

PŘIRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI  
KATEDRA OPTIKY

# **STEREOPSE**

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:

Jakub Král

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2010/2011

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček Ph.D.

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka Ph.D., za použití literatury a konzultací uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne 13.5.2011

---

Jakub Král

### **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali při vytvoření mé bakalářské práce, zejména však RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi Ph.D., vedoucímu mé práce. Pak RNDr. Ivu Vyšínovi CSc. a Mgr. Tomášovi Medříkovi za osvětlení techniky Chromadepth a Martině Vojáčkové, která mi pomáhala s korekturou textu.

## Obsah

1. Úvod.....	6
2. Anatomie, vývoj a jednotlivé funkce pro vytvoření binokulárního vidění .....	7
2.1. Anatomie žluté skvrny a zrakové dráhy .....	7
2.2. Rozlišovací mez oka.....	9
2.2.1. Úhlová.....	9
2.2.2. Noniová.....	10
2.3. Stupně jednoduchého binokulárního vidění .....	10
2.4. Typy binokulárních podnětů .....	11
2.5. Podmínky vzniku binokulárního vidění .....	11
2.5.1. Složky senzorické.....	11
2.5.2. Složky motorické .....	11
2.5.3. Složky optické.....	11
2.6. Vývoj binokulárního vidění.....	12
2.7. Senzorická fúze .....	13
2.7.1. Retinální korespondence .....	13
2.7.2. Horopter .....	14
2.7.3. Panumovy areály.....	14
2.7.4. Panumův prostor .....	14
2.7.5. Fyziologická diplopie.....	14
3. Vnímání prostoru .....	15
3.1. Monokulární vnímání prostoru.....	15
3.1.1. Monokulární percepce.....	15
3.1.2. Prostorová percepce .....	16
3.2. Právě binokulární vidění (stereopse).....	17
3.2.1. Stereoskopická paralaxa.....	17
3.2.2. Stereoskopický práh .....	17
3.2.3. Poloměr stereoskopického vidění .....	18
3.2.4. Stereoskopické páry .....	18
4. Vyšetřování stereopse .....	18
4.1. TNO stereo test.....	18
4.2. Titmus Fly stereotest .....	19
5. Poruchy ovlivňující stereopsi .....	20
5.1. Ametropie .....	20
5.1.1. Chybně navozená stereopse pomocí korekce astigmatismu .....	20
5.2. Strabismus .....	21
5.2.1. Heteroforie .....	21

5.2.2. Heterotropie.....	21
5.3. Aniseikonie.....	22
5.4. Amblyopie .....	22
5.5. Alkohol a stereopse .....	23
6. 3D zobrazovací techniky.....	23
6.1. Možnosti vytvoření stereoskopických obrazů.....	23
6.1.1. Wheastonův zrcadlový stereoskop.....	23
6.1.2. Brewsterův prismatický stereoskop .....	24
6.1.3. Čočkový stereoskop .....	24
6.1.4. Anaglyfické stereogramy .....	24
6.1.5. Polarizovaná projekce .....	25
6.1.6. Vektograf.....	25
6.1.7. Free vision.....	26
6.1.8. Random dot autostereogram .....	26
6.1.9. Pulfrichův efekt.....	27
6.1.10. Chromadepth.....	27
6.1.11. Lentikulární zobrazení .....	28
6.2. Využití stereoskopických technologií v praxi .....	28
7. Praktická část .....	30
7.1. 3D Dichoptické obrazy.....	30
7.1.1. Free vision.....	31
7.1.2 Čočkový stereoskop .....	31
7.1.3 Anaglyfické zobrazení .....	32
7.1.4. Chromadepth.....	34
7.1.5. Stereogramy .....	35
7.2. Kalibrování stereotestů na monitory .....	35
8. Závěr .....	37
9. Literatura.....	38

# 1. ÚVOD

Stereopse významně ovlivňuje kvalitu zrakového vjemu, usnadňuje prostorovou orientaci, koordinaci oko-ruka a pomáhá nám ke kvalitnějšímu zrakovému počítku. Prostorové vnímání se využívá především ve vědních oborech jako chemie, zdravotnictví či v armádě pro orientaci v prostoru či lepší představě o tvaru těles. V dnešní době se s 3D obrázky a videí setkáváme velmi často. Je to jistá forma pobavení a uvolnění z běžného života. Proniká do našich domácností ve formě 3D kin, televizi a počítačů. V optometristickém odvětví se zaměřujeme na vyšetřování stereopse, protože, musí být splněny jisté podmínky, aby mohly být viděny objekty prostorově. Jakákoli porucha v prostorovém vidění značí, že jedinec má napadeny binokulární funkce a je to podnět pro další vyšetření binokulárního vidění do hloubky.

Cílem této práce je shrnout problematiku stereopse, popsat vznik stereoskopického vjemu a parametry, se kterými souvisí včetně případného vlivu poruch binokulárních funkcí. Těžištěm práce je popis principu klasických i moderních technologií pro vytvoření trojrozměrného vjemu a jejich využití v praxi.

V praktické části je cílem tvorba prostorových obrazů za pomoci co nejvíce různých možností. Budu se snažit prezentovat obrazy a nastíním, jakým způsobem se vytvářejí pro pobavení a jiné využití. Tyto stereoskopické obrazy, jak už jsem zjistil, ohromí přátele i blízké v okolí.

Za téma bakalářské práce jsem si vybral stereopsi, protože lze velmi mnoho způsobů vyvolat v mozku 3D efekt. Tímto tématem jsem se zabýval již na střední škole a jsem rád, že si mohu své vědomosti a zkušenosti ještě více prohloubit touto bakalářskou prací.

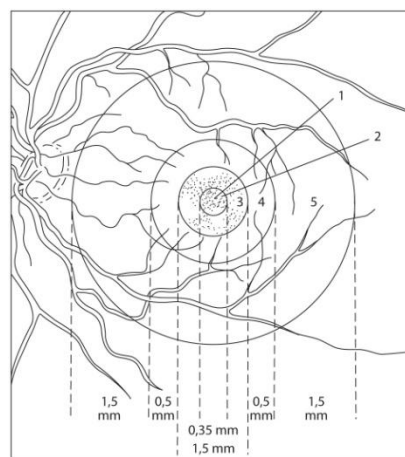
## 2. ANATOMIE, VÝVOJ A JEDNOTLIVÉ FUNKCE PRO VYTVOŘENÍ BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ

Tato kapitola vysvětluje, jakým způsobem dochází ke zpracování světelných podnětů v sítnici, vedení zrakovou dráhou a rozpoznání informace v zrakovém centru. Především záleží na anatomii sítnice a jejímu postavení v očích vůči sobě. Následně je vedena informace zrakovou dráhou, kde dochází k sjednocení jednotlivých impulsů a následnému vyhodnocení v zrakovém centru na prostorový obraz. Jsou zde i popsány procesy organismu při vývoji a dokončení vývoje zraku a zrakové dráhy, které mají na starosti správné sestavení jednotlivých impulsů v jednotný obraz. Tyto procesy lze ukázat na jednoduchých grafických modelech.

### 2.1. Anatomie žluté skvrny a zrakové dráhy

Hustota osázení jednotlivých světločivných elementů, zpracovávající světelný podnět, je základní předpoklad pro co nejpřesnější zachycení obrazu do jednotlivých zrakových impulsů, které pak mozek vyhodnocuje. Pomocí různých kombinací impulsů dokáže mozek rozlišit obraz plošný od obrazu prostorového. Sjednocování zrakových impulsů zajišťuje zvláštnost průběhu zrakové dráhy do zrakového centra.

Sítnice je tvořena asi 120 miliony tyčinek a 6 miliony čípků. Čípky zajišťují rozpoznání detailů a barev. Jejich největší hustota je v místě zvaném umbo (1) ( $300\,000/\text{mm}^2$ ). Zvláštností je, že čípky zde jsou podlouhlé a připomínají spíše tyčinky. Foveola (2) obklopuje umbo a její velikost je 0,35 mm. Fovea (3) je další místo excentricky od foveoly a měří 1,5 mm. Následuje parafovea (4), jejíž prstenec v makule měří 0,5 mm. Hustota čípků směrem od Umba se snižuje na asi  $10\,000$  čípků/ $\text{mm}^2$  na  $10^\circ$ . Tyčinky zajišťující vidění především za šera (skotopické vidění), jejichž hlavní funkcí je časové a pohybové rozlišení těles



Obr. č 1

v prostoru. Hustota tyčinek je největší asi 18 stupňů od makuly ( $135\ 000/\text{mm}^2$ ). Směrem k periférii a k žluté skvrně jejich počet klesá. Hustota tyčinek se snižuje věkem, a to asi o 30 %. Hustota čípků je konstantní.

Místa, kde se nevyskytují tyčinky ani čípky, jsou ora serrata, jež se nacházejí mezi sítnicí a duhovkou, a v místě výstupu zrakového nervu (papila), kde se soustřeďují aferentní výběžky neuronů tyčinek a čípků. Zde pokračuje nervus opticus, jenž obsahuje přes 1 000 000 aferentních výběžků axonů gangliových buněk, do jámy lební ve formě zrakové dráhy.[2]

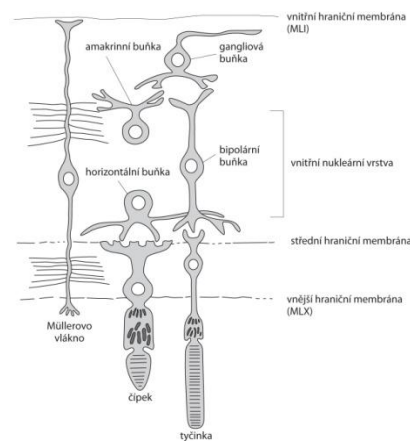
Zraková dráha slouží k přenosu elektrického podráždění v oku vyvolaného světlem do zadní kůry k jeho rozpoznání a vytvoření obrazového vjemu. Zraková dráha je tří neuronová.

První úsek tvoří bipolární buňky sítnice propojené mezi sebou ve vertikální poloze. Tímto způsobem zaručují přesnější zobrazení detailů pozorovaného objektu. Takovéto spojení najdeme převážně v Umbu horizontálními buňkami, které zaručují větší citlivost na světlo.

Další úsek tvoří multipolární (gangliové) buňky uložené také v sítnici. Tyto buňky se dělí na buňky M a buňky P. Buňky M mají větší receptivní pole a reagují lépe na hrubší světelné podněty jako vysoký kontrast a pohyb Axony těchto buněk mají větší průměr, než buněk P. Buňky P mají menší receptivní pole a reagují na jemnější podněty, např. barvy a nízký kontrast. Buněk P je více než buněk M.

Všechny Axony buněk se sbíhají směrem k slepé skvrně a v jediném svazku zvaném nervus opticus, který má průměr mezi 3-4 mm a obsahuje přibližně jeden a čtvrt miliónů axonů. 5 cm za okem se nervis opticus překřížují axony z pravého a levého oka (chiasma) ve střední jámě

lební. Zde se sjednocuje 40 % vláken z temporálních částí sítnice s 60 % vláken z nazálních částí sítnice z druhého oka. Nazální vlákna se kříží, kdežto temporální nekříží a axony dále probíhají ve formě tractus opticus do Corpus geniculatum laterale (CGL). Vlákna ze žluté skvrny se zde také rozdělují v poměru 1:1. U nižších živočichů



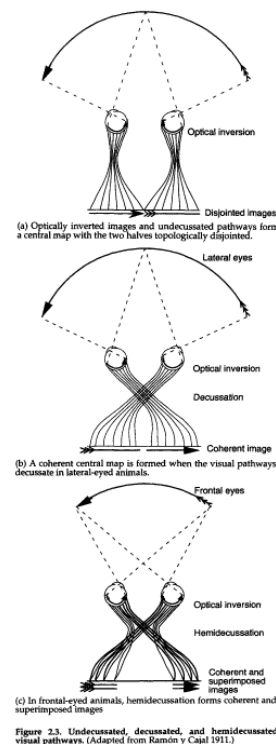
Obr. č. 2



v CGL končí zraková dráha a dojde k rozpoznání elektrických impulsů a vytvoření zrakového vjemu.

