



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

HELMA PRO ROZŠÍŘENOU A VIRTUÁLNÍ REALITU

HELMET FOR VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Buš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Kamil Říha, Ph.D.

BRNO 2023

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Ondřej Buš

ID: 195821

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Helma pro rozšířenou a virtuální realitu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je zhotovení helmy, která bude sloužit ke shromažďování dat pro zpracování pomocí umělé inteligence a pro realizaci funkcí rozšířené a virtuální reality.

Student v rámci semestrální práce nastuduje problematiku komerčních náhlavních sad s podporou rozšířené a virtuální reality. Následně na tomto základě vytvoří fyzický návrh helmy realizující snímání a vizualizaci dat těchto technologií. Návrh bude počítat s tím, že na helmě budou zakomponovány i další zařízení: stereoskopická kamera ZED Mini, akcelerometr s magnetometrem a LCD displej. Součástí řešení bude také návrh jednotného fyzického rozhraní pro komunikaci s již existujícím přenosným PC a funkční propojení jednotlivých bloků v laboratorních podmínkách.

V rámci diplomové práce budou využity poznatky semestrální práce při samotném zhotovení helmy na 3D tiskárně, potřebných desek plošných spojů, funkční propojení všech součástí helmy a jejich kompletní montáž.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Peddie, J. Augmented reality, Springer, 2017

[2] Greengard, S. Virtual Reality, The MIT Press, 2019

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 19.5.2023

Vedoucí práce: doc. Ing. Kamil Říha, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

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

Diplomová práce se zabývá zhotovením funkčního headsetu pro konzumaci multimediálního obsahu. Nabyté teoretické znalosti byly využity při návrhu a sestavení výsledného headsetu.

Teoretické znalosti byly utvrzeny a rozšířeny o praktické zkoušky na aktuálně dostupných komerčních řešeních AR/VR headsetů.

Při praktickém návrhu bylo věnováno zvýšené úsilí o maximální možnou jednoduchost výsledného řešení. Komponenty, které byly při práci použité, lze získat relativně jednoduše přes internet.

S pomocí pokročilých technik se práce snaží optimalizovat obrazový zážitek. Jsou vybrány nejvhodnější parametry optických čoček. Optická soustava je vylepšena tak, aby poskytovala rozšířené horizontální zorné pole.

Práce se věnuje zhotovení headsetu metodou 3D tisku na 3D tiskárně. Následně jsou jednotlivé části složeny do jednoho funkčního celku.

Výstupem diplomové práce je funkční prototyp headsetu vhodný pro konzumaci multimediálního obsahu.

KLÍČOVÁ SLOVA

VR, AR, Virtuální, Rozšířená, Realita, Helma, Headset, 3D Tisk, 3D Tiskárna, Fresnelova čočka, Návrh, Realizace

ABSTRACT

The thesis focuses on the construction of a functional headset for multimedia content consumption. The acquired theoretical knowledge was used in the design and construction of the resulting headset.

The theoretical knowledge was consolidated and extended by practical tests on currently available commercial AR/VR headset solutions.

In the practical design, increased effort was made to keep the resulting solution as simple as possible. The components that were used in the work can be obtained relatively easily via the internet.

With the help of advanced techniques, the thesis tries to optimize the visual experience. The most suitable parameters of the optical lenses are selected. The optical system is enhanced to provide an extended horizontal field of view.

The thesis discusses the fabrication of the headset using the 3D printing method on a 3D printer. Subsequently, the individual parts are assembled into a single functional unit.

The result of the thesis is a working prototype headset suitable for multimedia content consumption.

KEYWORDS

VR, AR, Virtual, Augmented, Reality, Helmet, Headset, 3D Print, 3D Printer, Fresnel lens, Design, Realization

BUŠ, Ondřej. *Helma pro rozšířenou a virtuální realitu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 60 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Kamil Říha, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Bc. Ondřej Buš
VUT ID autora: 195821
Typ práce: Diplomová práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Helma pro rozšířenou a virtuální realitu

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Kamilu Říhovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
1 VR / AR systémy	12
1.1 VR systémy	12
1.2 AR systémy	13
2 Technologie	14
2.1 Vizuální soustava	14
2.1.1 Optická soustava	14
2.1.2 Klasické optické čočky	14
2.1.3 Fresnelovy čočky	15
2.1.4 Zornicová vzálenost	16
2.1.5 Displej	16
2.2 Senzory	19
2.2.1 Senzory umístěné na headsetu	19
2.2.2 Senzory umístěné v okolním prostředí	20
2.3 Řídící obvody	20
3 Komerčně dostupná řešení	21
3.1 Meta Quest 2 [8]	21
3.2 Meta Quest Pro [9]	21
3.3 Pimax 8KX [10]	21
4 Trendy a budoucnost	22
4.1 Budoucnost	22
4.1.1 Mikro LED displeje	22
4.1.2 Pancake optika	22
5 Technický návrh	24
5.1 Helma	24
5.1.1 3D Návrh	24
5.1.2 Designové prvky	26
5.1.3 Moduly	26
5.1.4 Parametry optické soustavy	28
5.1.5 Parametry displeje	30
5.1.6 Parametry čočky	30
5.2 Konektor	30
5.2.1 Inspirace pro sdílený datový konektor	31

5.2.2	Schéma zapojení	32
5.2.3	Návrh desky plošného spoje	33
6	Technické řešení	34
6.1	3D Tisk	34
6.1.1	Materiály	34
6.1.2	Tisk jednotlivých dílů headsetu	37
6.2	Řešení společného konektoru	40
6.2.1	Testování konektoru	41
6.3	Příprava stereokamery ZED Mini	43
6.3.1	Rozložení stereokamery	43
6.3.2	Příprava stereokamery	43
6.4	Konfigurace optické soustavy	44
6.4.1	Test ohniskových vzdáleností optických čoček	44
6.4.2	Test úrovně náklonu optických čoček	44
6.5	LCD Driver	47
6.5.1	Režimy zobrazení obsahu	47
6.5.2	Problémy pod operačním systémem Linux a integrovanými grafickými kartami AMD	48
6.6	Výsledná podoba headsetu	49
7	Možnosti vylepšení konstrukce headsetu	51
7.1	Snížení hmotnosti	51
7.2	Povrchová úprava	51
7.3	Společný datový konektor	51
7.4	Optická sestava	51
7.5	Výstelka vnitřní části headsetu	52
7.6	Ventilované části	52
8	Programové řešení	53
8.1	Čtení dat z akcelerometru a magnetometru MPU-9250	53
8.2	Zobrazení výstupu ze stereo kamery ZED Mini	54
8.3	Reshade - aplikace pro korekci barevné vady a deformace obrazu . . .	55
8.4	Použité filtry	55
	Závěr	56
	Literatura	57
	Seznam symbolů a zkratk	59

Seznam obrázků

1.1	Vzdálenost zornic	12
1.2	Vzdálenost kamer	13
2.1	Konvexní čočka	15
2.2	Fresnelova čočka	15
2.3	Uspořádání pixelů	18
5.1	3D Render	25
5.2	Horní pohled	25
5.3	Boční pohled	26
5.4	Horní pohled s moduly	27
5.5	Boční pohled s moduly	27
5.6	Navrhovaný optický systém	28
5.7	Výpočet maximálního úhlu refrakce paprsku	28
5.8	Výpočet maximální odpočinkové vzdálenosti	29
5.9	WAVESHARE DIY HDMI kabel s konektory	31
5.10	Schéma zapojení konektoru	32
5.11	Návrh desky plošného spoje	33
6.1	Vrchní a spodní díly headsetu	37
6.2	Prostřední část, spodní díl headsetu	38
6.3	Prostřední část, vrchní díl headsetu	38
6.4	Náhlavní opěrka	39
6.5	Neosazená DPS společného konektoru	40
6.6	Osazená DPS společného konektoru	40
6.7	Plochý kabel s koncovkami CENTRONICS použitý pro přenos signálu	41
6.8	Přenos HDMI signálu po kombinovaném konektoru, rozlišení 800x600	41
6.9	Ukázka chybně přeneseného HDMI signálu, rozlišení 1280x720	42
6.10	Rozložená stereokamera ZED Mini	43
6.11	Konstrukce optického systému bez náklonu	45
6.12	Pohled přes fresnelovu čočku natočenou o 5 stupňů	46
6.13	Konstrukce optického systému s náklonem 5 stupňů	46
6.14	Ovládací panel NVIDIA - podvzorkování barevných složek	48
6.15	Přední pohled na headset	49
6.16	Zadní pohled na headset	50
8.1	Ukázka schopností ZED SDK v herním engine Unity	54
8.2	Ukázka Direct3D aplikace používající ReShade	55

Úvod

Výkon moderních počítačových systémů umožnil vznik nových oblastí, konkrétně VR (virtuální realita – Virtual Reality) a AR (rozšířená realita – Augmented Reality).

Dnešní VR/ AR systémy spoléhají na výkonné a stacionární stolní počítače - to tyto systémy relativně velmi omezuje. Virtuální / rozšířená realita je zprostředkována pomocí VR / AR headsetů, které jsou pomocí USB (univerzální sériová sběrnice – Universal Serial Bus) kabelů připojeny k počítačům. Pokročilejší a dražší VR / AR headsety umožňují bezdrátový přenos informací bez limitující kabeláže, ty však mají jednu zásadní nevýhodu - zvýšenou hmotnost.

