podařilo vyhnout a objevující se potíže nebyly spjaty s neúměrně velkou stereobází, jak naznačují výsledky diskutované výše. Vyhodnocení práce neukázalo žádné schéma, kterým by se dali oddělit lidé se zdravým zrakem od lidí s nějakým druhem zrakové vady. Je možné, že při větší skupině diváků by se však podobné výsledky objevily. Ve skupině respondentů bylo několik nováčků, co se týče sledování 3D videí. U těch se předpokládalo, že by mohli mít problémy se sledováním scén. To se však nepotvrdilo.

Pro masovější použití by bylo jistě nutné použít profesionální cestu snímání a promítání scén. Možnosti profesionální kamery jsou na zcela jiné úrovni (jak se můžeme např. přesvědčit v kinosálech) a rozdíl mezi amatérským a profesionálním videem je diametrální. V rámci diplomové práce jsem se nacházel v pozici nováčka ve světě stereoskopického snímání i promítání a to bez pochyb mělo vliv na kvalitu videí a výsledky mé práce. Videa nasnímaná jednotlivými kamerami nejsou bohužel zcela totožná. Ačkoliv jsem se snažil o stejné nastavení obou kamer, lze vnímat určité rozdíly v barvách, světlosti i ostrosti videí. Je možné, že by podobné difference bylo možno odstranit za použití profesionálnějšího vybavení (použité kamery bohužel neposkytovaly u mnohých parametrů přesné nastavení) nebo pomocí zkušenější práce při „postprocessingu“. Zdá se, že se mi u videí podařilo eliminovat zásadní vertikální paralaxu, která by znemožňovala sledování videí, nejsem si však jist, zda jsem ji eliminoval stoprocentně. Rozhodně jsem ji však snížil změnou uchycení kamer na stativu, neboť původní upevnění způsobovalo náklon kamer k jedné straně a to ve své podstatě vertikální paralaxu zaručovalo. Seznámení se se stereoskopickým snímáním a promítáním je jako vše ostatní záležitostí dlouhodobých zkušeností, mnoha

pokusů a omylů a v neposlední řadě i kvalitního vybavení. Přestože lze v literatuře najít dostatek návodů, pouček i definic a výpočtů parametrů, často se právě v té samé literatuře uvádí, že nejdůležitějším prvkem při natáčení stereoskopických videí je zkušenost a vůle zkoušet mnohé přístupy, než člověk dosáhne určitého mistrovství v oboru.

Tématika binokulárního vidění a stereoskopických metod nabízí široké pole možností dalšího rozvoje. Bylo by možné testovat různé technické způsoby snímání resp. metody záznamu ve smyslu postavení kamer a optických os. Parametricky by bylo rozhodně zajímavé variovat stereobázi potažmo paralaxu a sledovat jejich vliv na výsledný prostorový dojem. V prezentaci nasnímaných sekvencí by bylo možné hodnotit vliv rozmístění pozorovatelů po projekční místnosti resp. jejich polohu vůči promítacímu médiu (plátnu, displeji) a světelné podmínky při projekci. Testovat by se dalo několik způsobů stereoskopického zobrazování. Ve skupině pozorovatelů by se dal vyhodnocovat vliv věku, zrakových vad či úrovně zkušenosti s 3D technologiemi na vnímání obrazu. A samozřejmě by se dal navrhnout bezpočet dalších situací pro stereoskopické snímání, promítání a hodnocení příslušných parametrů. U jednotlivých scén by bylo např. zajímavé zkoumat vliv osvětlení snímané scény na výsledný prostorový dojem (přímé sluneční světlo s mnohými stíny vs. ambientní osvětlení bez ostrých stínů atd.), využít kontrastních pozadí, nasimulovat scénu zaměřenou na pohybovou paralaxu atd. Pojmout toto téma kompletně je rozhodně svým rozsah nad rámec diplomové práce, bylo by však velice zajímavé zkoumat binokulárního vidění pomocí navrhování a promítání podobných scén pro řádově mnohem větší skupinu pozorovatelů, neboť jsem přesvědčen, že by to byla cesta k odкрыtí dalších zákonitostí a mohlo by to být přínosné obecně, neboť se zdá, že provedené studie a literatura v tomto oboru stále ještě chybí.