U lidí se vlákna v CGL rozdělují do vrstev a sloupců. V Prvních 3 vrstvách končí axony M buněk a v druhých třech vrstvách a zrakovým obloukem vlákna končí v zadní jámě lební v týlním laloku mozkovém a dochází k rozpoznávání světelných stimulů. Pravé poloviny očí jsou prezentovány pravému týlnímu laloku a levé poloviny levému laloku.

Křížení zrakové dráhy má svůj význam. Kdyby se nekřížily zrakové dráhy, mozek by viděl pravou stranu zorného pole vlevo a naopak. Díky překřížení je návaznost zorného pole sletová. Nekřížení temporálních vláken má za následek střetnutí vláken z nazálních míst oka druhého v týlním laloku. Díky tomuto sjednocení stejných vláken z různých podnětů dochází k sumaci obrazů. Sjednocení konečných vláken dochází k rozpoznávání stereopse, pokud padne obraz do Panumova areálu. Více je popsáno v kapitole 2.7.4. [1,2]



Obr. č. 3

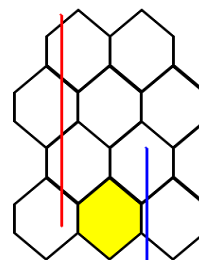
## 2.2. Rozlišovací mez oka

### 2.2.1. Úhlová

Minimální rozlišovací mez oka je nejmenší úhlová vzdálenost 2 bodů, které oko dokáže rozlišit od sebe dva body a vnímat jako dva oddělené body a nevnímat jako jeden bod. Tento jev nastane, pokud obrazy obou bodů dopadnou na různé čípky a mezi těmito čípkami je jeden čípek volný (nezasažený obrazem ani jednoho z bodů). Vypočítává se podílem velikosti čípku (0,005 mm) ku vzdálenosti sítnice od obrazového uzlového bodu (16,67 mm). Hodnota rozlišovací meze neboli minimum separabile je 0,0003 rad, což odpovídá přibližně 1'. [2]

### 2.2.2. Noniová

Minimální rozlišovací mez oka noniová je nejmenší úhlová vzdálenost 2 úseček, které oko dokáže vidět odděleně. Úsečky zasahují více čípků a při průběhu obrazů úseček na sítnici musí být jeden volný čípek. Lépe tuto situaci zobrazuje obrázek, kde žlutě je označen volný čípek. Toto rozlišení využíváme především při stereopsi, protože nepozorujeme pouze body, ale především různé křivky okrajů pozorovaných objektů. Noniová rozlišovací mez je průměrně 20“[11]



Obr. č. 4

### **2.3. Stupně jednoduchého binokulárního vidění**

Binokulární vidění má tři stupně

První stupeň se jmenuje simultánní percepce a superpozice. Simultánní percepce je schopnost oka vidět obrázek a pomocí superpozice tyto obrazy překrýt přes sebe. Vyšetřuje se pomocí dvou obrazů, kde ani jeden z obrazů nemá společný detail. Například první oko vidí lva a druhé oko klec. Po spojení obrazů vidí klient lva v kleci. Většinou jsou obrázky ve velikosti parafovey, protože menší obrázky by nebyly stálé a jako důkaz, že klient má superpozici, stačí.

Následující stupeň se nazývá fúze. Před oči se předkládají dva různé obrázky, které mají společný detail. Pro každé oko zvlášť se předloží obrázek medvídky, ale pro levé oko medvídek drží obruč v jedné ruce, druhou má prázdnou a pro druhé oko drží květinu v druhé ruce a první má prázdnou. Klient vidí, pokud má dobrou fúzi, jednoho medvídky držící obruč v jedné tlapičce a květinu v druhé. Fúzi rozdělujeme na parafoveální, foveální a foveolní. Vyšetřuje se tím způsobem, že se předkládají obrázky o velikosti vytvořeného obrazu na oku překrývající parafoveu (vel. 10‘), foveu (vel. 5‘) a foveolu (vel. 1‘).[1,6]

Třetí stupeň binokulárního vidění je stereopse. Danou problematikou se budu zabývat v další části této bakalářské práce.

## **2.4. Typy binokulárních podnětů**

Základním rozdělením je na dioptické a dichoptické stimuly.

Dioptické stimuly jsou vyvolávány pozorováním jednoho prostorového objektu v určitém čase za pomoci různého pohledu očních os. Dioptický stimul je přirozené pozorování těles s prostorovým tvarem.

Dichoptické stimuly jsou umělé vyvolání hloubkového vjemu za pomoci dvou různých objektů. Objekty jsou vytvořeny na rovné ploše, každá plocha je sestavena takovým způsobem, aby imitovala obraz, který by dopadal na oko pod určitým úhlem. Pomocí sloučení obrazů v mozku jsou obrazy vnímány jako jeden s prostorovou informací.[1]

## **2.5. Podmínky vzniku binokulárního vidění**

Aby mohl vzniknout jednoduchý binokulární vjem světa, musí být splněny tyto jednotlivé složky. Jednotlivé složky mohou být napadeny při vývoji, chorobě, úrazu nebo oční úchylce či nedostatku, které jsou probírány v jiných kapitolách této práce.

### **2.5.1. Složky senzorické**

Přibližně normální vidění obou očí, přibližně stejně velké sítnicové obrazy obou očí, centrální fixace obou očí, normální retinální korespondence, schopnost fúze, normální funkce zrakových drah, překrytí monokulárních polí.[6]

### **2.5.2. Složky motorické**

Přibližně paralelní postavení očí při pohledu do dálky, volná a stejně koordinovaná pohyblivost očí ve všech směrech, normální funkce motorických drah a center, koordinace akomodace a konvergence.[6]

### **2.5.3. Složky optické**

Optická složka znamená, aby byla oční média průhledná pro dopadající paprsek na sítnici. To znamená rohovka, čočka, sklivce a tekutina v přední a zadní komoře. Nejčastější bývá novorozenecký šedý zákal čočky, který se musí co nejdříve operovat.[11]

## 2.6. Vývoj binokulárního vidění

S binokulárním viděním se nerodíme. Vyvíjí se až po porodu. Proto je velmi nutné včas zachytit jakékoli patologie při vývoji. Kontrolou složek sensorických a motorických již od raného věku novorozence můžeme předejít mnohým poruchám binokulárního vidění a následně snadnějšímu odstranění těchto vad. V této kapitole nebudu popisovat celý vývoj oka, ale jen fakta vztahující se k binokulárnímu vidění.

Už v druhém týdnu života se diferencuje žlutá skvrna, jež se až do prvního měsíce postupně rozvine a dítě je schopno monokulárního reflexu. Takto se postupně vyvíjí centrální a periferní část sítnice a její rovnováha. V druhém měsíci se postupně rozvíjí versně konjugované pohyby, kdy novorozenec dokáže na chvíli současně oběma očima sledovat pohybující se objekt. Tyto reflexy se v průběhu třetího a čtvrtého měsíce upevňují a přidávají se vergenční disjungované pohyby pro zaměření bodů v různé vzdálenosti a dozrávání foveolární oblasti se zpevňuje i centrálně fixační reflex, což jsou základní vnitřní podněty pro vývoj binokulárního vidění. Po 6. měsíci by již batole nemělo šilhat. Visus v devátém měsíci života je okolo 0,1 (6/60) a pro správné upevnění reflexu a emetropizace, což je stav přibližující k celkové refrakci oka k nulové dioptrické hodnotě, by obraz měl být co nejvíce zaostřen využitím většinou brýlové korekce z 95 % v rozsahu  $\pm 4D$ . Zde je nejdůležitější spolupráce rodičů v zájmu dítěte, aby mělo co nejvíce fixačních podnětů (hračky) v co nejpestřejším rozsahu barev, tvarů a velikostí. Důležitým faktorem je, aby si dítě mohlo s hračkami hrát, kdy dochází ke spojení oko–ruka pro co největší upevnění a zkvalitnění všech binokulárních reflexů. Postupem času se od 1. roku života zlepšuje zraková ostrost na 0,4. Ve třetím roce na 0,5 a v šestém na 1,0. Po šestém roce života se reflexy stávají nepodmíněnými a je ukončen vývoj binokulárního vidění.

Při včasné diagnostice vad a nedostatků a následně jejím vyřešení či vyléčení se zvyšuje její napravení v co nejrychlejší době v co nejpevnější formě, a proto bychom měli spolupracovat s odborníky již po šestém měsíci života novorozeněte. Pokud jsou však

napadeny složky optické, které bývají často postiženy hned po narození, musí být problém odstraněn co nejdříve.[2,6]

## **2.7. Senzorická fúze**

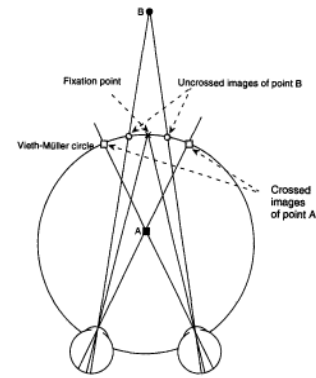
### **2.7.1. Retinální korespondence**

Při normálním binokulárním vidění jsou vjemy obou očí spojeny v jeden vjem jakoby viděný z jediného oka umístěného přibližně uprostřed mezi oběma očima. Toto imaginární oko se nazývá kyklopské oko. Oproti klasickému monokulárnímu vidění je však tento vjem prostorový. Toto dokonalé spojení do jednoho vjemu nastává, pokud obraz pozorovaného objektu dopadá na tzv. korespondující body sítnic. Za normálních okolností se jedná například o fovey (hlavní korespondující body). Takovéto zobrazení se nazývá korespondující zobrazení. Oproti tomu při disparátním zobrazení obraz objektu nedopadá na vzájemně korespondující body a není dokonale spojen. Potom hovoříme o tzv. disparátním zobrazení. Vzhledem k vzájemnému posunu očí vidí každé oko obraz z mírně jiného úhlu. To vede k tomu, že některé části sledovaného objektu se zobrazí disparátně. Při dostatečně malé disparitě ještě nedochází k narušení vidění, ale je z ní odvozeno prostorové vnímání částí sledovaného objektu.[1,11]

Veškeré paprsky, které dopadají na sítnici oka, procházejí přes přední a zadní uzlový bod, které leží přibližně 17 mm před sítnicí na optické ose. Nejvýznamnějšími paprsky je osa fixace či vidění. Paprsky se protínají v místě pozorovaného objektu a procházejí očima přes uzlové body do foveol očí. Průměrný rozestup očí je okolo 65 mm, proto oči vidí objekt z lehce jiného úhlu. Levé oko více z levé strany a pravé oko z pravé strany. Tento jev nazýváme horizontální disparita (vodorovný rozdíl). Pokud se obraz bodu zobrazí na stejná místa sítnic při fyziologickém postavení očí, hovoříme o nulové disparitě. Pokud dopadá na lehce disparátní místa sítnic, tak se tyto informace vyhodnocují v mozku jako jeden obraz, ale s prostorovým posunem. Tento jev je popisován pomocí horopteru a Panumova prostoru. [1,5]

### **2.7.2. Horopter**

Horopter je množina bodů, jejichž obrazy jsou zobrazovány na sítnici jako korespondující místa sítnice z fixace jednoho bodu v prostoru. Je popisován pomocí Vieth-Müllerova kruhu, avšak skutečná podoba horopteru je oválná, poněvadž v teoretickém horopteru se eliminují zobrazovací vady rohovky, čočky a anatomie oční koule. Pokud je objekt blíže než horopter, hovoříme o zkřížené (konvergentní) disparitě, protože se paprsky kříží uvnitř Vieth-Müllerova kruhu, a pokud je objekt dále, jedná se o nezkřížené (divergentní) disparitě. Význam zkřížené a nezkřížené disparity je vysvětlen v kapitole 2.7.4. Panumův prostor.[1,5]



Obr. č. 5

### **2.7.3. Panumovy areály**

Panumův areál je oblast v okolí daného bodu sítnice, v rámci které je ještě tolerováno disparátní zobrazení a dochází ke vzájemnému spojení dopadajícího obrazu s obrazem z korespondujícího místa druhé sítnice. Panumovu areálu v prostoru odpovídá Panumův prostor. Velikost Panumova areálu závisí především na přizpůsobení tyčinek a adaptaci na světlo. Panumovy areály mohou být změřeny u jednoho subjektu s 5minutovou odchylkou. V průměru to však je 13' až 23' v horizontální rovině a 9' až 16' ve vertikální rovině podle Ogla. [5]

### **2.7.4. Panumův prostor**

Panumův prostor je prostor okolo horopteru, ve kterém body, které neleží na horopteru, dopadají na nekorespondující (nestejně položená) místa sítnic, ale jsou pomocí stereopse vnímány jako jednotlivé body s prostorovým posunem. Body mimo panumův prostor jsou vidět jako dvakrát a nedochází ke spojení. Panumův prostor je závislý na panumově areálu, což jsou místa na sítnicích, kdy je ještě mozek schopen spojit dva nedisparátní body v jeden s prostorovou hloubkou. [1,5]

### **2.7.5. Fyziologická diplopie**

Fyziologická diplopie, neboli dvojité vidění, je jev, kdy fixujeme bod, ale vnímáme jiný bod v jiné vzdálenosti, který neleží ani na horopteru, ani v Panumově prostoru. Tento bod se jeví jako zdvojený a pokud leží dále (blíže), jedná se o nezkříženou (zkříženou)

diplopii. To znamená, že když zavřeme pravé oko, zmizí nám pravý (levý) obraz vnímaného bodu.