Cílem diplomové práce je navržení a sestavení funkčního prototypu VR / AR helmy, která odstraní základní nedostatky komerčně dostupných řešení (nutnost připojení k stacionárnímu počítači nebo přílišná bezdrátová hmotnost headsetu). Navržená AR / VR helma bude mít možnost komunikovat s přenosným počítačem. Dále by helma měla pohodlně umožňovat dlouhodobější nošení - vyšší jednotky až desítky hodin.

Součástí praktické části bude výběr vhodného materiálu pro samotný 3D tisk helmy ze seznamu nejvhodnějších materiálů. Další část bude věnována samotnému poskládání helmy.

Dalším cílem práce je návrh jednotného datového konektoru který bude jen minimálně omezovat pohyb uživatele. Kabel nebude veden po zemi ke konvenčnímu PC ale bude zapojen k přenosnému systému.

Návrh desky plošného spoje společného datového konektoru a jeho následné zhotovení bude rovněž součástí řešení. Společný datový kabel bude propojovat helmu s přenosným počítačem majícího podobu notebooku umístěného v batohu nebo na míru zhotoveného nositelného technologického kusu vybavení.

V neposlední řadě budou v praktické části nastíněny schopnosti helmy v představení příkladů použití s využitím nejrůznějších programů a knihoven.

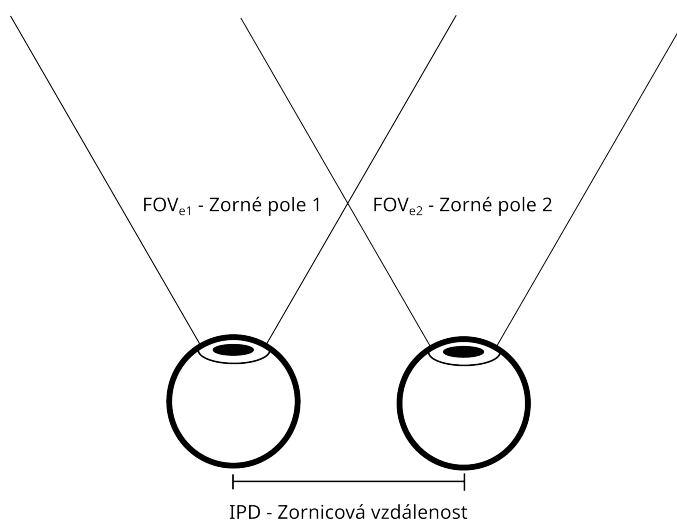
1 VR / AR systémy

AR a VR systémy jsou do určité míry odlišné. Liší se především v oblasti aplikace. Zatímco se VR používá především v oblasti multimediální zábavy, AR se používá také v oblasti vzdělávací. V následujících kapitolách budou rozdíly mezi těmito systémy představeny.

1.1 VR systémy

Pomocí VR headsetu se osoba přenesení do virtuálního, počítačem generovaného světa se kterým může interagovat pomocí VR ovladačů. Svět je vytvořen za pomoci výkonného počítače. Čím vyšší je výkon počítače, tím realističtější může virtuální prostředí být.

Headset je tvořen dvěma displeji - jeden displej pro každé oko. Obrazy na displejích nejsou totožné. Jsou navzájem odlišné v tom, že sice zobrazují stejnou scénu ale z různých pohledů, tedy perspektiv. Posun pohledů je ekvivalentní vzdáleností mezi očima. Lidský mozek tyto dva pohledy zpracuje a tím je vytvořena iluze hloubky.



Obr. 1.1: Vztah mezi vzdáleností zornic a jednotlivých perspektiv

Kamery se v tomto systému typicky nenacházejí, ale mohou. Slouží však především ke sledování okolí a uživatelova pohybu. Obrazy z kamer se uživateli nezobrazují a z tohoto důvodu nemusí mít takovou kvalitu jako kamery systému rozšířené reality.

1.2 AR systémy

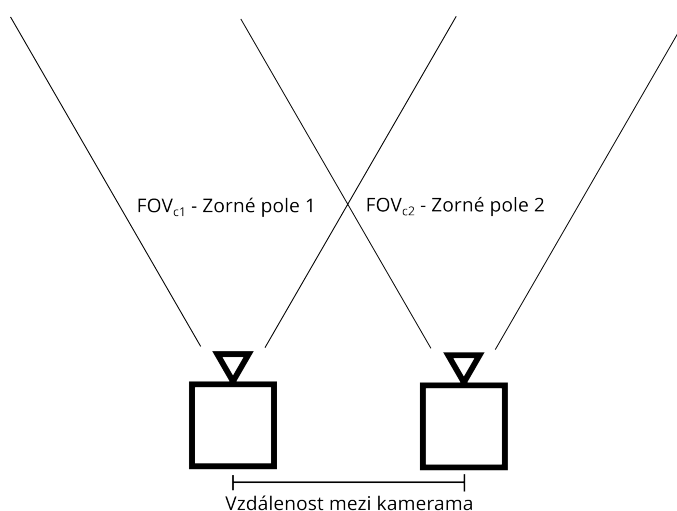
Systémy rozšířené reality AR (augmented reality) pracují na první pohled identicky jako systémy virtuální reality. Rozdíl spočívá ve způsobu vykreslování obrazu na displej kdy systém rozšířené reality pracuje primárně s obrazovými daty snímané speciální stereoskopickou kamerou.

Stereoskopická kamera se skládá ze dvou kamer, které jsou od sebe posunuty o určitou prostorovou vzdálenost. Vzdálenost je co nejbližší lidské vzdálenosti mezi očima - IPD (zornicová vzdálenost – Interpupillary Distance). Elektronická spoušť je mezi kamerami synchronizovaná tj. kamery snímají jednotlivé snímky oběmi kamerami ve stejný čas. Synchronizace je důležitá především při pohybu kdy by mezi snímky pořizenými v různý čas vznikaly prostorové posuny.

AR systémy musí disponovat dostatečně kvalitní stereoskopickou kamerou. Tato kamera musí mít dostatečné rozlišení - alespoň 720p a vyšší a dostatečnou rychlost snímání snímků (minimálně 60 snímků / vteřinu). Nižší frekvence mohou mít za následek vyvolání nevolnosti při používání AR headsetu. Uživatel se na první pohled jeví vše v pořádku, podvědomě je však mozek zmaten drobnými rozdíly mezi vjemy každodenního života a nedokonalého systému simulujícího dojem rozšířené reality.

Do obrazu zachyceného stereoskopickou kamerou se následně vloží počítačově generovaná informace. Ta může mít podobu 3D modelů nebo 2D informace promítnuté do prostředí.

Velice důležitý parametr kamer je FoV (zorné pole – Field of View). Je to velmi často limitující faktor, protože lidské oko má zorné pole podstatně větší než je zorné pole kamery.



Obr. 1.2: Vztah mezi vzdáleností kamer a jednotlivých perspektiv

2 Technologie

V dalších kapitolách bude podrobně rozebrán princip dílčích stěžejních částí VR / AR systémů - konstrukce, optické soustavy, senzory a řídicí obvody.

2.1 Vizuální soustava

Vizuální soustavy komerčních VR / AR headsetů se starají o zprostředkování vizuálního zážitku. Obsahují dvě hlavní součásti - displej a optickou soustavu. V následujících kapitolách budou popsány základní principy a důležité parametry jednotlivých součástí.

2.1.1 Optická soustava

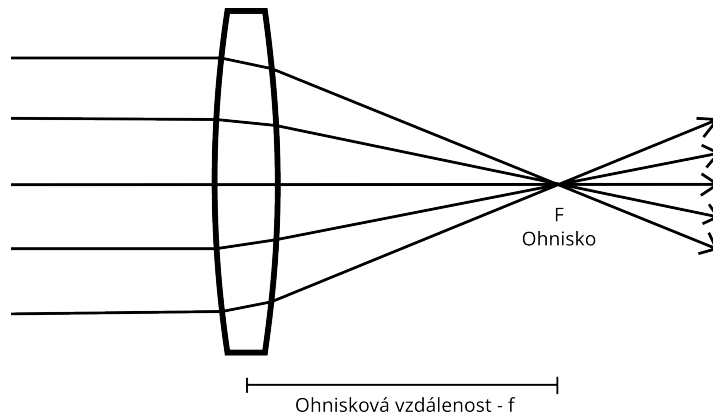
Optická soustava určuje některé základní vlastnosti obrazu headsetů. Mezi ně se řadí velikost zorného pole, kvalita obrazu a váha headsetu. Váha headsetu je částečně dána typem použité optické čočky.

Ve VR / AR headsetech se používají konvexní typy čoček. Z konvexních čoček se používají především čočky bikonvexní a plankonvexní. Druh čočky závisí na požadovaných parametrech, především na ohniskové vzdálenosti.

2.1.2 Klasické optické čočky

V komerčních řešeních převažují především dva typy čoček. V prvních návrzích VR headsetů převládaly klasické optické čočky vyrobené z optického skla nebo plastové optické čočky vyrobené z akrylátového skla. Akrylátové sklo disponuje výbornou průhledností, propustností světla, odolností vůči vnějším vlivům. Zároveň je však náchylné na vysoké teploty nebo absorpci vody (dochází poté ke změně indexu lomu světla). [1] S postupem času začaly klasické optické čočky nahrazovat fresnelovy optické čočky.