Zdroje

- [1] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-311-7.
- [2] TROJAN, Stanislav a kolektiv *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2003. ISBN 80-247-0512-5.
- [3] HOLIBKOVÁ, Alžběta, LAICHMAN, Stanislav, *Přehled anatomie člověka*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. ISBN 80-244-1480-5.
- [4] VOKURKA, Martin, HUGO, Jan a kolektiv *Velký lékařský slovník, 4. vydání*. Praha: MAXDORF s.r.o., 2004. ISBN 80-7345-037-2.
- [5] KUCHYNKA, Pavel a kolektiv *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [6] WARD, Jeremy P. T., LINDEN, Roger W. A. *Základy fyziologie*. Praha: Galén, 2010. ISBN 978-80-7262-667-0.
- [7] KEBLOVÁ, Alena, LINDÁKOVÁ, Lydie, NOVÁK, Ivan *Náprava poruch binokulárního vidění*. Praha: Nakladatelství Septima, 2000. ISBN 80-7216-121-0.
- [8] WikiSkripta, *Střední mozek* [online]
<http://www.wikiskripta.eu/index.php/St%C5%99edn%C3%AD_mozek>
- [9] Central nervous system – visual perspectives, Atlas, *The Lobes* [online]
<<http://cnsvp.stanford.edu/atlas/lobus.html>>
- [10] SACHSENWEGER, Rudolf *Stereoskopická zrková cvičení*. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, n.p., 1989. ISBN 08-042-89
- [11] SILBERNAGEL, Stefan, DESPOPOULOS, Agamemnon *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2004. ISBN 80-247-0630-X
- [12] HRSTKA, Jaroslav. Autostereoskopie – možnosti promítání 3D obrazů bez potřeby speciálních brýlí. *Sdělovací technika*. 2010, roč. 58, č. 7, s. 11-13.
- [13] DODGSON, Neil A. *Autostereoscopic 3D Displays*. *Computer*. August 2005, pp. 31-36.
- [14] YANOFF, Myron, DUKER, Jay S. *Ophthalmology, Sensory status in strabismus, Figur 5-52 Panum's fusional area*. London, Mosby, 1999. [online]
<<http://oph.ucsd.edu/residents/learning/friedman/data/pages/ch005e.html>>
- [15] StereoGraphics Corporation *StereoGraphics Developers' Handbook*. 1997. 65 s.
- [16] VAUGHAN, Tom *Principles of 3D video and BluRay 3D*. Cyberlink, 2010. 35 s.

[17] Cyberlink, How does 3D works? [online]

<<http://www.cyberlink.com/stat/3d-support/enu/index.jsp#3d-primer>>

[18] AMBROS, M. *Binokulární vidění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 34 s, 2 přílohy.

[19] JORKE, Helmut, FRITZ, Markus *INFITEC – A new stereoscopic visualisation tool by wavelength multiplex paging*. 7 s.

[20] The Ilixco i-Glasses store, Head mounted display, 920 HR [online]

<<http://www.i-glassesstore.com/i-3d.html>>

[21] Skylarkin, Andy Baird's adventures on the road [online]

<<http://www.andybaird.com/travels/skylarking/3d/drawing.htm>>

[22] DASHWOOD, Tim *A Beginner's Guide to Shooting Stereoscopic 3D*. Dashwood Cinema Solutions [online].

<<http://www.dashwood3d.com/blog/beginners-guide-to-shooting-stereoscopic-3d>>

[23] GAO, Yan, ZHAN, XiaoLin *Active zoom cameras control system using stereo parallax*. Security Technology (ICCST), 2010 IEEE International Carnahan Conference, 2010, 7 s.

[24] BRICHTA, Tomáš *Binokulární vidění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství, 2012, 83 s.

[25] MENDINBURU, Bernard *3D movie making: Strereoskopic digital cinema from script to green*. Focal Press, 2009. ISBN 978-0-240-81137-6

[26] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl *Fyzika*. Praha: nakladatelství Prometheus, 2001.

[27] SONY Česká republika, kamera HDR-CX115E [online]

<<http://www.sony.cz/product/cam-high-definition-on-memory-stick/hdr-cx115e>>

[28] ČÍŽEK, Petr *Prostorové zobrazení*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2005. 56 s.

Seznam použitých zkratek

CFF	Critical Fusion Frequenci	kritická frekvence splývání
CRT	Cathod Ray Tube	katodová trubice
DLP	Digital Light Processing	zpracování digitálního světla
HMD	Head Mounted Display	na hlavě připevněný displej
INFITEC	Interference Filter Technology	technologie interferenčních filtrů
2D	2-Dimensional	dvourozměrný
3D	3-Dimensional	trojrozměrný
HD	High Definition	vysoké rozlišení
CT	Computed Tomography	počítačová tomografie
FOV	Field Of View	zorné pole
DVI	Digital Video Input	vstup digitálního videa
PAL DV	Phase Alternation Line	linka s proměnlivou fází
DV	Digital Video	digitální video