V normálním životě však tuto diplopii nevnímáme, pokud se na ni úmyslně nesusoustrídíme, protože paprsky dopadají do nestejných receptivních polí. Pokud bychom se dívali jedním okem, jsou body vnímány, ale při pozorování oběma očima dochází k větší citlivosti a jemnějšímu vyhodnocování těchto nekorespondujících obrazů a informace se úmyslně potlačí.[1,5]

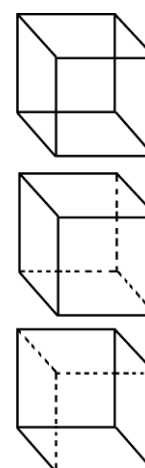
### 3. VNÍMÁNÍ PROSTORU

Prostor můžeme vnímat buď jedním okem a nebo oběma očima. Jedním okem vnímáme hloubku hlavně na základě svých vlastních zkušeností, kdežto binokulárně vidíme prostorově v daném okamžiku. Podrobnostmi o jednotlivých problémech se zabývá tato kapitola.

#### 3.1. Monokulární vnímání prostoru

##### 3.1.1. Monokulární percepce

Percepce (vnímání) je schopnost člověka rozeznávat velikost, barvu, tvar či vzdálenost předmětů na základě zkušeností, které jsme získali v průběhu života. Tyto zrakové impulsy se spojují se vzpomínkami v mozku a vytváří prostorový vjem, i když ve skutečnosti obraz prostorový není. Tento jev demonstruje obrázek (obr. č. 6) Neckerova Kostka. Na tomto obrázku je vidět, že kostku můžeme pozorovat jakoby ze shora nebo zespodu, avšak jak jsme již ovlivněni svými zkušenostmi, nevidíme malý čtverec obklopen šestiúhelníkem, jež jsou propojeny šesti čarami. [5]



Obr. č. 6

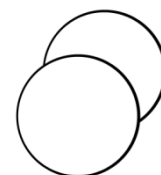
Perpceci rozdělujeme na 6 různých druhů tvarových a 4 druhy prostorové. Vnímání tvarů není předmětem mé bakalářské práce, proto zde popíši pouze prostorové vnímání světa.

### **3.1.2. Prostorová percepce**

Pokud se díváme jedním okem na body, které leží na vizuální linii oka, není zde žádný sensorický impuls mozku, který bod je blíže. Prostorovou hloubku jedním okem dokážeme vnímat pomocí speciálních případů hloubkových jevů. Rozdělujeme na 4 skupiny [5]

#### **3.1.2.1. Překrývání objektů**

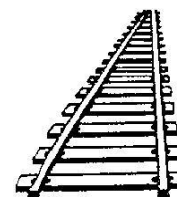
Překrývání dvou různých objektů se nám jeví dále ten, který není překryt jiným předmětem. Oba předměty by měly být vidět, a poté na základě předchozí zkušenosti velikosti předmětu dokážeme odhadnout vzdálenost předmětů od sebe. Pokud však neznáme velikosti předmětů, neodhadneme ani přibližnou vzdálenost. Například auto, které stojí na parkovišti před kamionem (známá velikost předmětů) dokážeme odhadnout jak velká je mezera mezi vozy. Pokud vidíme dva stromy za sebou (proměnlivá velikost předmětu) nedokážeme odhadnout jejich vzdálenost od sebe.[5]



Obr. č. 7

#### **3.1.2.2. Perspektiva**

**1. lineární** - Dvě rovnoběžné linie se nám jeví, že se směrem do dálky sbíhají do jednoho bodu. Linie, které začínají z našeho pohledu vlevo (vpravo, nahore, dole), se sbíhají směrem doprava (doleva, dolu, nahoru).



Obr. č. 8

**2. Bodová (horizontální)** - Předměty, které jsou na rovném terénu, výše nad horizontem terénu, se nám jeví dále než objekty ležící níže pod horizontem.



Obr. č. 9

**3. Vzdušná** - Při pozorování objektů na velké vzdálenosti se v atmosféře nejvíce rozptyluje krátkovlnné modré světlo. Předměty, které leží ve větší dálce, se jeví více namodralé. Čím více je vodní páry tím modré zbarvení přechází do běla.[5]



### **3.1.2.3. Světlo a stín**

Světelná variace udává celistvost a hloubku objektu. Pokud svítí známý zdroj světla pod určitým úhlem, světlejší místa na předmětu jsou kolmé ke zdroji světla a nám se tak jeví plasticky a dokážeme odhadnout hloubku objektu. Na obrázku je jasně vidět, jaké polokoule jsou vypuklé a které vyduté. [5]



Obr. č. 10

### **3.1.2.4. Pohybová paralaxa**

Pohybová paralaxa se projevuje tehdy, když se pozorovatel pohybuje určitým směrem, tak zdánlivě rychleji se pohybují předměty, které jsou blíže. Objekty ve větší dálce se pozorovateli zdají daleko pomalejší. Příkladem je jízda dopravními prostředky. [5]

## **3.2. Pravé binokulární vidění (stereopse)**

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, při fúzním spojení dvou mírně odlišných obrazů z obou očí dochází k vytvoření jednoho prostorového vjemu. Tomuto vjemu říkáme stereopse. Níže jsou uvedeny základní charakteristiky stereoskopického vidění.

### **3.2.1. Stereoskopická paralaxa**

Jedná se o velikost úhlu, který oči svírají mezi sebou při pohledu na předmět. Je dána vztahem  $\delta = PD/d$ , kdy „d“ je vzdálenost předmětu od očí [m] a „PD“ je zornicový rozestup očí [m]. [8]

### **3.2.2. Stereoskopický práh**

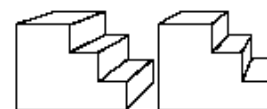
Stereoskopický práh je minimální úhlový rozdíl dvou úhlů, které svírají oči, když pozorují dva předměty v různých vzdálenostech a mozek je rozezná od sebe. Je dán vztahem rozdílu paralax v jejich absolutních hodnotách „ $|\delta_1 - \delta_2|$ “, kdy výsledek, aby oko rozeznalo hloubkově 2 body od sebe, musí být rovno nebo větší než 0,0001 radiánů, což je přibližně 20“. Někteří jedinci dokážou rozeznat body, které jsou i po 10“ a méně. Maximální stereoskopický práh je přibližně od 13‘ až 23‘ podle Ogla. [1,8]

### **3.2.3. Poloměr stereoskopického vidění**

Je údaj, který nám vypovídá, od jaké vzdálenosti už nelze pozorovat svět stereoskopicky, je dán poměrem pupilární distance (v metrech) ku stereoskopickému prahu (v radiánech). [8]

### **3.2.4. Stereoskopické páry**

Je dvojice obrazů, které pokud prezentujeme každému oku zvlášť, tak mozek spojí a výsledný obraz je viděn prostorově. Jak je vidět na obr. č. 11, že koukáme na jeden předmět z trochu jiného úhlu.



Obr. č. 11

## **4. VYŠETŘOVÁNÍ STEREOPSE**

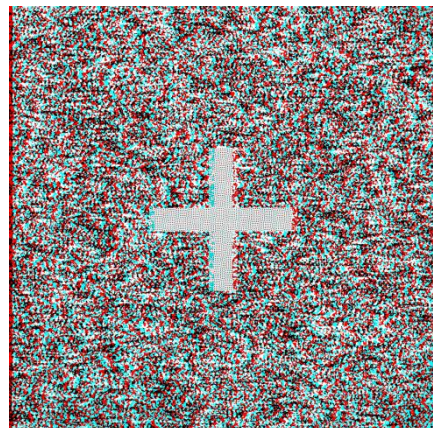
Pro vytvoření stereoskopického obrazu musí být splněny složky sensorické a motorické. Poněvadž stereopse je nejvyšším stupněm binokulárního vidění, její absence či malý počitek značí napadení těchto složek. Nejdříve se zkoumají složky motorické, protože složky sensorické jsou na motorických závislé. Všechny testy na vyšetření stereopse mají základ, že prezentují každému oku trochu jiný obraz. Touto problematikou jsem se zabýval v kapitole 6. Je mnoho testů na vyšetření stereopse, ale zde uvádím dva testy, na kterých lze zjistit stereoskopický práh klienta.

### **4.1. TNO stereo test**

Je test, ve kterém jsou oba obrazy vytištěny přes sebe a jsou prezentovány každému oku zvlášť. Jeden obraz je zelený a druhý červený a klient má na očích nasazeny zeleno-červené brýle. Tímto způsobem je zrušena fúze a klient vidí obraz prostorově. Blíže je to popsáno v odstavci 6.1.4.

TNO test má sedm stran. Na první straně jsou dva motýli, jeden je vidět bez brýlí a druhý pouze s brýlemi. Na druhé stránce jsou 4 různě veliké kruhy, dva viditelné bez brýlí. Na třetí straně je 5 obrazců: kříž (viditelný bez brýlí), diamant, trojúhelník, kruh a čtverec. Tyto první 3 strany jsou určeny k rychlému screeningu, zdali klient má stereopsi

a jestli rozezná různé velikosti a tvary. Na čtvrté stránce je test zjišťující supresi (útlum vidění) oka, který podle mého názoru není povedený, protože barevné seskupení není dokonalé, aby barevné filtry brýlí zcela potlačily obraz, který má být prezentován druhému oku. Na stranách 5 až 7 jsou již stereotesty zjišťující stereoskopickou paralaxu 15“, 30“, 60“, 120“, 240“ a 480“. Pro každý test je stejný obrazec.



Kruh, kterému chybí 1/4 . Klient říká, kam tento znak míří.

Buď nahoru, dolů, doprava nebo doleva. [4]

Obr. č. 12

Výhodou tohoto testu je, že zde nelze podvádět. Pokud klient nemá stereopsi, nedokáže popsat, jaký obrazec kde vidí. Nevýhodou je, že musíme mít červeno-zelené brýle a je zde útlum barev, jasů a tím pádem horší zrakový počitek.

## 4.2. Titmus Fly stereotest

Toto je asi nejpřesnější test pro měření stereopse. Zrušení fúze se tady provádí pomocí polarizačních brýlí, které mají pootočené filtry o 90°. Více o vektografu se lze dozvědět v odstavci 6.1.6.

Jsou zde 2 strany. Na pravé je moucha, která je vidět plasticky. Je to orientační test, jestli má klient stereopsi. Moucha je viděna v prostoru nad listem a klient se stereopsí chytá mouchu nad podložkou. Na levé stránce jsou testy zkoumající stereoskopickou paralaxu. Jsou zde obrázky komiksových zvířátek pro děti a kruhy pro dospělé klienty.

Výhodou tohoto testu je, že jsou zde zachovány barvy i z velké části světelnost a tudíž je i směrodatnější. Nevýhodou je, že tady lze vidět, jaké jsou to obrazce a dokonce, který je prostorový i bez brýlí, protože se jeví bez brýlí jako rozmazaný.[4]

Do 30“ a menší značí, že pacient nemá výrazně velké oční úchyly. Klinicky je přijatelná stereoskopická paralaxa do 60“.[2,4]

## 5. PORUCHY OVLIVŇUJÍCÍ STEREOPSI

Lidské oko není dokonalé a bohužel je někdy zatíženo vadami a nemocemi, které nabourávají vnímání stereopse. V této kapitole se budu věnovat některým nejběžnějším poruchám či vadám, kdy nedochází k prostorovému vnímání či je zhoršené, a dají se za určitých podmínek zlepšit.