Klasické optické čočky mají výhodu z pohledu kvality obrazu, kdy díky jednoduché konstrukci čočky nedochází k dalším deformacím obrazu. K nevýhodám se řadí řádově vyšší hmotnost v případě čoček vyrobených z optického skla. Problém s váhou řeší možná výměna materiálu z optického skla na akrylátové sklo. Další nevýhodou klasických čoček je jejich větší tloušťka která nemůže konkurovat tloušťce fresnelových čoček.

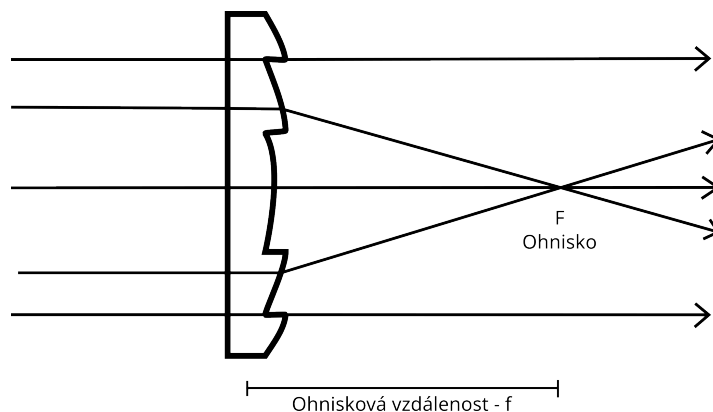


Obr. 2.1: Konvexní optická čočka

2.1.3 Fresnelovy čočky

Fresnelovy čočky nabízí řadu výhod v aplikacích VR / AR systémech oproti čočkám klasickým. Mezi výhody lze zařadit nízkou hmotnost. Ta je způsobena výrobní technologií fresnelových čoček. Fresnelovy čočky jsou tlusté pouze jen několik málo milimetrů. Navíc jsou fresnelovy čočky vyráběné výhradně z plastových materiálů. Volně dostupné jsou fresnelovy čočky o tloušťkách 2 až 3 milimetrů.

Hlavní nevýhodou fresnelových čoček je zhoršená kvalita obrazu - tato nevýhoda však ve VR / AR aplikacích není příliš patrná (limitace kvality obrazu pochází především z jiných zdrojů - kvality displeje). Mezi další nevýhodou se řadí rozptyl světla procházející fresnelovou čočkou, to má za následek nižší hladinu jasu obrazu vnímaného pozorovatelem. Přestože je nevýhod více, jsou pro VR / AR aplikace méně podstatné, z těchto důvodů jsou v moderních headsetech preferovány fresnelovy čočky oproti čočkám klasickým.



Obr. 2.2: Fresnelova optická čočka

2.1.4 Zornicová vzdálenost

Z důvodu uspokojení co možná nejširší uživatelské základny je důležitá i další funkcionality headsetu. Nastavitelná vzdálenost čoček mezi očními zorničkami (IPD). Chybné nastavení této vzdálenosti má za následek situaci kdy se osa čočky neshoduje s osou oční zornice. Uživatel headsetu může po chvíli používání headsetu pociťovat nevolnost z důvodu rozdílné deformace obrazu než na kterou je člověk z běžného života zvyklý.

Z amerického průzkumu [2] vyplývá, že průměrná vzájemná vzdálenost očních zornic je u žen 62 milimetrů a u mužů 64 milimetrů. Pro obsažení většinové populace jsou důležité i další percentily - pátý a 95tý. Minimální naměřená vzdálenost byla pro muže 53 milimetrů a pro ženy 51 milimetrů přičemž maximální vzdálenost byla pro muže naměřena 77 milimetrů a 74,5 milimetrů pro ženy. Tato vzdálenost závisí především na pohlaví, rase a věku člověka.

Pohlaví	Minimum	Maximum	5tý percentil	50tý percentil	95tý percentil
Žena	51 mm	74,5 mm	55,5 mm	62mm	67,5 mm
Muž	53 mm	77 mm	58,5 mm	64mm	70 mm

Tab. 2.1: Rozložení zornicové vzdálenosti v populaci

2.1.5 Displej

Displej je velice důležitou součástí jakéhokoliv VR / AR headsetu. Jeho kvalita a výrobní technologie určují základní kvalitativní parametry celkového obrazového vjemu. Za důležité parametry lze pokládat výrobní technologii displeje, rozlišení, maximální jas, obnovovací frekvenci a v neposlední řadě také způsob uspořádání pixelů. Níže budou rozebrány jednotlivé parametry.

Rozlišení

Rozlišení displeje je ve VR / AR aplikacích velice důležité. Při průchodu obrazu přes optickou soustavu je obraz deformován a tím se zmenšuje efektivní plocha jelikož je třeba deformaci korigovat oříznutím obrazu. Obraz je pozorován z malé dálky - tím se snižuje zdánlivá hustota pixelů pozorovaného obrazu. Z tohoto důvodu je snaha používat displeje s co možná nejvyšším rozlišením. Příliš velké rozlišení displeje má však za následek zvýšené požadavky na hardware, který obraz vykresluje. V případě mobilního systému vysoké rozlišení negativně ovlivňuje výdrž na baterii.

Dnešní technologie bohužel nedokáží vykreslit obraz na tak krátkou vzdálenost bez toho aniž by uživatel dokázal rozpoznat jednotlivé pixely. Schopnost rozpoznat

jednotlivé pixely definuje zraková ostrost (anglicky visual acuity distance). Zdravé lidské oko je schopno rozeznat malé detaily do velikost jedné úhlové minuty. [3] Pokud je detail, v našem případě pixel, menší než jedna úhlová minuta, pak již nelze takto malé detaily lidským normálním viděním rozpoznat. Tohoto se využívá u návrhu displejů, kdy je snaha umístit uživatele do takové vzdálenosti od obrazovky aby jednotlivé pixely od sebe nedokázal rozeznat.

U VR headsetů měříme hustotu pixelů pomocí výpočtu PPD (počet pixelů na 1 stupeň – Pixels Per Degree). Naměřené hodnoty jednotlivých headsetů jsou uvedeny níže.

Headset	Typ displeje	Rozlišení displeje	FoV	Frekvence	PPD
Valve Index	LCD RGB	1440x1600	130	144 Hz	11,07
HTC Vive	AMOLED Pentile	1080x1200	110	90 Hz	9,81
HTC Vive Focus	AMOLED Pentile	1440x1600	110	75 Hz	13,09
Oculus Rift S	LCD RGB	1280x1440	95	80 Hz	11,63
Oculus Quest	OLED Pentile	1600x1440	95	72 Hz	14,4
PiMAX 8K X	CLPL	3840x2160	200	90 Hz	19,2

Tab. 2.2: Srovnání PPD vybraných headsetů

Z naměřených hodnot je patrné, že žádný z uvedených headsetů nedokázal překročit hodnotu PPD 60 (hodnota zrakové ostrosti, při níž pozorovatel nedokáže rozlišit jednotlivé pixely). U všech uvedených headsetů jsou jednotlivé pixely proto navzájem rozeznatelné.

Výrobní technologie

Výrobní technologie hraje při výběru displeje stěžejní roli. Dnes jsou nejrozšířenější dvě hlavní technologie používané v headsetech - každá se svými klady a zápory.

OLED / AMOLED

OLED (Organic Light-Emitting Diode) / AMOLED (Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) panely jsou tvořeny miniaturními LED (elektroluminiscenční dioda – Light-Emitting Diode). Každý bod se zpravidla skládá ze tří různobarevných LED diod - červené, zelené a modré. Někteří výrobci mezi tyto diody vkládají i diody bílé s cílem zvýšit maximální jas displeje. Mezi výhody těchto displejů se řadí relativně nízká spotřeba, vysoký kontrastní poměr (displej může reprodukovat černou prostým zhasnutím určitých LED diod) a lepší odezva displeje. Tento druh displejů má však i své nevýhody - vyšší pořizovací cenu, nižší hustotu pixelů a často i nevhodný způsob uspořádání pixelů - tomu bude věnována větší pozornost dále.

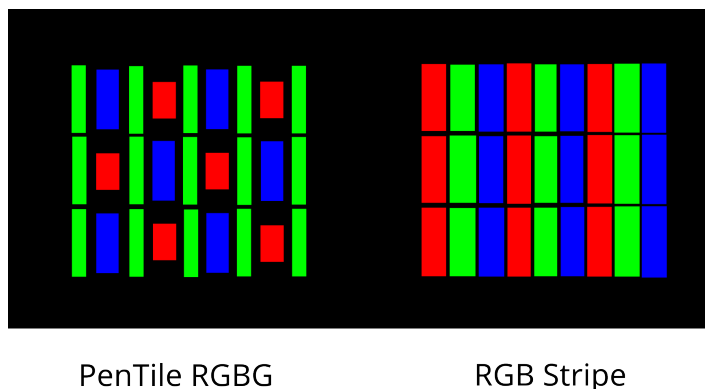
Tyto displeje se používaly u raných VR headsetů. Protože ale měly nevhodné uspořádání pixelů (PenTile RGBG), nahradily je IPS displeje. Aktuálně se dražší VR headsety vrací k OLED / AMOLED panelům díky jejich lepším vlastnostem a vhodnějšímu uspořádání pixelů RGB Stripe.