Seznam příloh

Příloha A	Dotazník, strana 1
Příloha B	Dotazník, strana 2

Číslo respondenta: _____

Oční vada: _____

Druh korekce: _____

Jak často přijdete do styku s 3D projekcí (sledování 3D filmů, hraní 3D her, účast na dalších podobných studiích):

- a) Jde o jedno z prvních setkání b) Občas c) Pravidelně

druh: _____

Scéna 1. – Zelená brána

- ✓
- V jaké vzdálenosti od pozorovatele se nachází věž v pozadí scény?**

- a) 120 m b) 100 m c) 80 m d) 60 m e) 40 m

- ✓
- V jaké vzdálenosti od pozorovatele se nachází rudý transparent GRAND?**

- a) 120 m b) 100 m c) 80 m d) 60 m e) 40 m

- ✓
- Je pro Vás snadné zaostřit na projíždějící trolejbusy?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

- ✓
- Působí na vás věž plasticky spíše než li ploše?**

- b) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

- ✓
- Působí na Vás scéna celkově prostorově a plasticky spíše než li ploše?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

- ✓
- Je pro Vás nepříjemné či obtížné scénu sledovat?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

Pokud ano nebo spíše ano, proč?

Bolest očí? ANO/NE Bolest hlavy? ANO/NE Závrať? ANO/NE

Neschopnost zaostřovat na objekty ve scéně? ANO/NE

Vlastní poznámky: _____

Scéna 2. – Křižovatka

- ✓
- Auta jedoucí výhradně zprava doleva vnímáte:**

- a) před plátnem b) za plátnem c) na plátně

- ✓
- Auta jedoucí výhradně zleva doprava vnímáte:**

- a) před plátnem b) za plátnem c) na plátně

- ✓
- Mění autobusy odjíždějící od pozorovatele a přijíždějící k pozorovateli v levé části obrazu své postavení vůči plátnu (tzn. určitou dobu se jeví v prostoru před/za plátnem a postupným vzdalováním/přibližováním vjíždějí do roviny plátna, až se dostanou do prostoru za/před plátno)?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

- ✓
- Stojí chodci čekající na přecházení z pravé strany vozovky na levou stranu vozovky ve stejné vzdálenosti jako chodci čekající na přecházení směrem k pozorovateli?**

- a) Ano b) Ne c) Nelze odhadnout

- ✓
- Je pro Vás snadné postupně zaostřovat na automobily, autobusy, chodce ve scéně?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

- ✓
- Působí na Vás scéna celkově prostorově a plasticky spíše než li ploše?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne



Příloha B

✓ **Je pro Vás nepříjemné či obtížné scénu sledovat?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

Pokud ano nebo spíše ano, proč?

Bolest očí? ANO/NE Bolest hlavy? ANO/NE Závrať? ANO/NE

Neschopnost zaostřovat na objekty ve scéně? ANO/NE

Vlastní poznámky: _____

Scéna 3. – Příjezdová cesta

✓ **Jakou rychlostí se blíží vínové auto jedoucí po příjezdové cestě směrem k pozorovateli?**

- a) 25 ÷ 35 km/h b) 25 ÷ 35 km/h c) 25 ÷ 35 km/h

✓ **Zpomalilo blížící se vínové auto před přechodem, přes který procházel chodec?**

- a) Ano b) Ne c) Nelze odhadnout

✓ **V prostřední části scény, na rozdělovacím ostrůvku jsou tři sloupy veřejného osvětlení. Jaká je jejich poloha vůči pozorovateli?**

- a) Všechny tři ve stejné vzdálenosti od pozorovatele
b) V různé vzdálenosti od pozorovatele. Čím více je sloup vlevo, tím blíže je pozorovateli.
c) V různé vzdálenosti od pozorovatele. Čím více je sloup vpravo, tím blíže je pozorovateli.
d) V různé vzdálenosti od pozorovatele. Seřazeny dle vzdálenosti podle jiného klíče.

✓ **Je pro Vás snadné zaostřit na přijíždějící auto po celou dobu?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

✓ **Působí na Vás scéně prostorově a plasticky spíše než li ploše?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

✓ **Je pro Vás nepříjemné či obtížné scénu sledovat?**

- a) Ano b) Spíše ano c) Spíše ne d) Ne

Pokud ano nebo spíše ano, proč?

Bolest očí? ANO/NE Bolest hlavy? ANO/NE Závrať? ANO/NE

Neschopnost zaostřovat na objekty ve scéně? ANO/NE

Vlastní poznámky: _____

Zde prosím uveďte vlastní poznámky relevantní k tématu 3D projekce, prostorového vjemu ze scén, zaznamenaných obtíží při sledování scén, problémů v obraze, technických postřehů atd.:

Děkuji za Váš čas a přispění k práci Binokulární vidění.