### 5.1. Ametropie

Je stav, kdy ohnisko oka nedopadá na sítnici při nulové akomodaci. Jinými slovy řečeno, že daleký bod, což je bod, který se zobrazí na sítnici ostře při žádné akomodaci, zobrazí se ostře. Na refrakční vady má podíl předozadní délka oka, zakřivení optických ploch a indexu lomu očních médií. Ametropie se dělí na dva směry. Myopie (krátkozrakost) je stav, kdy je ohnisko před sítnicí, či že je daleký bod v konečné vzdálenosti před okem, a hypermetropie (dalekozrakost) je stav, kdy je ohnisko oka za sítnicí a daleký bod při zpětném prodloužení paprsků se zobrazí v konečné vzdálenosti za okem.[1]

Krátkozrakým lidem narušuje stereoskopické vnímání do dálky při  $-1,5D$  a ztrácí u  $-2D$ . U dalekozrakých zaleží na velikosti akomodační šíře, což je vergence vzdálenost mezi dalekým a blízkým bodem (blízký bod je bod, jenž se zobrazí ostře na sítnici při maximální akomodaci). U novorozeňat bývá okolo  $12 D$ , u dvacetiletých okolo  $6D$  a u lidí nad 30 let  $3D$  a méně. Podle výzkumů slečny Matušikové dalekozrací probandi ztraceli stereopsi při pohledu do dálky při  $+7D$  a narušování stereopse nastává při  $+5D$ . [10]

#### **5.1.1. Chybně navozená stereopse pomocí korekce astigmatismu**

Jedno z úskalí měření refrakce je korekce astigmatismu, protože můžeme omylem vyvolat stereoskopické vnímání při korekci šikmých os astigmatické korekce.

Jedno oko rozeznává 2 různě velké úhly a délky teprve při rozdílu 2,5 % délky či úhlu. Dvě oči tento rozdíl za určitých podmínek rozeznají i pod tuto hranici pomocí stereoskopického vidění. Jakmile má klient korekci astigmatismu pravého oka v úhlu  $45^\circ$  a

levého oka v úhlu  $135^\circ$ , tak se na jednom oku zobrazí lehce šikmý obraz a na druhém též, ale v opačném směru. Pro představu se na pravém oku zdeformuje obraz proti směru hodinových ručiček a na levém oku ve směru hodinových ručiček. Minusové osy cylindrů obou očí tvoří „stříšku“. Tyto obrazy dokáže mozek spojit, ale díky stereopsi se klientovi zdá, že se rovnoběžky na vodorovné zdi sbíhají směrem k sobě při pohledu vzhůru a klient nám popisuje, že na něho „padají stěny“, či že si připadá vysoký. Na tuto skutečnost bychom neměli při refrakci zapomenout.[12]

## **5.2. Strabismus**

Strabismus neboli šilhání se rozděluje na dva směry.

### **5.2.1. Heteroforie**

Neboli skryté šilhání se projevuje pouze u jedinců, kterým se zruší fúze. V populaci je heteroforujících lidí přibližně pod 25 %. Malá úchylka ve skrytém šilhání nepřináší žádné problémy. Větší však působí astenopické potíže a už narušuje i vnímání stereopse.[2,7]

### **5.2.2. Heterotropie**

Zjevné šilhání, které lze zjistit i bez testů na zrušení fúze. Převážná většina (75 %) šilhá směrem dovnitř (esoforie). Heterotropie se rozděluje na dynamický – komitantní strabismus a inkomitantní – paralitický strabismus. Komitantní strabismus je šilhání, při kterém primární úchylka je totožná se sekundární úchylkou, to znamená, že úhel šilhání mezi oběma očima je stejný jak při vyšetření na šilhajícím oku, tak i na nešilhajícím oku. Zde dochází k poruše jednoduchého binokulárního vidění a tudíž i na stereopsi.

Po narození je postiženo přechodným strabismem přibližně 70 % dětí. Z toho činí 1 % konvergentně šilhajících dětí. Při postupném vývoji dítěte se však tyto úchylky vyrovnají a definitivně šilhajících dětí je pod 5 %.[2,7]

### 5.3. Aniseikonie

Aniseikonie je stav spojený s anizometrií, kdy obraz předmětu vnímaného pravým i levým okem má na sítnici nestejnou velikost a tvar. Rozhodující není velikost obrazů na sítnici, ale rozdílnost zrakových vjemů. Aniseikonii rozdělujeme na optickou a neoptickou, kdy optická aniseikonie je stav, kdy dopadají různě velké obrazy na obě oči jednoho předmětu. Neoptická příčina je jev, kdy dopadají stejně velké obrazy, ale díky nerovnoměrnému rozložení světločivných elementů dochází k deformaci.

Člověk lze kompenzovat aniseikonii do 5 % rozdílu velikosti obrazů, což odpovídá přibližně rozdílné brýlové korekci 2,5D. Děti dokážou vykorigovat až 6D. Aniseikonie má vliv na binokulární vidění, a tudíž i na stereopsi, přibližně od 2 % rozdílu obrazů.[2,7]

### 5.4. Amblyopie

V překladu tupozrakost není nemoc ani vada. Obvykle vzniká na základě tzv. útlumu, kdy je cíleně tlumena až ignorována informace z jednoho oka, které vysílá nekvalitnější obraz než oko druhé. V období vývoje tak zrakový systém tohoto oka postrádá stimuly potřebné pro další rozvoj a vzniká tupozrakost. Je tedy důsledkem vad či nedostatků uvedených výše nad tímto odstavcem, které narušují složky motorické či senzorické. Tupozrakost se neprojeví okamžitě, ale přibližně po 6–8 týdnech trvání dané vady. Čím dříve se objeví, tím hůře se odstraňuje. Limitní stav, kdy můžeme úspěšně vyléčit amblyopii je přibližně do 6. roku života. Po této době se reflexy stávají nepodmíněnými a tupozrakost se již nedá zlepšit. Primárně se zabýváme vadou či nedostatkem, které amblyopii způsobuje. Je-li přítomna refrakční vada, předepíšeme korekci. Pokud klient šilhá, zajistíme řešení vedoucí ke zlepšení či odstranění šilhání apod.[2,7]

## 5.5. Alkohol a stereopse

Vliv alkoholu na stereopsi byl studován v publikaci [9] v rámci experimentální studie. Cílem této práce bylo popsat vliv alkoholu na základní funkce zraku, např. visus, amplituda akomodace a mimo jiné i stereopse. Průkazný byl výsledek vlivu alkoholu na binokulární funkce a neveliký vliv na visus. I při malých dávkách se projevovaly skryté forie a tudíž byla narušena stereopse při normálním visu. Stereoskopický práh byl horší, či byl stejný, ale při časové prodlevě za prakticky stejné zrakové ostrosti průměrně při 1,15 ‰ alkoholu v krvi, což jsou pro 50kg ženu 2 skleničky vína a pro 80kg muže 3 panáky slivovice nebo tři 12° piva. Proto jsem zastáncem zákazu alkoholu při řízení motorových vozidel, protože člověk při stejném visusu odhaduje špatně vzdálenost překážky na pozemních komunikacích, což si málokdo uvědomuje. [9,16]

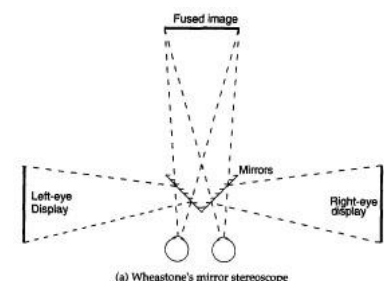
## 6. 3D ZOBRAZOVACÍ TECHNIKY

### 6.1. Možnosti vytvoření stereoskopických obrazů

Základním principem pro vytvoření Dichoptických obrazů je prezentovat každému oku různý obraz, které splňují podmínky pro vznik jednoduchého binokulárního vidění zejména druhého (fúze) a prvky třetího stupně (stereopse). Jak tvořit obrazy je věnována praktická část mé práce a jakým způsobem tyto obrazy prezentovat se věnuje tato kapitola.

#### 6.1.1. Wheastonův zrcadlový stereoskop

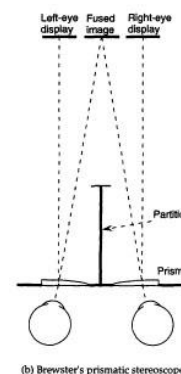
Jedná se o provedení, kdy se obrazy zvlášť prezentují každému oku pomocí zrcadla. Nejstarší je Wheastonův stereoskop, kdy zrcadla odrážela obrázky v poloze 90° a ve zpětném prodloužení je člověk vnímal přímo před sebou. Na tomto principu fungují i moderní vyšetřovací přístroje pro měření různých strabických úchylek či jejich zmenšení, popřípadě odstranění (troposkop, amblyoskop, cheiroskop). [1]



Obr. č. 13

### **6.1.2. Brewsterův prismatický stereoskop**

Brewsterův prismatický stereoskop je konstruován tak, že na posuvné kartičce jsou dva obrazy (jeden pro pravé oko a druhý pro levé oko) a jsou pozorovány přes prismatické čočky, jejichž báze jsou orientovány zevně. Tudíž odkloní pohledové osy do paralelního postavení. Ještě se mezi okuláry přidává pevná přepážka pro dokonalejší oddělení jednotlivých obrazů. Je možné pro pohodlnost pozorování obrázků předsadit místo prismatických čoček, čočky s určitou dioptrickou hodnotou do blízka. I zde se báze čoček orientují zevně.[1]



Obr. č. 14

### **6.1.3. Čočkový stereoskop**

Stavbou je na podobném principu jako Brewsterův prismatický stereoskop s tím rozdílem, že se předsazují čočky o dioptrické hodnoty, která se vypočítává zvergence vzdálenosti čočky od obrázku. Tímto způsobem se uvolní akomodace a oči se stočí do pozice, kdy jsou osy vidění v paralelním postavení. Oči nejsou akomodovány do blízka, ale do dálky bez prismatického účinku (zbytkový prismatický efekt při nedodržení pupilární distance – rozteč očí – zanedbávám). [1]

### **6.1.4. Anaglyfické stereogramy**

Anaglyf je patentem Louise Ducose v září 1891, avšak jev byl popsán již v roce 1853. Zde dochází k zrušení fúze pomocí barevných filtrů. Převážně používáním dříve červeno-zeleného (red-green) filtru, novodoběji používaného červeno-tyrkysového (red-cyan) filtru. Červený (zelený) filtr propouští pouze červené (zelené) spektrum světla. Červená (zelená) se po průchodu červeným (zeleným) filtrem jeví jako světlé místo a zelená (červená) a modrá barva se jeví jako tmavé. Tímto způsobem lze dosáhnout k rozdílným obrazům pro pravé a levé oko. V pozdějším vývoji se místo zeleného filtru používá azurový, jenž propouští i modré spektrum a mozek dokáže částečně zachovat pomocí binokulární sumace obrazu barevný vjem. Standardně se používá zelený filtr před pravé oko a červený před levé oko. Je to z obecného faktu, že toto rozdělení barev se využívá v letecké i vodní dopravě pro označení stran dopravního prostředku.[1]



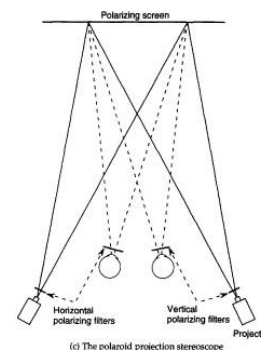
Obr. č. 15



### **6.1.5. Polarizovaná projekce**

Je asi nejrozšířenější ze všech metod. Používá se především v kinech.