IPS

IPS displeje pracují na poněkud odlišné technologii. Displej je z nejnižší vrstvy osvětlování pomocí LED homogenní vrstvy. Bílé světlo se poté průchodem přes další vrstvy postupně filtruje a tím z našeho pohledu mění barvy a jas. Nevýhodou tohoto typu displeje je nízký kontrastní poměr (černá barva nelze reprodukovat protože bílé světlo nelze úplně odfiltrovat - v těchto místech může pozorovatel pozorovat místo černé barvy odstíny šedé) a nižší věrnost barev. Výhod je několik - nízké pořizovací náklady a vhodnější uspořádání pixelů než v případě OLED / AMOLED displejů.

Uspořádání pixelů

Uspořádání pixelů displeje hraje při celkovém dojmu z výsledné kvality obrazu důležitou roli. IPS displeje se vyrábí nejčastěji s uspořádáním RGB Stripe - každý pixel se skládá z RGB subpixelů uspořádaných ve mřížce. To má za výhodu lepší čitelnosti textů. OLED / AMOLED displeje se nejčastěji vyrábí s uspořádáním PenTile RGB což má za následek zhoršení čitelnosti textu ale zároveň prodloužení životnosti panelu [5]. Ukázka jednotlivých uspořádání pixelů je znázorněna na obrázku 2.1.5. OLED / AMOLED trpí i takzvaným efektem dveří (anglicky door effect), kdy je z důvodu chlazení jednotlivých LED zvýšena vzájemná vzdálenost mezi pixely - velice nepříjemná věc z pohledu VR / AR aplikací. Dražší OLED / AMOLED displeje přichází s uspořádáním RGB Stripe, ale ty jsou technologicky vyspělejší a na trhu relativně málo dostupné.



Obr. 2.3: Uspořádání pixelů - PenTile OLED, RGB Stripe IPS

Obnovovací frekvence

Poslední z důležitých parametrů je obnovovací frekvence panelu. Zatímco se při běžném používání displejů většina uživatelů spokojí se 60 Hz, ve VR / AR aplikacích je důležité tuto frekvenci ještě zvýšit. Při vyšších obnovovacích frekvencích se obraz jeví plynulejší a zároveň je snížena i doba odezvy displeje. Vyšší frekvence pomáhají předcházet pocitům nevolnosti při používání VR / AR headsetů. V dnešní době je za minimum pro VR / AR aplikace považováno 72 Hz. [7] většina dnes dostupných VR headsetů používá panely s minimální obnovovací frekvencí 90 Hz.

2.2 Senzory

Pro zajištění interaktivity s virtuálním světem nesmí v systému VR / AR chybět senzory. Senzory lze z pohledu umístění rozdělit do dvou kategorií - senzory umístěné lokálně na headsetu a senzory umístěné globálně v prostředí. Současné použití obou typů senzorů zlepšují přesnost sledování pohybu uživatele v prostoru.

2.2.1 Senzory umístěné na headsetu

Lokální senzory umístěné na headsetu lze rozdělit na vizuální, prostorové a zvukové.

Mezi vizuální senzory se řadí kamery. Ty bývají běžným vybavením AR headsetů. Slouží k zaznamenávání okolí, které je počítačově upraveno a následně zobrazeno uživateli. Z kamer lze vyčíst i další informace. Příkladem může být vzdálenost jednotlivých objektů v okolí (hloubka) nebo detekce konkrétních vlastností obrazu (detekce hran).

Z prostorových senzorů lze uvést například IMU (inerciální měřicí jednotka – Inertial Measuring Unit). Jedná se o senzor měřící změnu momentu kombinující akcelerometr a gyroskop (případě i magnetometr v případě pokročilejších jednotek). Dalšími zástupci prostorových senzorů jsou detektory přiblížení pracující na principu odraženého laserového paprsku od překážky. Hlavní úkol prostorových senzorů je sledování pohybu uživatele a zajištění interakce s virtuálním světem.

V neposlední řadě bývají do headsetů instalovány i zvukové senzory. Mikrofony jsou již dnes v každém moderním headsetu. Primární účel je zjevný - relativně kvalitně zaznamenávat hlas uživatele. Pokud by byly umístěny mimo headset, například v místnosti, zhoršila by se celková kvalita zachyceného audia. Mikrofony jsou v dnešní době velice levné a proto i rozšířené.

2.2.2 Senzory umístěné v okolním prostředí

Globální senzory bývají umístěné v prostředí, ve kterém se uživatel headsetu pohybuje. Používají se především ve VR systémech.

Do této kategorie patří základnové stanice (anglicky Base stations). Senzory zaznamenávají přesnou polohu uživatele v rámci vytyčeného prostoru. Pokud se uživatel blíží k hranicím definovaného prostoru, může jej na tuto skutečnost headset upozornit. To se využívá k zajištění bezpečnosti uživatele - minimalizuje četnost situací kdy by si uživatel nevšiml překážky v prostředí např. zdi.

Základnové stanice fungují na principu vysílání IR (infračervené – Infrared) světla. VR / AR headsety infračervené světlo přijímají a na základě tohoto určují polohu uživatele v rámci vytyčeného prostoru. Informace o poloze je dále předána i počítači. Tento typ využívá například HTC Vive. [6]

Existuje i další varianta - headset a ovladače vysílající IR záření a senzory v prostoru snímající polohu zařízení. [6]

2.3 Řídící obvody

V komerčně dostupných headsetech se vyskytují základní desky, na kterých jsou umístěny řídicí obvody.

Moderní headsety obsahují celý počítač, který má za úkol připravit obraz na vykreslení headsetem. Tento mini počítač je většinou poháněn dostatečně výkonným ARM procesorem. Za úkol má primárně komunikaci se senzory v rámci headsetu, ovladači a přípravu obrazu na vykreslení. Aplikuje korekční deformace a interpolaci snímků pro zvýšení plynulosti vizuálního zážitku.

Bezdrátové headsety obvykle obsahují i akumulátor a musí se proto po určitém čase znovu nabít. Výdrž akumulátoru se liší headset od headsetu, ale obecně se snaží výrobci výdrž na akumulátor co nejvíce prodloužit.

3 Komerčně dostupná řešení

V této kapitole budou uvedeny některá komerčně dostupná řešení. Budou uvedeny relativně známé modely nebo modely vynikající v některé z kategorií.

3.1 Meta Quest 2 [8]

Meta Quest 2 byl vydán 13. října 2020. Patří k cenově dostupnějším headsetům. Pořizovací cena 128 GB varianty je v přepočtu 12500 Kč.

Obsahuje dva displeje, každý s rozlišením 1832x1920 px. Podporované obnovovací frekvence displeje jsou 60, 72 a 90 Hz. Headset je kompatibilní s dioptrickými brýlemi.

Headset disponuje interním úložným prostorem ve velikostech 128 GB a 256 GB.

3.2 Meta Quest Pro [9]

Meta Quest Pro byl uveden 25. října 2022. Jedná se o high-end headset s cenou v přepočtu 25000 Kč. Byl navržen pro AR / VR aplikace.

Tento model je pokročilejší než jeho levnější předchůdce - Meta Quest 2. Využívá pokročilou optickou soustavu - Pancake optiku, která výrazně snižuje potřebné množství místa.

Uvnitř se nachází dva displeje. Rozlišení každého z displejů je 1800x1920 px. Horizontální FoV je 106 stupňů a vertikální 96 stupňů. Obnovovací frekvence displejů modelu je 90Hz.

Jedná se aktuálně o jeden z nejkompaktnějších modelů na trhu.

3.3 Pimax 8KX [10]

Pimax 8KX byl vydán v roce 2019. V té době to byl průkopník v oblasti kombinace vysokého rozlišení displeje a velikostí zorného pole. Headset patří k těm dražším. V době psaní této práce činila jeho cena v přepočtu 36000 Kč.

Displeje obsahuje dva, každý s rozlišením 4K. V kombinaci s fresnelovými čočkami, které umožňují pozorovací úhel až 200 stupňů se jedná o to nejlepší, co lze aktuálně na trhu získat. Jediná menší nevýhoda tohoto headsetu je nižší obnovovací frekvence displeje která činí pouze 90 Hz.

4 Trendy a budoucnost

V oblasti VR / AR headsetů je obecně snaha mezigeneračně snižovat rozměry pomocí nových optických soustav. Trendem bezdrátových headsetů je zvyšování výdrže interní baterie tak, aby byl uživatel headsetu nucen baterii co nejméně nabíjet. Obecně se snaží výrobci snižovat rozměry samotných headsetů a vylepšovat ergonomii za účelem dlouhodobého pohodlného nošení.

4.1 Budoucnost

Aktuálně lze sledovat rychlý vývoj dvou technologických linií. První z nich používá ke zmenšení celkových rozměrů headsetu Mikro LED displejů. Druhá je samotný typ optické soustavy - Pancake optika, která drasticky snižuje potřebnou vzdálenost mezi optickými čočkami a displejem a tím umožňuje celkové zmenšení headsetu.

4.1.1 Mikro LED displeje

Jedná se o displeje pracující na principu LED světelných bodů. Lze říct, že se jedná o podobnou technologii OLED / AMOLED displejům. Hlavní rozdíl spočívá v hustotě pixelů a délce životnosti panelu.