Polarizace světla je jev, kdy paprsky mají stejný charakter vlnění. Světlo při pronikání prostorem mění svoje magnetické pole na elektrické a naopak. Při odrazu pod Brewsterovým úhlem což je úhel odrazu při kterém lomený a odražený paprsek svírají pravý úhel nebo při průchodu speciálními krystaly „polaroidy“ vzniká polarizace. V kinech se používají obě metody. [1,11]



Obr. č. 16

Pasivní polarizace je na principu dvou projektorů, kdy jeden projektor je polarizovaný v úhlu  $45^\circ$  a druhý projektor je polarizovaný v úhlu  $135^\circ$ . Divák má polarizační brýle, kde jsou rozloženy filtry pro příslušné oko. Kdysi se používala lineární polarizace, ale postupným vývojem se začala používat kruhová polarizace, při které nedochází k tak velkým ztrátám jasu. Nevýhodou pasivní polarizace je, že člověk musí u plátna sedět v přesné poloze (většinou vzpřímeně).

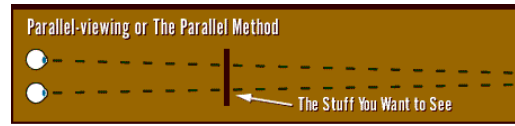
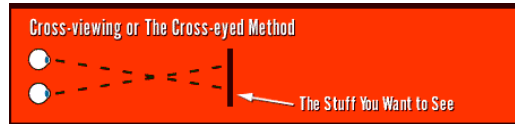
Aktivní polarizace je metoda, kdy se používá jeden projektor, jenž střídavě promítá obrázky pro pravé a levé oko. K tomu příslušné brýle mají senzor, jenž detekuje, které obrázky jsou pro jaké oko, a zaslepuje druhé oko, jež nemá daný obrázek vidět. Minimální hranice projekce obrazů je 30 Hz. To znamená 15 obrázků pro každé oko. Toto je však na hranici plynulosti zobrazované scény. Doporučuje se 60 Hz. Zařízení, které se nazývá CAVE, na ČVUT v Praze má frekvenci projekce 120 Hz. Výhodou této metody je, že člověk může natočit hlavu do jakéhokoli směru a vždy vidí správný obraz pro dané oko. Nevýhodou je, že blikajícími obrázky dochází k rychlejší únavě očí.[1,14]

### **6.1.6. Vektograf**

Využívá též zkřížené polarizace v „listové“ formě pomocí polarizačních fólií. Zde jsou dva listy přiloženy přes sebe a každý list je určený zvlášť pro každé oko. Jakmile se na obrázek díváme přes polarizační brýle, které mají proti sobě otočené filtry o  $90^\circ$ , vidíme obraz prostorově. Na této metodě je založený stereotest moucha (Titmus Fly stereotest)[1]

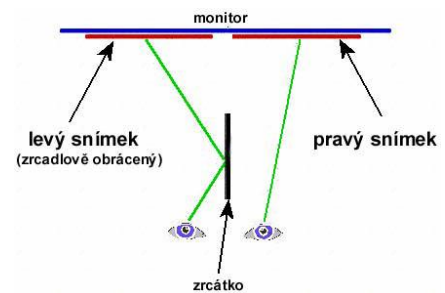
### 6.1.7. Free vision

Free vision či free fusion neboli volná fúze je metoda, kdy máme dva obrázky. Jeden obrázek pro pravé oko leží vlevo a pro levé oko vpravo. Jakmile schválně zašilháme směrem do blízka (konvergujeme – metoda crossed eyed), spojí se nám obrázky dohromady a vidíme prostorově. Metoda Free fusion chce jisté zkušenosti a trénink, aby obraz oči udržely. Lze i přehodit obrázky, pro pravé oko bude obrázek napravo, avšak při divergentním (metoda parallel eyed) postavení očí máme skoro poloviční rezervy, a proto doporučuji mít obrázky rozložené pro zkřížené postavení očí.[1]



Obr. č. 17

Z vlastní zkušenosti, co jsem zkoušel na ostatních lidech, nelze vytvořit vjem okamžitě, protože běžně lidé neumí schválně zašilhat dovnitř, popřípadě ven. Proto v době počítačů doporučuji přehodit jeden obrázek v grafickém programu zrcadlově a pomocí zrcátka sledovat tento obrázek, a druhým okem pozorujeme neotočený obrázek. Lehkou centrací pomocí vzdalování a přibližování dosáhneme 3D efektu za menší časovou náročnost.[1]



Obr. č. 18

### 6.1.8. Random dot autostereogram

Využívá také metodu volné fúze, na níž jsou systematicky uspořádány pravidelné vzory. Např. tečky, čárky, křivky nebo i obrázky. Pokud na tento obrázek přesně divergujeme oči metodou parallel eyed, obrázek se nám projeví v prostoru. Blíže se nám budou jevit čárky, které jsou blíž k sobě a dál, které jsou od sebe dál. Tato metoda chce také trochu trpělivosti a cviku, protože na první pohled nevíme, o jak velký úhel musíme divergovat. [1]

Zde se používá divergence z důvodu, že tady není šilhání ven tak velké a hlavně je touto metodou vyvolána větší perspektiva. Subjektivně vnímám obrazy, na které se musí divergovat, daleko větší než na ty, na které se musím konvergovat.

### 6.1.9. Pulfrichův efekt

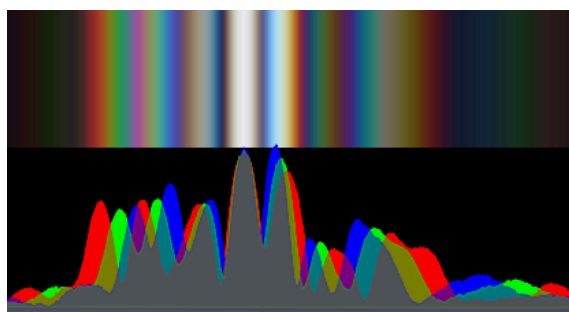
Pulfrichova metoda není klasická metoda vytváření 3D obrázku za pomoci dvou vertikálně posunutých obrazů. Astronom německého původu Carl Pulfrich, který se zabýval optikou, zjistil, že obraz, který je pozorován přes zatmavenou čočku, dorazí do mozku pomaleji. Proto při sledování videa, které je ve vodorovném pohybu (např. jízda vlakem), vzniká prostorový vjem. Zatmavenou čočku dáváme před to oko, ke které straně se film pohybuje (např. film se pohybuje zprava doleva, tak tmavá čočka patří před levé oko). [15]

### 6.1.10. Chromadepth

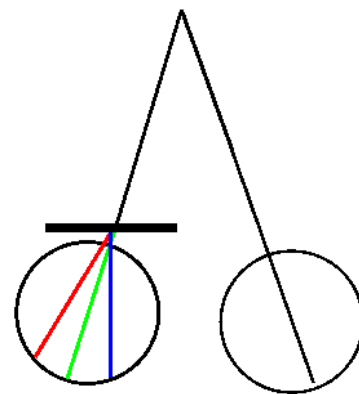
Je další atypická metoda vytvoření stereoskopického obrazu využitím difrakce a následně interferencí bílého světla při průchodu optickou mřížkou. Optická mřížka funguje na principu ohybu světla. Na překážce, štěrbíně, popřípadě vrypu, která je podobně velká jako vlna světla, dochází k difrakci (ohybu) a světlo se šíří

i do prostoru za překážkou. Světlo za překážkou je koherentní (vlny mají stejnou fázi) a na stínítku můžeme pozorovat interferenci (skládání vln) světla. Pokud je dráhový rozdíl dvou stejných monochromatických vln roven celým násobkům vlnové délky, tak dochází k součtu a výsledek je, že barvu vidíme jasněji. Pokud dochází k dráhovému rozdílu o celé násobky vlny mínus jedné poloviny vlny, setkají se vlny v protifázi. Vlny se potlačí a pozorujeme na stínítku tmou. Červená jako dlouhovlnné (680 nm) má své maximum dále, než modré krátkovlnné (460 nm). Tak dochází

k tomu, že červená je vidět dál od kolmice stínítka – překážka. V brýlích Chromadepth je však blejzovaná mřížka, kde není tvořena z vrypů a jsou zde vyražené malé hranoly a soustřeďuje energii do prvních maxim vlnových délek. V našem případě v maximu na levé straně interferenčního obrazce. Při pozorování červená barva dopadá na nekorespondující místa sítnice zkříženě, zelená barva (550 nm) přibližně na korespondující místa a modrá barva na nekorespondující místa nezkříženě. Tak se nám jeví červená místa nejbliže, modrá nejdále a zelená uprostřed. [13]



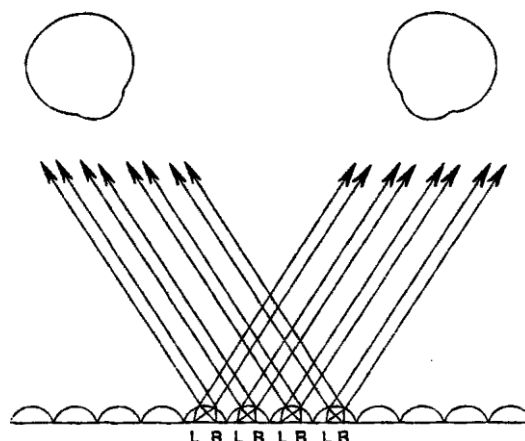
Obr. č. 19



Obr. č. 20

### 6.1.11. Lentikulární zobrazení

Další nápad jak sestavit dichoptický obraz je pomocí lentikulárních čoček. Na plátno se ve sloupcích střídají sloupce pro pravé a levé oko, na které se pak předsadí speciální lentikulárně válcové plátno. Sloupec musí být v jedné polovině čočky a čočka musí mít ohniskovou vzdálenost totožnou s plátnem. Po průchodu paprsků čočkou se paprsek zlomí a příslušný sloupec je viděn okem, pro které je určen.[5]



Obr. č. 21

## 6.2. Využití stereoskopických technologií v praxi

Mimo zábavnou stránku pozorování filmů ve 3D nebo reklam provedených v různých metodách, se uměle vytvořených stereoskopických obrazů využívá i ve vědeckých oborech.

Za druhé světové války se využívaly vektografy pro pozorování letících raket. Při využití stereopse se dala odhadnout jejich relativní výška v porovnání s mraky, což v běžných fotografiích nebylo patrné. Pak se používala stereoskopie v bankách jako další bezpečnostní prvek proti padělání. Pravá bankovka se dala vedle zkoumané bankovky a přes



A navy seaman tests a 43-inch range finder on the roof of Polaroid's building at 730 Main Street in Cambridge.

Obr. č. 22

stereoskop se dalo pouhým pohledem určit, zda je falešná, protože drobné rozdíly se projeví s prostorovým posunem. Originální bankovky jsou vidět ve stereoskopu pouze plošně. Dále se využívala v chemii, kde se pozorovalo na organických molekulách jejich strukturní rozložení. Asi nejnovější metody využití stereopse ve vědě je systém HMD (Head-mounted display). Je to helma, ve které jsou integrovány dva LCD displeje se zobrazovací optikou pro pohodlné sledování. Tento typ zajišťuje zorné pole až do 60°. V helmě jsou integrovány pohybové čipy, takže při pohybu hlavy se synchronizuje i pohyb promítaných scén pro zajištění virtuální reality. K helmě se dají připojit i senzorké rukavice pro virtuální pohyb rukou. Toto zařízení má široké využití jak v armádě či

záchranných složkách pro trénování v extrémních situacích, tak i ve zdravotnictví pro kontrolu zdravotnických zařízení, jež operují v nepřístupných částech těla.[1]

## 7. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se především zabývám vytvořením dichoptických obrazů co nejvíce různými způsoby. Především jsem se věnoval anaglyfickému využití, free vision, čočkovému stereoskopu, protože počáteční náklady, pokud máme přístup k počítači, byly do stovek korun. V příloze je mnoho pomůcek pro vytvoření a pozorování obrazů, a proto prosím o **šetrné zacházení** pro co nejdelší životnost.

V druhé části jsem se věnoval kalibraci testů na stereopsi na monitorech na naší katedře.

### 7.1. 3D Dichoptické obrazy

Všechny metody – jmenovitě anaglyf, vektograf, polarizační film, free vision mají společný začátek. Musí se vytvořit dva obrazy s horizontálním posunem. Lze je pořídit vyfotografováním, natočením, namalováním či vytvořením v počítačových programech. Vytvoření 3D fotografie lze použít i jedním fotoaparátem. Stačí pouze vyfotit fotografie z lehce horizontálně různých míst. V praxi to vypadá tak, že vyfotíme scénu a přeneseme váhu z jedné nohy na druhou a vyfotíme druhou fotografií. Podle zkušeností vyfotíme touthle metodou pouze objekty, které jsou vzdálené 5 metrů, ale radši 15 metrů a dále. Pokud jsou objekty blíž, nelze udržet přesný úhel, náklon fotoaparátu a vidíme objekty rozdvojeně. Bohužel pokud je požadovaná scéna pohyblivá (chodci, automobily), nelze ji zachytit jedním fotoaparátem, ale potřebujeme fotoaparáty či videokamery dvě. Objektivy fotoaparátů rozložíme od sebe přibližně o rozteč očí (průměrně 65 mm), kdy bude i scéna vypadat realističtěji ke skutečnému vnímání světa člověkem, avšak lze pomocí vzorce

$PD = \frac{2 \sin PA \cdot d_2 \cdot d_1}{d_1 - d_2}$ , kdy PD je požadovaná rozteč objektivů, PA je poloměr velikosti

Panumova areálu (standardně mezi 13'–23'),  $d_2$  je objekt, který je nejbližší a  $d_1$  objekt, který je nejdále. Poněvadž jsem neměl přesné měřicí zařízení, stačila mi akorát znalost, že pokud jsem něco chtěl fotit na více než 100 m, mohl jsem mít fotoaparáty 1 m od sebe, na 10 m 0,1 m od sebe atd.



Rozteč obj. 100mm

Rozteč obj. 65mm

Rozložená konstrukce

Obr. č. 23

3D obrazy lze i namalovat, ale základem správného vytvoření je dokonalá znalost prostorové a tvarové percepce, panumova prostoru a stereoskopické paralaxy, popřípadě znalost, pro jakou metodu zobrazení obrazy budou vytvořeny. Asi nejjednodušším namalovaným obrazem je pro metodu ChromaDepthu, kdy nám stačí jen znalost, že červená barva se bude jevit nejbližší, zelená dále a modrá nejdále. V naší umělecké scéně se této metodě věnuje český malíř Jan Princ.[17].

### **7.1.1. Free vision**

Asi nejjednodušší a nejlevnější metoda. Pokud máme příslušný grafický počítačový program (stačí i MS Paint, který je součástí operačního systému Windows) nebo dokonce skutečné fotografie (jedna fotografie 9 x 13 cm stojí 2,50 Kč), stačí dát obrázek pro pravé oko na levou stranu a pro levé oko na pravou stranu a metodou crossed-eyed se na obrázky podívat. Tady lze udělat jen na crossed-eyed, protože v konvergenci máme větší rezervy než v divergenci.

Tato metoda chce jisté zkušenosti, ale při studování internetu jsem zjistil jednu cennou radu. Pro levé oko obrázek zrcadlově převrátíme v grafickém programu a díváme se na něj přes zrcátko a je to pohodlnější a přirozenější pro oční aparát než metodou cross-eyed.

### **7.1.2 Čočkový stereoskop**

Jako oční optik, který má přístup k prismatickým čočkám, jsem se snažil nejdříve zkonstruovat prismatický stereoskop, ale s jeho výsledky jsem nebyl spokojený. Většinou, když jsem obrázky prezentoval ostatním lidem, měli korekci, která znemožňovala vidět obrázek jednoduše. Protože refrakční vada je spojená s konvergencí, tak buď obrázek neudrželi celistvě pohromadě a nebo obraz viděli rozmazaně. S čočkovým stereoskopem takové problémy nenastávají. I kdybych přeháněl, tak dalekozraký s +6D si bude dávat

obrázky ve stereoskopu do vzdálenosti 7 cm, emetrop do 5 cm a krátkozraký –6D si obrázek položí 4 cm před čočky stereoskopu, což jsou zanedbatelné vzdálenosti.

V čočkovém stereoskopu potřebujeme též dvě fotografie. Pro pravé oko napravo a pro levé nalevo. Velikost obrázků je podle výrobce doporučený rozměr 5 x 5 cm s roztečí 60 mm. Nechtěl jsem mít však čtverce a tak jsem si upravil rozměr na 5 x 6 cm. Nemám kvalitní tiskárnu a fotografie byly pod větším zvětšením čoček (4x) nekvalitní, tak jsem dal vyrobit fotograficky lepší (minimální kvalita 600dpi) a výsledek stojí za to.

### **7.1.3 Anaglyfické zobrazení**

Při anaglyfickém zobrazení se musí použít program. Já jsem vyzkoušel tři, respektive čtyři.

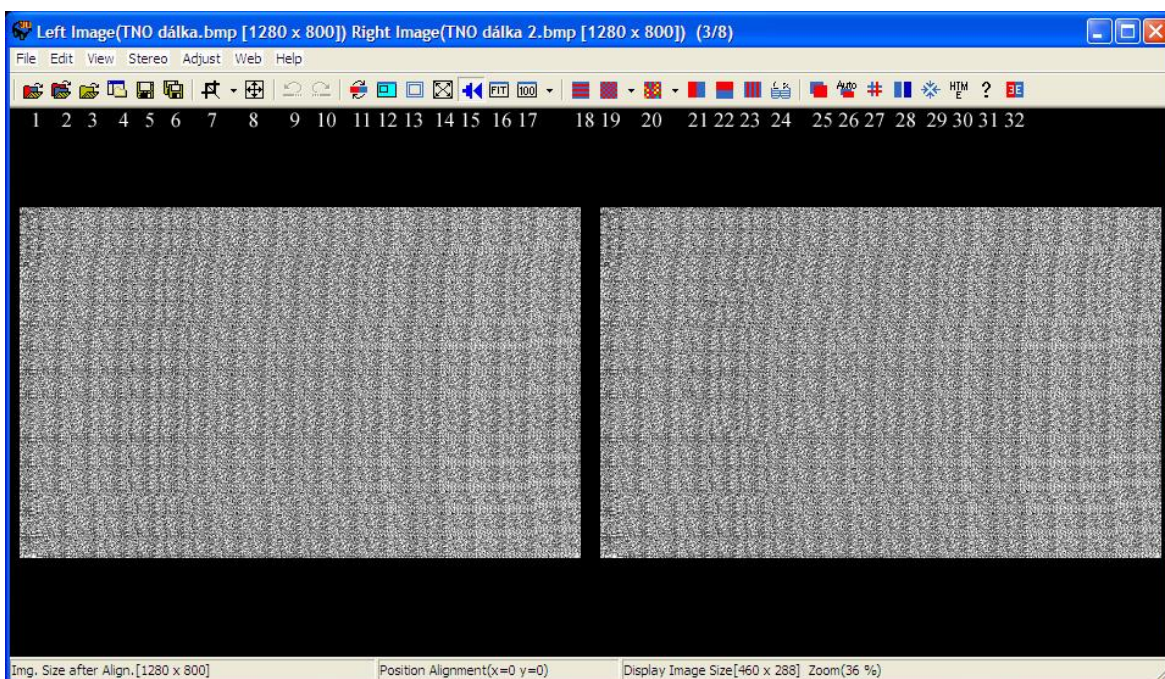
#### ***7.1.3.1 Anaglyf ze dvou fotografií***

První, který jsem použil, byl anglický free-program „Anaglyph maker“. Je velmi jednoduchý a intuitivní. V hlavních okénkách se navolí levá a pravá fotografie. Pomocí šipek se obrazy vystředí a lze to uložit do různých formátů anaglyfického vidění. Nevýhodou je, pokud je jeden obraz natočený či velký jinak než druhý, musíme ho v grafickém programu upravit.

Druhý, o něco lepší, Zoner 3D Photo Maker. Je také intuitivní a je v české verzi, ale bohužel placený. Naštěstí ho lze na 30 dní vyzkoušet zdarma. Hlavní výjimečností je, že program automaticky rozpozná detaily fotografií, které jsou společné, a dokáže obrazy na rozdíl od prvního programu automaticky vycentrovat a navíc vhodně natočit vůči sobě. V prvním okně si vybereme dva obrázky pro splynutí do anaglyfu. V následujícím okně program automaticky vybere body na fotografiích, které jsou společné, a buď je můžeme upravit, přidat či odstranit. V následujícím okně si můžeme obrazy doposunout, pootočit a vystředit červený obraz, aby byl stejně kontrastní a světlý jako modrý. V další nabídce si můžeme zvolit druh výsledného anaglyfu. V posledním okně lze určit kvalitu fotografie a formát.



StereoPhoto Maker je třetí a asi nejlepší anglický program pro tvoření 3D obrázků pro různé zobrazovací metody.



Obr. č. 24

Vše, co je potřeba, je buď na panelu „rychlý přístup“ a nebo logicky rozděleno v jednotlivých kartách nad panelem. Prvně si otevřeme dva obrazy určené ke sloučení (2) nejdříve se nás program zeptá na levý a pak na pravý obraz. Pokud jsme zapomněli, jaký obraz je pro jaké oko, lze je zaměnit zase jedním stiskem tlačítka (11). Pro vytvoření barevného anaglyfu zmáčkneme tlačítka číslo 20 a pro černobílý tlačítka 19. Po rozkliknutí nabídky nám umožní program vybrat si z různých druhů anaglyfů. Po kliknutí tlačítka 21 se nám zobrazí obrázky pro metodu free vision paraller eyed či příprava pro čočkový nebo prismatický stereoskop. Pro crossed eyed musíme zase zmáčknout tlačítka 11. Pro metodu free vision přes zrcátko je určeno tlačítka 32. Tlačítka s označením 22 slouží pro dívání přes brýle, které mají prismatické čočky orientovány pro jedno oko base up a pro druhé base down. Brýle jsem si nekupoval, ale s pomocí prismatických čoček dostupných v optometristických laboratořích jsem metodu mohl vyzkoušet a dostavily se u mne astenopické potíže. Tlačítka 26 je automatické srovnání obrazů posunutí na výšku, šířku, změna velikosti (horizontální i vertikální), natočení pláten a dokonce program dokáže vykorigovat zklenutí a perspektivu. Tlačítka s číslem 25 je samostatné doladění, ale nikdy jsem je nepoužil, program je přesný. A nakonec tlačítka číslo 28 je srovnání jasů obrazů. Víc jsem v programu nepoužíval. Ukládání lze do různých kombinací ať pro stereoskop

(Save Left/Right Images) pro následné upravení nebo free vision. Anaglyf či pro LCD monitory (Save Stereo Image), tak i různých formátů pro zachování barevné kombinace bmp a pro co nejmenší velikost souboru jpg.

### ***7.1.3.2 Anaglyf z jedné fotografie***

Čtvrtý program, anglický Stereo Creator, je na jiné bázi. Nevkládají se tam dvě, ale jen jedna fotografie. Pro vytvoření 3D je potřeba černo-bílá maska. V grafickém programu se převede obraz do stupňů šedi a postupně upravujeme. Bíle upravíme předměty, které chceme, aby byly nejbližší, černě nejdále a ve stupních šedi (čím tmavší tím dále) objekty, jež jsou v různých vzdálenostech. Program díky této masce postupně vytvoří anaglyf z jednoho obrazu.

K vytvoření tohoto 3D obrazu je potřeba mít jisté cítění hloubky. Nehledě na to, že vytvoření masky je velmi pracné a nedokážu vytvořit obrázek tak, aby byl podle mých představ. Proto jsem nevytvořil žádný obrázek a zmiňuji se o tomto programu jen proto, že lze vytvořit 3D fotografii i ze starých fotografií, ke kterým máme určitý vztah, a mít je v prostorovém provedení.

### **7.1.4. Chromadepth**

K tomuto tématu není nic více co sdělit, než co je napsáno v teoretické části. Chci se jen zmínit, že tuto metodu jsem nechtěl ani sem zařadit, protože jsem se o ní dočetl pouze na internetu a nenašel jsem o ní zmínku v odborných publikacích. Na to, na jakém principu funguje, jsem přišel sám s pomocí RNDr. Jaroslava Wágnera, Ph.D. a Mgr. Tomáše Medříka., za což jim dodatečně děkuji.

### 7.1.5. Stereogramy

Program na stereogramy, který jsem použil, se nazývá Stereogram Maker 2.1. Zde se také musí udělat černo-bílá maska, kde bílá vystupuje nejvýše a snižováním jasu se posouvají body do pozadí až do černé, která je nejvíce vzadu. Lze zvolit i vlastní strukturu pozadí, ale vybral jsem si tu, která je již implicitně v programu. Jednoduchým nahráním masky a výběru struktury pozadí se třetím tlačítkem zvolí sloučit a stereogram je hotový k uložení. Do obrázku, který je v příloze, jsem dal nahoru značky pro pochopení o jak velkou divergenci se jedná.