V době psaní této práce byly dostupné Mikro LED displeje o velikosti 15x9 mm s rozlišením 1920x1080, přičemž dostupné OLED displeje měly rozlišení 1920x1080 ale s mnohem většími rozměry - 51x51 mm.

Výrobci navíc slibují zvýšenou životnost Mikro LED displejů oproti klasickým OLED / AMOLED displejům.

4.1.2 Pancake optika

Pancake optika odstraňuje základní problém dnešních VR /AR headsetů - jejich přílišnou velikost. Pancake optika využívá dvou optických čoček umístěných těsně za sebou. Displeje jsou založeny na technologii Mikro LED. Tato technologie se již řadu let testuje v laboratořích a využívá v armádě. Nově existují i komerčně dostupná řešení.

Technologie skládané optiky má i své nedostatky - trpí zjevováním příznaků způsobené několikanásobným odrazem světla od obou optických čoček. Problému lze částečně předcházet nahrazením jedné plastové čočky precizní čočkou z optického skla. Bohužel se tím zvyšují náklady na výrobu. [11]

Pancake optická soustava trpí sníženou velikostí zorného pole.

Kopin P95

Řešení nedostatků dosavadních návrhů designu koláčových optik slibuje nový druh skládané optiky pojmenovaná Kopin P95. Revoluční je v použití obou čoček z plastového materiálu a zároveň schopnosti potlačit zjevování přízraků. Zlepšila se také kvalita obrazu oproti předchozím designům koláčové optiky. [11]

I tento design společně s Pancake optickou soustavou trpí sníženou velikostí zorného pole oproti konvenčním optickým soustavám.

5 Technický návrh

Hlavní cíle návrhu budou reflektovat způsob používání. Helma by v budoucnu měla být využívána primárně ve vnějších prostorech. Předmětem práce je vytvoření prototypu helmy který se svými vlastnostmi bude přibližovat zadaným požadavkům v konečném řešení. Bude požadována určitá míra odolnosti před vnějšími elementy. Helma musí být relativně kompaktní a prakticky odložitelná v případě nutnosti.

5.1 Helma

Původní koncept helmy počítal s uzavřeným designem. Postupem času společně se změnou požadavků které byly na helmu kladeny se proměnil i výsledný návrh. Uzavřený koncept helmy by nebyl v reálném použití příliš praktický.

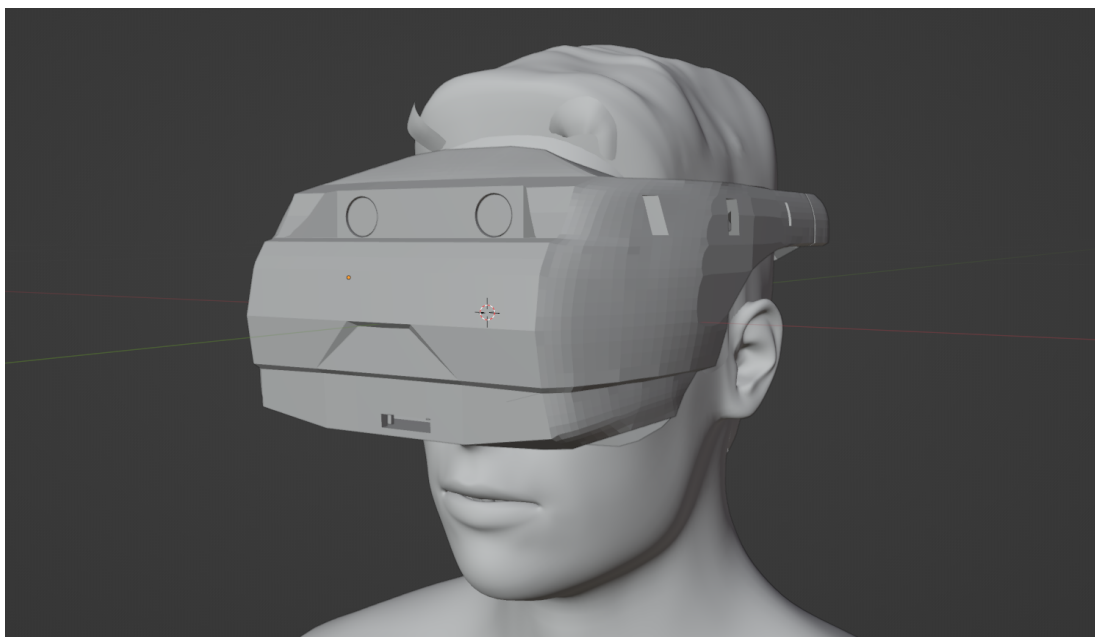
S uzavřeným konceptem helmy bylo několik problémů. Hlavním problémem uzavřeného konceptu helmy byly limitované možnosti odvětrávání. Dalším problémem uzavřeného konceptu byla jeho nepraktičnost - helma byla větší a tím i méně praktická, navíc větší množství materiálu zvyšuje celkovou váhu.

Výše uvedené nedostatky lze řešit otevřeným konceptem. Ten má jedinou nevýhodu - snížení odolnosti vůči vnějším vlivům. Existují však i jiné možnosti ochrany před vnějšími vlivy, které tento design umožní použít i ve vnějším prostředí.

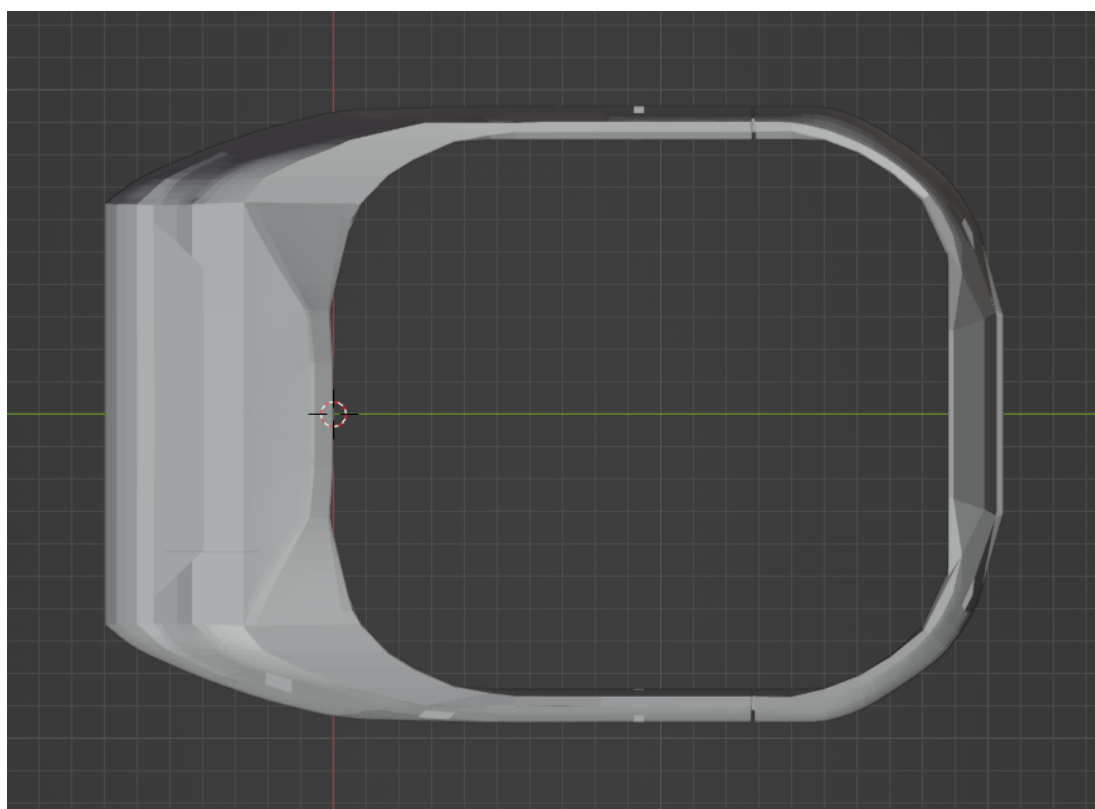
5.1.1 3D Návrh

Helma byla navržena v programu Blender. Jedná o otevřený software (anglicky open source), který umožňuje vytváření 3D modelů, animování, texturování ale i 2D kreslení či editaci videa.

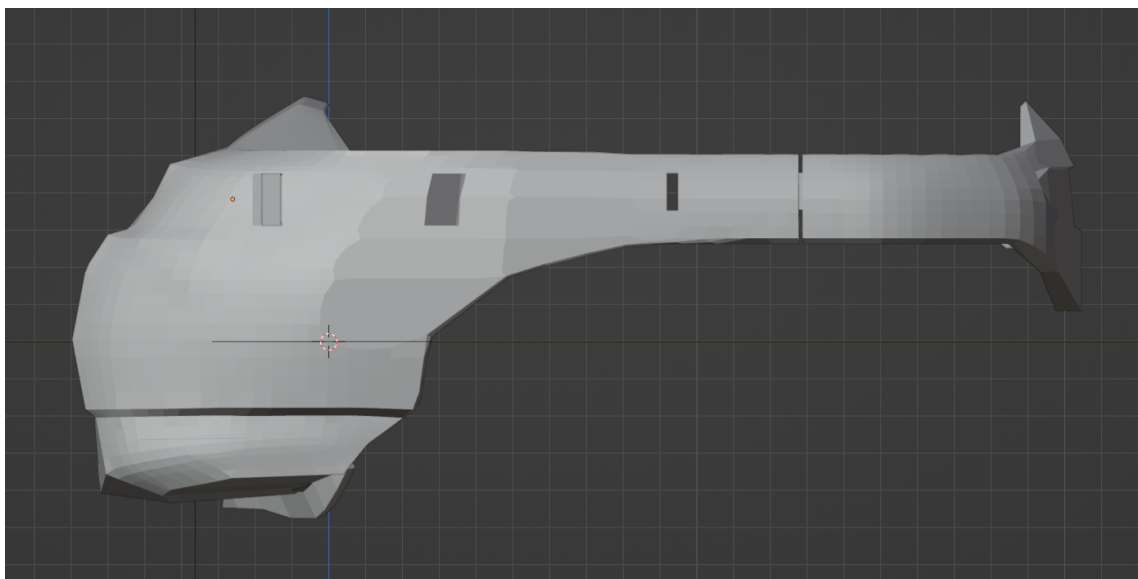
Samotný design helmy byl velice zdlouhavou částí práce. Helma bude nošena ve vnějších prostorech ale díky několika desítkám iterací designu headsetu bylo dosaženo relativně uspokojivé úrovně vizuálního designu.



Obr. 5.1: 3D návrh helmy



Obr. 5.2: Horní pohled



Obr. 5.3: Boční pohled

5.1.2 Designové prvky

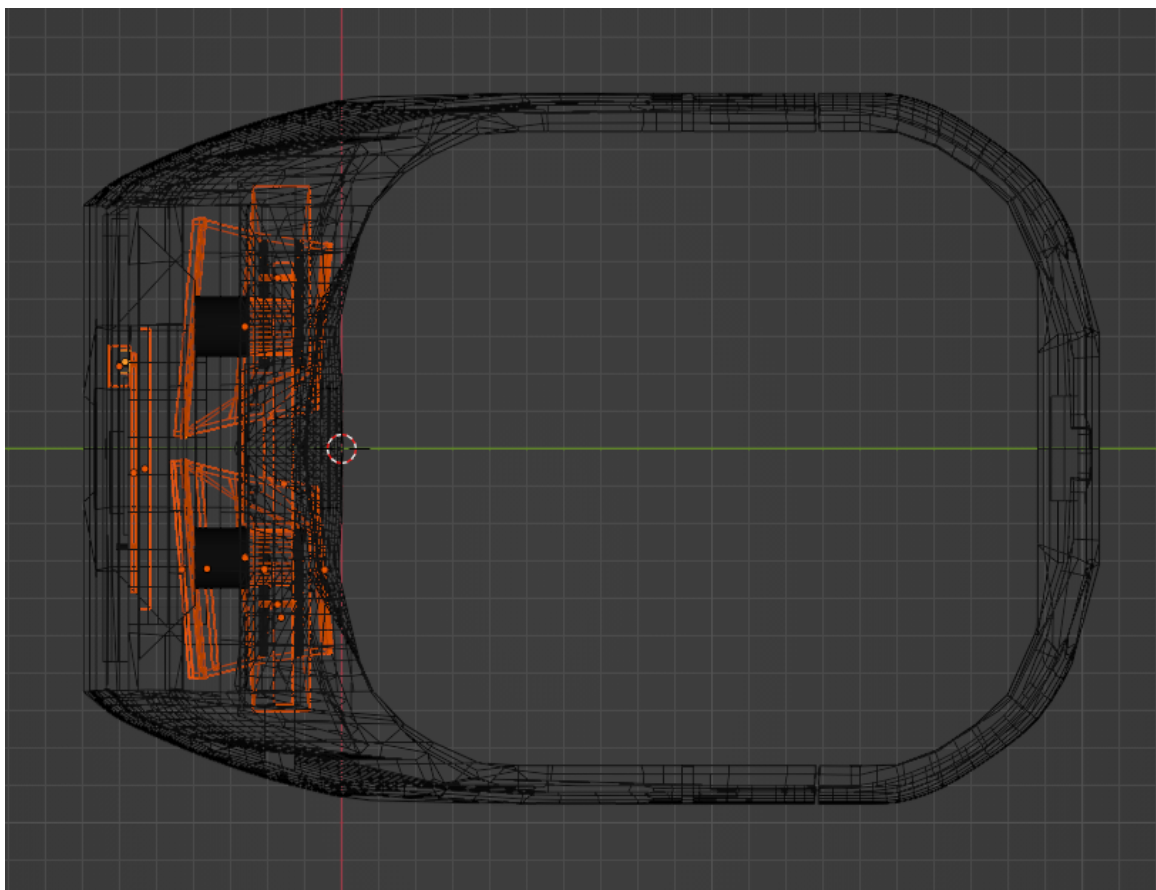
Výsledný headset je do určité míry, pro zaručení praktičnosti, kompromisem. Jak už bylo zmíněno výše, byla zmenšena celková velikost konstrukce díky otevřenému designu. Snižuje se tím odolnost vůči vnějším vlivům, ale zároveň se zvyšuje praktičnost.

V rámci prototypu nebude optická soustava podporovat nošení dioptrických brýlí. Tato možnost by nadměrně zvětšovala konečný design a tím negativně ovlivňovala celkovou praktičnost a pohodlí při dlouhodobějším nošení.

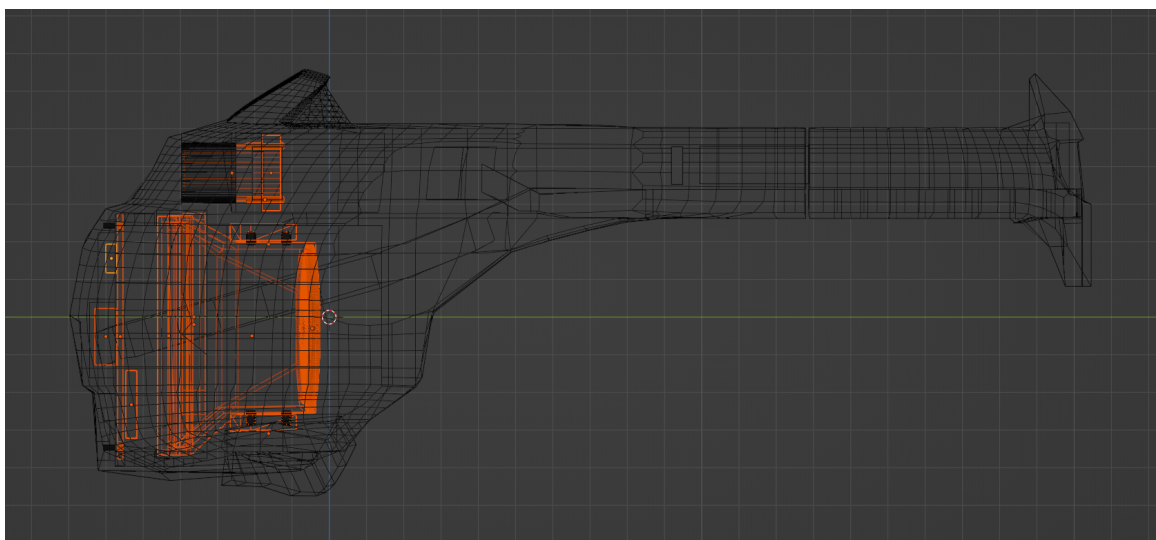
Headset bude disponovat nastavitelnou náhlavní částí. Ta bude mít za úkol pevně přidržovat helmu na hlavě. Opěrnými body bude přední a zadní strana hlavy.

5.1.3 Moduly

Headset obsahuje řadu modulů: optickou soustavu a stereo kameru. Umístění jednotlivých komponent je zobrazeno na obrázcích 5.4 a 5.5.



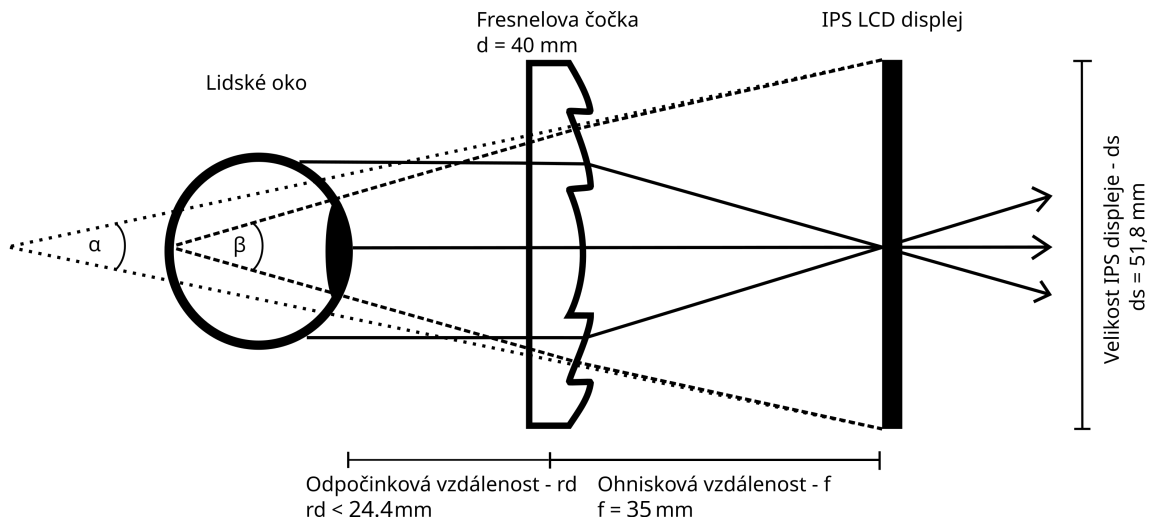
Obr. 5.4: Horní pohled na moduly



Obr. 5.5: Boční pohled na moduly

5.1.4 Parametry optické soustavy

Optická soustava byla navržena s požadavkem co možná nejmenší velikosti. To zahrnuje nastavení parametrů a výběru vhodných součástí popsanych níže.