Obr. č. 25

### **7.2. Kalibrování stereotestů na monitory**

Testy na měření stereopse mají znaky, které vždy vystupují do popředí. Prvně jsem si musel vypočítat, o jak velkou vzdálenost musím na obrázku detail posunout. K tomuto jsem vytvořil příslušný vzorec, jehož postup vidíte níže. Překvapilo mě, že po zkrácení vypadlo PD. To znamená, že stereotesty udávají stejný výsledek v nezávislosti na pupilární distanci.

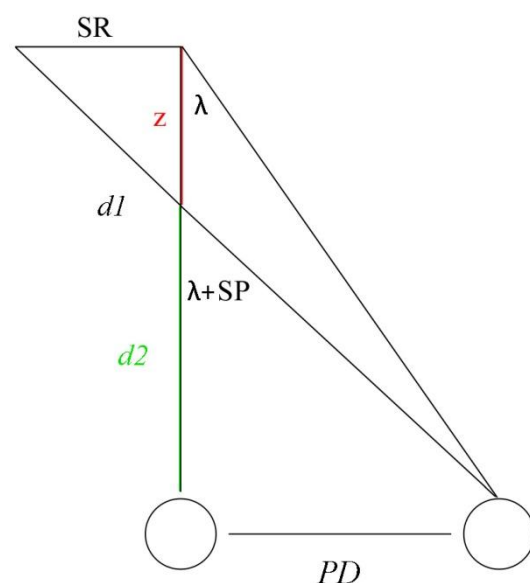
Velikost obrazu jsem zvolil, aby byl větší než visus 0,5. Poměr černé k bílé je přibližně 2:1. Struktura podkladu jsem zvolil různé obrazce s visem 0,8.

$$\sin \alpha = \frac{PD}{d1} \quad \sin(\alpha + SP) = \frac{PD}{d2}$$

$$\sin(\alpha + SP) = \frac{SR}{z} \quad z = d1 - d2$$

Po dosazení

$$SR = \left( \frac{PD}{d1} + \sin SP \right) * \left( d1 - \frac{PD}{\frac{PD}{d1} + \sin SP} \right)$$



Obr. č. 26

Po roznásobení a zkrácení zbude tento vzorec

$$SR = \sin SP d1$$

Protože pan Dr. Pluháček má vlastní program pro zobrazení testů na obrazovce, musel jsem splnit jisté parametry, které mi zadal. Tím jsem vytvořil dva obrazy s různými znaky, jmenovitě kříž, čtverec, kruh a kosočtverec, jenž pomocí StereoPhoto Makeru jsem vytvořil výsledný Anaglyf.

## 8. ZÁVĚR

Přínosem mé bakalářské práce bylo osvětlit vznik, vývoj a poruchy binokulárního vidění, které mají dopad na stereopsi. Nejprve byla popsána anatomie a vývoj zraku a zrakových funkcí. Následně byl rozebrán stav, kdy dochází k sloučení dvou obrazů a patologie binokulárního vidění. Toto téma nebylo zcela vyčerpáno. Věnoval jsem se především nejběžnějším onemocněním a vadám, které narušují binokulární funkce.

V praktické části byly vyhotoveny stereoskopické obrazy pomocí různých technik především stereogramu, anaglyfu a stereopáry pro metodu free vision a čočkového stereoskopu. Bylo zjištěno, že použitá technika je vhodná pro obor optometrie, protože jsem dokázal pomocí funduskamery vytvořit prostorový anaglyfový obraz papily zrakového nervu.

V závěru chci říci, že mě tvoření této bakalářské práce velice bavilo, protože jako vášnivý fotograf jsem fotil mnoho obrázků a překvapilo mě jak jednoduše a levně lze 3D obrázky tvořit. Až na komplikace při zadávání zakázek fotografií do fotografického obchodu jsem neměl s vytvořením prostorových obrazů, žádný problém.

## 9. LITERATURA

### Odborná Literatura

- [1] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis (Oxford Psychology Series). Oxford University Press, 1995. ISBN 0195084764
- [2] P. Kuchynka a kol.: Oční lékařství. Grada, 2007. 978-80-247-1163-8
- [3] M. Scheiman, B. Wick: Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders. Third Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2002. ISBN 0781777844
- [4] David B. Elliott: Clinical Procedures in Primary Eye Care. Third Edition, Butterworth-Heinemann, 2007 ISBN 9780750688963
- [5] Tunnaclyffe A. H. Introduction to visual optics ISBN 978-0-900099-28-1
- [6] Lada Hromádková: Šilhání ISBN: 978-80-7013-530-3
- [7] Pavel Rozsival: Oční lékařství 2006 ISBN 80-7262-404-0
- [8] J. Polášek: Technický sborník oční optiky 1974 SIP 41819/01928-301-02-2
- [9] Jana Lencová: Vliv alkoholu na zrakové funkce, Bakalářská práce 07/08 UPOL
- [10] Elena Matušíková: Zrakové klamy, Bakalářská práce 09/10 UPOL
- [11] Studijní materiály ze seminářů RNDr. Mgr. Františka Pluháčka Ph.D.

### Odborné Časopisy

- [12] Česká oční optika 4/2008 ISSN 1211-233X

### Internetové zdroje

- [13] Chromadepth <http://www.3dakt.cz/>
- [14] Cave projektor <http://digitalne.centrum.cz/stereoskopie-jak-funguje-3d-kino/>
- [15] Pulfrich <http://www.3dakt.cz/internetovy-obchod/3d-bryle-pulfrich>
- [16] Alkohol tester on-line <http://auto.idnes.cz/alkulacka.asp>
- [17] Chromadepth malíř Jan Princ <http://www.3dakt.cz/internetovy-obchod/3d-bryle-chromadepth-std-cerne>

### Programy na tvorbu 3D obrazů

- Anaglyph Maker [http://www.stereoeye.jp/software/index\\_e.html](http://www.stereoeye.jp/software/index_e.html)
- StereoMovie Maker <http://stereo.jpn.org/eng/stvmkr/>
- Zoner 3D Photo Maker [http://www.stahuj.centrum.cz/grafika\\_a\\_design/ostatni/zoner-3d-photo-maker/](http://www.stahuj.centrum.cz/grafika_a_design/ostatni/zoner-3d-photo-maker/)
- Stereogram Maker 2.1 <http://www.swiftgear.com/stmaker/stmaker.zip>
- StereoPhoto Maker [http://www.stahuj.centrum.cz/grafika\\_a\\_design/tvorba\\_grafiky/bitmapove\\_editory/stereop\\_hoto-maker/download/?g\[hledano\]=&g\[oz\]=3.24](http://www.stahuj.centrum.cz/grafika_a_design/tvorba_grafiky/bitmapove_editory/stereop_hoto-maker/download/?g[hledano]=&g[oz]=3.24)

## **Obrázky**

- [1] P. Kuchynka a kol.: Oční lékařství. Grada, 2007.
- [2] P. Kuchynka a kol.: Oční lékařství. Grada, 2007.
- [3] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [4] Vlastní tvorba
- [5] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [6] Vlastní tvorba
- [7] Vlastní tvorba
- [8] <http://img.geocaching.com/cache/6d85a0da-9f03-4f8c-a00d-c6eee79cbec2.jpg>
- [9] Vlastní tvorba
- [10] Vlastní tvorba
- [11] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [12] TNO test Plate III
- [13] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [14] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [15] Vlastní tvorba
- [16] I. P. Howard, B. J. Rogers: Binocular Vision and Stereopsis
- [17] <http://www.vision3d.com/3views.html>
- [18] <http://www.tridakt.cz/zrcadlo/stereofoto-zrcadlo.htm>
- [19] <http://bookcracker.com/mrjesse/double-slit-experiment/3color-interference.png>
- [20] Vlastní tvorba
- [21] Tunnaclyffe A. H. Introduction to visual optics
- [22] Vektograf v armádě  
[http://books.google.cz/books?id=6TTbCT64seEC&pg=PA46&dq=how+make+vectograph&hl=cs&ei=ejWrTa-9HlrFswbs4rnzCw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC0Q6AEwAQ#v=onepage&q=how%20make%20vectograph&f=false](http://books.google.cz/books?id=6TTbCT64seEC&pg=PA46&dq=how+make+vectograph&hl=cs&ei=ejWrTa-9HlrFswbs4rnzCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC0Q6AEwAQ#v=onepage&q=how%20make%20vectograph&f=false)
- [23] Vlastní tvorba
- [24] Vlastní tvorba
- [25] Vlastní tvorba
- [26] Vlastní tvorba

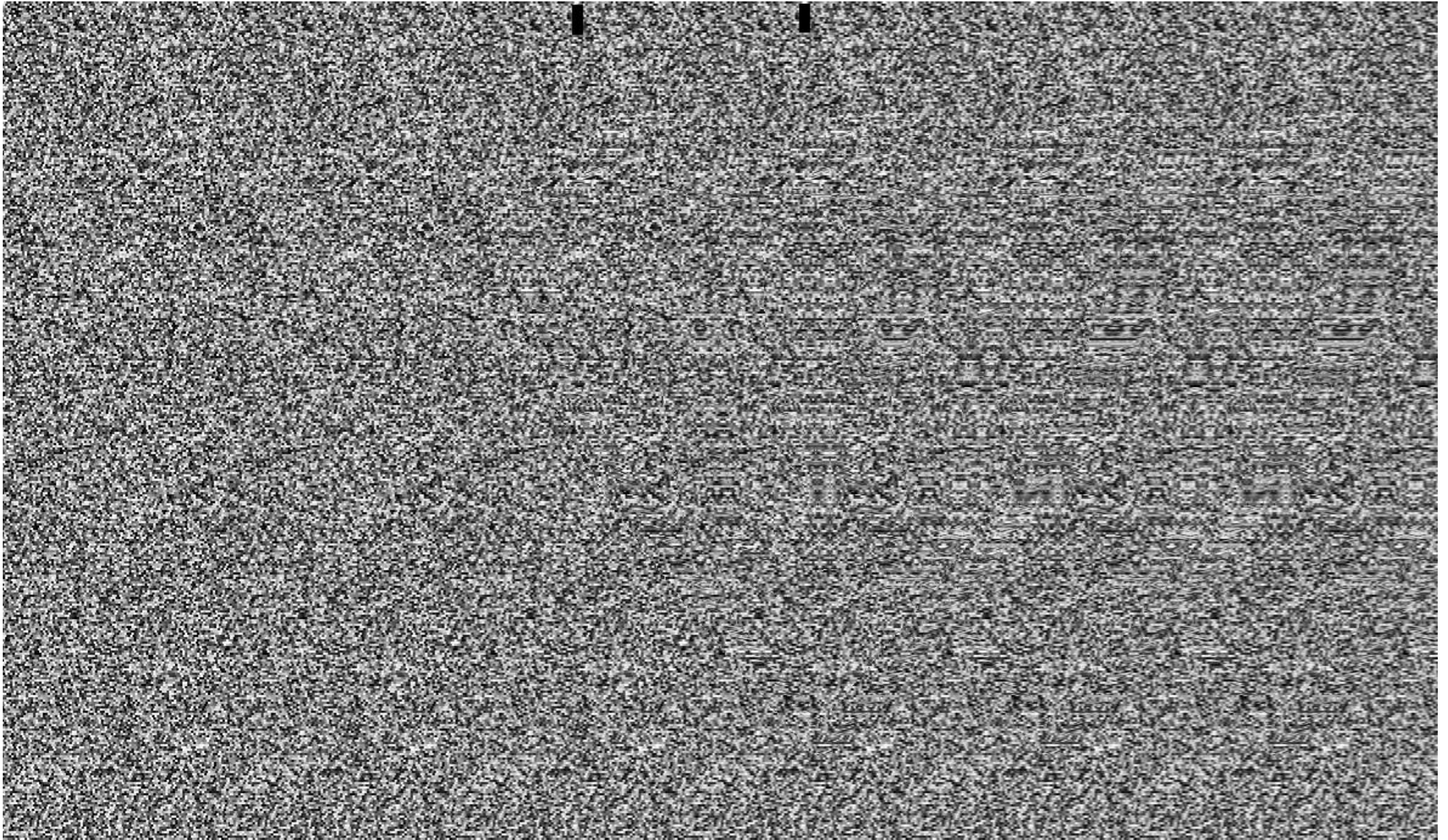
## **Přílohy**

Stereogram  
Anaglyf  
Anaglyf pomocí fundus kamery  
Streoskopický poloměr  
Free Vision  
Free Vision přes zrcátka

## **Volně vložená příloha**

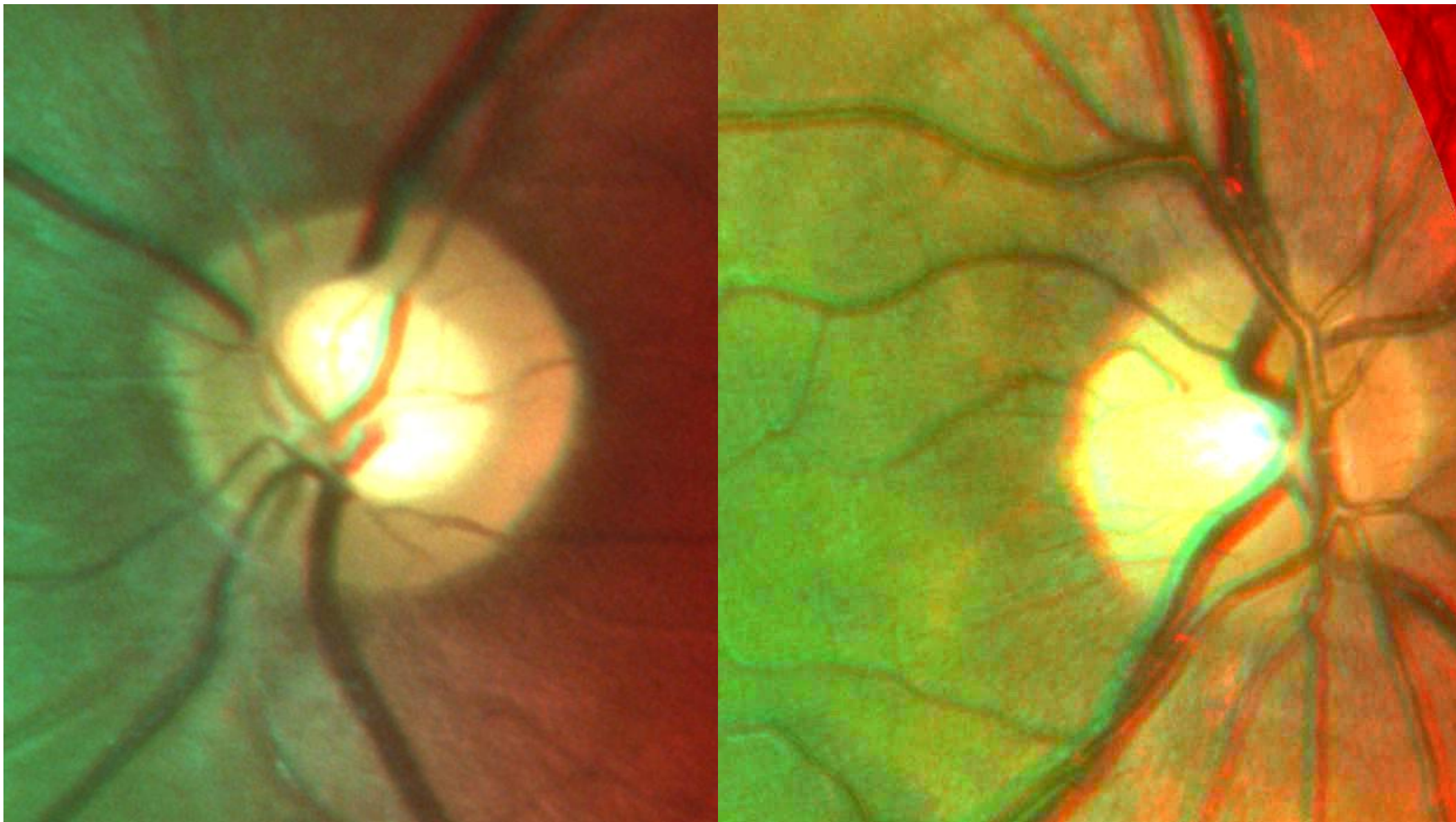
CD  
Brýle anaglyfické (red-cyan)  
Brýle Chromadepth  
Stereoskop  
10 stereoskopických párů pro stereoskop

**Stereogram (paraller eyed)**





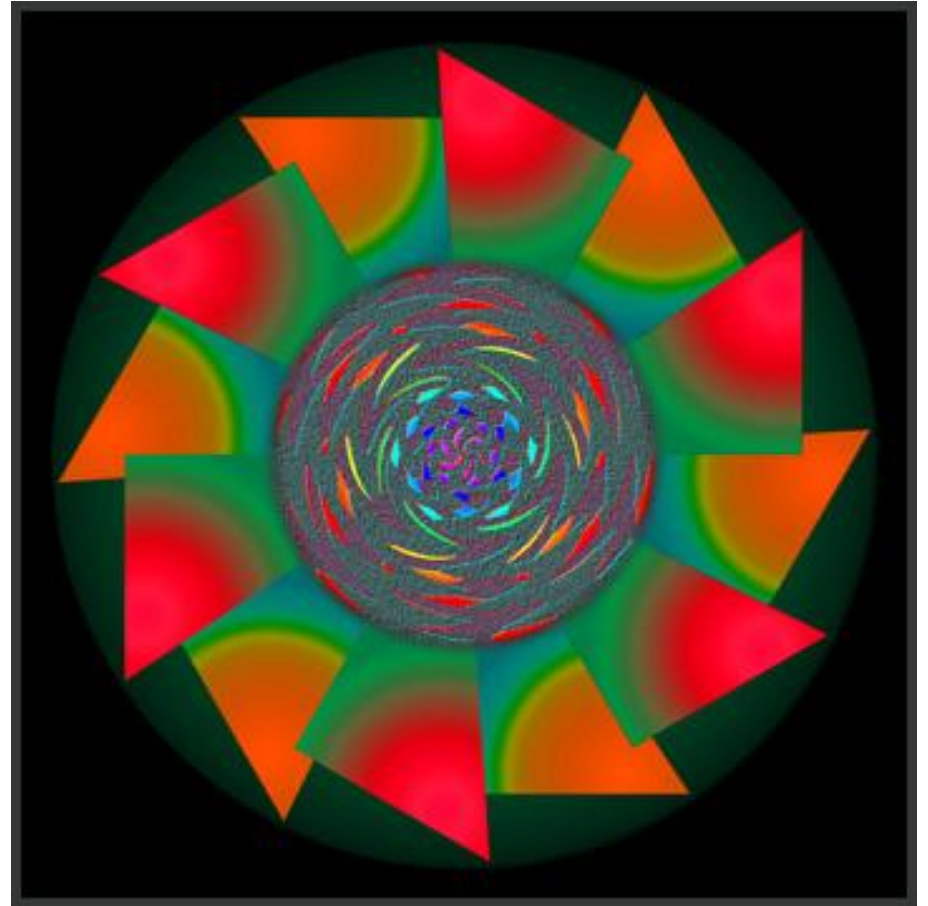
## Anaglyf pomocí funduskamery



## Anaglyp (Red-Cyan)



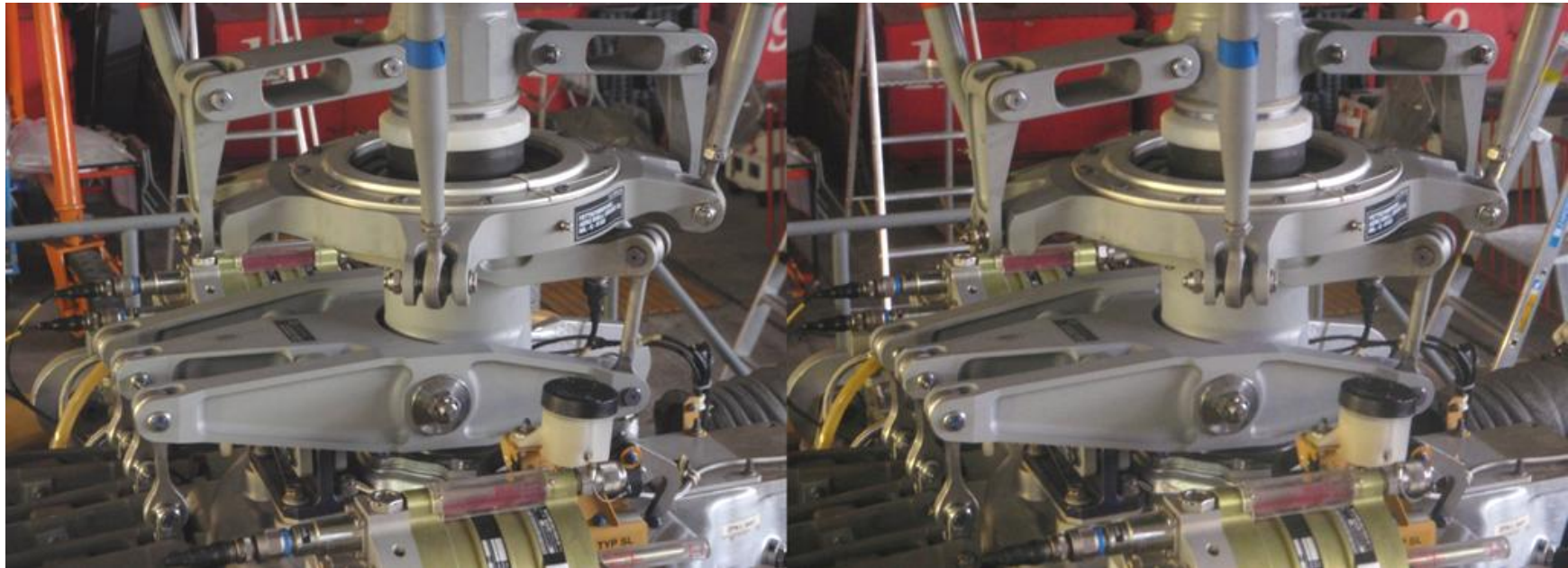
## Chromadepth



## Stereoskopický práh tabulka

		Pupilární distance [mm]																				
		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Stereoskopická paralaxa	10 "	1134,5	1155,1	1175,7	1196,3	1217,0	1237,6	1258,2	1278,8	1299,5	1320,1	1340,7	1361,3	1382,0	1402,6	1423,2	1443,9	1464,5	1485,1	1505,7	1526,4	1547,0
	15 "	756,3	770,1	783,8	797,6	811,3	825,1	838,8	852,6	866,3	880,1	893,8	907,6	921,3	935,1	948,8	962,6	976,3	990,1	1003,8	1017,6	1031,3
	20 "	567,2	577,5	587,9	598,2	608,5	618,8	629,1	639,4	649,7	660,0	670,4	680,7	691,0	701,3	711,6	721,9	732,2	742,6	752,9	763,2	773,5
	30 "	378,2	385,0	391,9	398,8	405,7	412,5	419,4	426,3	433,2	440,0	446,9	453,8	460,7	467,5	474,4	481,3	488,2	495,0	501,9	508,8	515,7
	60 "	189,1	192,5	196,0	199,4	202,8	206,3	209,7	213,1	216,6	220,0	223,5	226,9	230,3	233,8	237,2	240,6	244,1	247,5	251,0	254,4	257,8
	120 "	94,5	96,3	98,0	99,7	101,4	103,1	104,9	106,6	108,3	110,0	111,7	113,4	115,2	116,9	118,6	120,3	122,0	123,8	125,5	127,2	128,9
	240 "	47,3	48,1	49,0	49,8	50,7	51,6	52,4	53,3	54,1	55,0	55,9	56,7	57,6	58,4	59,3	60,2	61,0	61,9	62,7	63,6	64,5
	480 "	23,6	24,1	24,5	24,9	25,4	25,8	26,2	26,6	27,1	27,5	27,9	28,4	28,8	29,2	29,7	30,1	30,5	30,9	31,4	31,8	32,2
		Stereoskopický Poloměr [m]																				

**Free vision (crossed eyed)**



## Free vision přes zrcátko