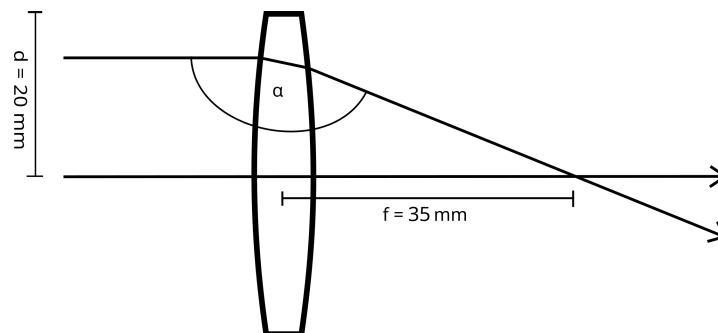


Obr. 5.6: Navrhovaný optický systém

Úhel α je úhel zorného pole bez použití optické čočky. Úhel β je úhel zorného pole upravený vlastnostmi použité fresnelovy čočky.

Pro výpočet odpočinkové vzdálenosti bude potřeba vypočítat maximální úhel refrakce paprsku.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{f}{d}\right) \cdot \frac{180}{\pi} + 90^\circ = \arctan\left(\frac{35}{20}\right) \cdot \frac{180}{\pi} + 90^\circ = 150,25^\circ$$



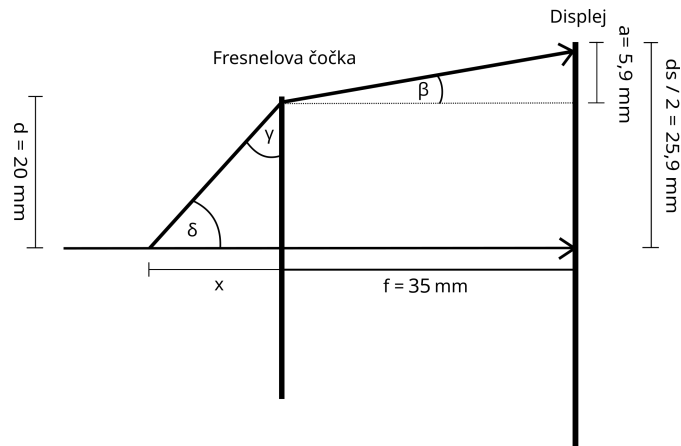
Obr. 5.7: Výpočet maximálního úhlu refrakce paprsku

Následně lze spočítat maximální odpočinkovou vzdálenost pomocí několika pomocných výpočtů.

$$\beta = \arctan\left(\frac{a}{f}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = \arctan\left(\frac{5,9}{35}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 9,57^\circ$$

$$\gamma = \alpha - \beta - 90^\circ = 150,25^\circ - 9,57^\circ - 90^\circ = 50,68^\circ$$

$$\tan(\gamma) = \left(\frac{x}{d}\right) \Rightarrow x = \tan(\gamma) \cdot d = \tan(50,68) \cdot 20 = 24,41 \text{ mm}$$



Obr. 5.8: Výpočet maximální odpočinkové vzdálenosti

Nakonec lze vypočítat FoV (δ) a PPD.

$$FoV = \arctan\left(\frac{d}{x}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 2 = \arctan\left(\frac{20}{24,41}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 2 = 78,66^\circ$$

$$PPD = \left(\frac{\text{displej}_{\text{rozlišení}}}{FoV_x}\right) = \left(\frac{1440}{78,66}\right) = 18,31$$

FoV je kvůli rozměrům displeje a čočky stejné jak horizontální tak vertikální.

5.1.5 Parametry displeje

Na výběr bylo z několika panelů vhodných pro VR aplikaci.

1. Mikro OLED displej 1920x1080px, 15x9 mm,
2. OLED displej 1080x1200px, 90 Hz, 64,8x72 mm s panelem „H381DLN01.2“.
3. IPS displej 1440x1440px, 90 Hz, 51,8x51,8 mm s panelem „LS029B3SX04“.

Mikro OLED displej má nejmenší rozměry, bohužel však nelze použít v kombinaci s použitou optickou soustavou - je navržen pro práci s Pancake optikou.

Další možností bylo využití OLED displeje s velikostí 64,8x72 mm. Právě jeho příliš vysoká velikost a nízké rozlišení obrazu zapříčinilo vyřazení tohoto displeje z výběru. Headset by byl příliš velký a rozlišení nedostatečné. Displej však disponuje výborným uspořádáním pixelů RGB Stripe, což je na OLED displej netypické.

Poslední a zároveň preferovaným typem displeje je 1440p IPS panel. Jeho ideální poměr velikosti a rozlišení z něj dělají ideálního kandidáta. Jeho hlavními nevýhodami jsou horší reprodukce barev, nižší kontrastní poměr a vyšší spotřeba.

5.1.6 Parametry čočky

Při zpracovávání návrhu bylo na výběr ze dvou druhů čoček - klasické akrylátové čočky a fresnelovy čočky vyrobené specificky pro použití ve VR. V konečném designu budou vyzkoušeny oba typy, avšak prozatím preferovaná je fresnelova čočka.

Dostupná fresnelova čočka má tloušťku pouhých 2 mm. Vzdálenost mezi jednotlivými vrstvami je 3 mm. Preferovaný průměr fresnelové čočky je 40 mm a ohniskové vzdálenosti 35 mm. Velkou výhodou této optické čočky je i jednoduchá práce s materiálem při případném přizpůsobení - obroušení v oblasti nosní části helmy. Pokud bude její výsledná kvalita obrazu uspokojivá, pak bude v konečné verzi zakomponovaná do řešení.

Klasické akrylátové čočky jsou rovněž dostupné avšak nebudou v rámci návrhu upřednostňovány kvůli jejím vlastnostem. Tyto čočky jsou tlustší a tím i hůře přizpůsobitelné.

5.2 Konektor

Konektor umožňuje komunikaci VR / AR helmy s počítačem. Na komerčních headsetech se pomocí několika konektorů přenáší obrazová data (typicky HDMI nebo DisplayPort) a za pomoci několika USB (univerzální sériová sběrnice – Universal Serial Bus) konektorů data.

V rámci dlouhodobějšího nošení headsetu by bylo pro uživatele pohodlnější přenášet veškerá data po jednom sdíleném datovém kabelu. Tím se zvýší uživatelské pohodlí při prodlouženém nošení headsetu.

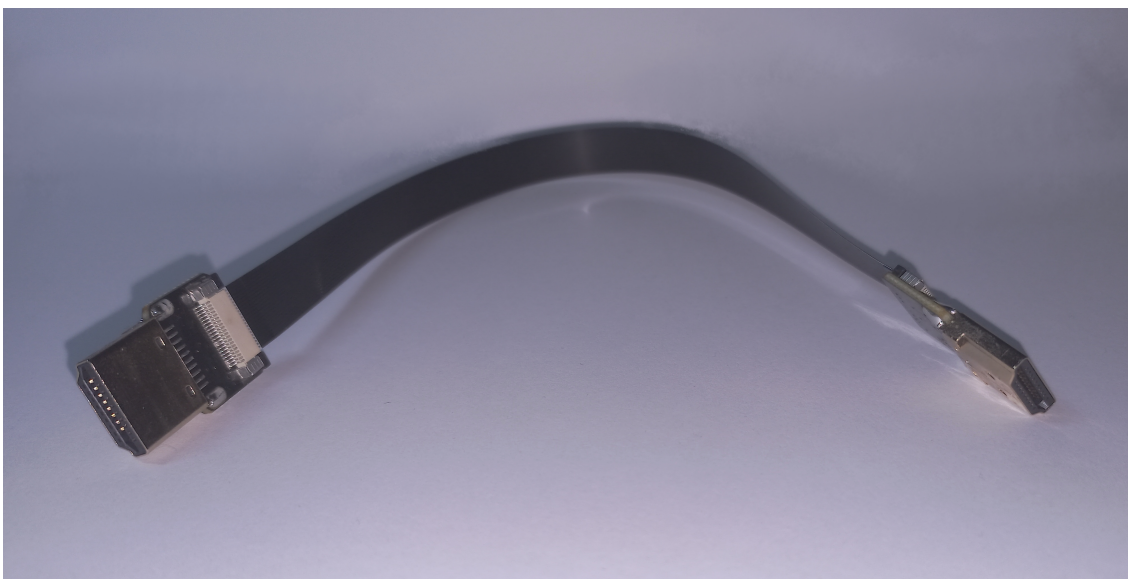
Konektor musí umožňovat přenos několika druhů dat. Návrh počítá s přenosem obrazových dat (přes protokol HDMI nebo DisplayPort), dat senzorů (I2C), proprietárních dat, a dat ze stereo kamery (USB 3.0). Z tohoto důvodu musí konektor disponovat dostatečným množstvím přenosových vodičů. Pro tento účel byl vybrán relativně dobře dostupný konektor - CENTRONICS ve variantě s 50 vodiči. Tento krok zajistí i případnou budoucí rozšiřitelnost sensoriky.

Konektor CENTRONICS je díky jeho konstrukci pevně přichytitelný k protistraně - to z něj dělá ideální kandidáta pro použití v headsetu. Ani prudší pohyby by neměly způsobit ztrátu konektivity a tím umožnit použití headsetu i při lehčí fyzické aktivitě.

Mezi nevýhody tohoto konektoru se řadí větší velikost. Další nevýhodou v běžně dostupné variantě je nutnost použití plochého kabelu. Tato nevýhoda bude rozebrána v následujících kapitolách.

5.2.1 Inspirace pro sdílený datový konektor

Inspirací pro sdílený datový konektor se stal DIY HDMI kabel společnosti WAVESHARE. Jedná se o plochý stíněný HDMI kabel (fakt, že je stíněný bylo zjištěno až po zkonstruování a otestování sdíleného datového konektoru).



Obr. 5.9: WAVESHARE DIY HDMI kabel s konektory

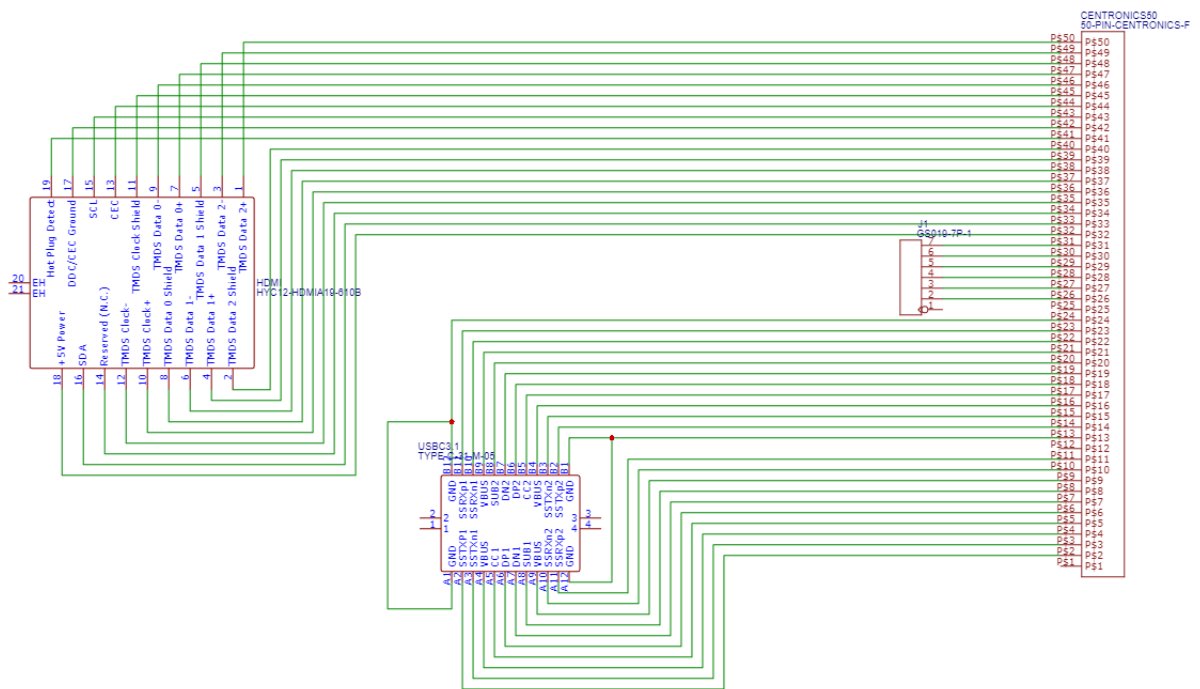
5.2.2 Schéma zapojení

Návrh desky plošného spoje, dále PCB (deska plošných spojů – Printed Circuit Board) probíhal v programu EasyEDA. Jedná se o program určený k sestavení schémat elektronických obvodů. Program umožní i následné rozmístění součástek na PCB a jejich spojení.

Další důležitou vlastností programu je relativně jednoduchý export projektu pro vytvoření objednávky u firmy JLCPCB, která se specializuje vyráběním PCB.

Nevýhodou programu je nutnost založení uživatelského účtu. Je vyžadován i při základních operacích jako je procházení knihovny komponent.

Výhodou programu je existence právě takto veliké knihovny komponent. Komponenty do knihovny zadávají jak samotní výrobci tak i běžní uživatelé programu EasyEDA. Tím je zaručeno, že lze v této knihovně dohledat prakticky jakoukoliv komponentu.



Obr. 5.10: Schéma zapojení konektoru

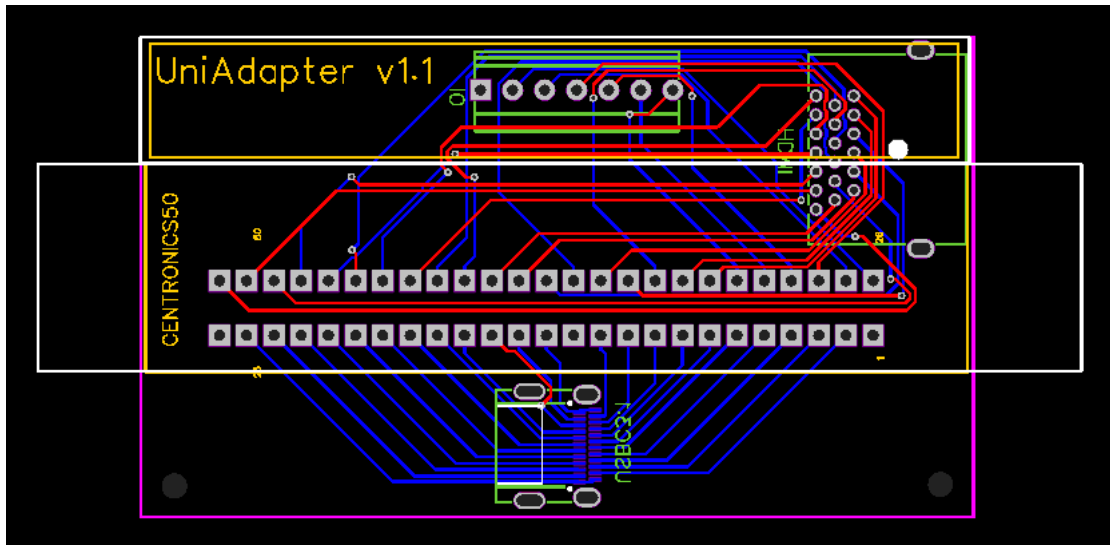
Z důvodu šetření počtu vodičů společného datového kabelu byly sloučeny zemní kontakty u konektoru USB-C. Tento konektor bude sloužit pro připojení stereokamery ZED Mini, která takto vysoký odběr proudu nebude vyžadovat.

Sedmpinový konektor nemá cíleně zapojen vývod číslo 1 z důvodu nemožnosti sestavení fyzických drah na dvojvrstvé PCB. Vývod číslo 1 by bylo možné zapojit pouze na čtyřvrstvé PCB, náklady by však stouply několikanásobně.

5.2.3 Návrh desky plošného spoje

Po sestavení samotného schématu zapojení bylo třeba komponenty rozmístit na PCB a pomocí vodivých drah vývody komponent společně spojit.

Vzhledem ke komplexitě a požadavku na kompaktnost designu byly spoje pospojovány pomocí automatického vytvoření drah (anglicky autorouting).



Obr. 5.11: Návrh desky plošného spoje

Jedná se o jednoduché propojení vývodů konektorů každý s každým, proto je návrh PCB identický jak na straně headsetu tak na straně počítače.

6 Technické řešení

V této kapitole bude rozebráno samotné technické řešení headsetu. Bude vybrán nejvhodnější materiál pro 3D tisk na základě požadovaných kvalit. Další oblastí, kterou se bude práce zabývat je způsob tisku jednotlivých bloků headsetu a jejich konečné spojení.

Pozornost bude věnována i možným budoucím vylepšením designu. Především výběrem vhodnějšího a kvalitativně vhodnějšího materiálu pro 3D tisk.

6.1 3D Tisk

3D tisk se v poslední době těší velké oblibě. S postupem času se 3D tiskárny stávají stále více cenově dostupnější a tím i rozšířenější.

Mezi nejoblíbenější a rozšířenější značky patří český výrobce 3D tiskáren - Prusa. Hlavní předností těchto 3D tiskáren je především výborná spolehlivost a kvalita tisku. Kvůli těmto přednostem je však jejich cena poněkud vyšší.

Dalším velice oblíbeným výrobcem 3D tiskáren je společnost Creality. Nabízí cenově dostupné 3D tiskárny s dobrou spolehlivostí a kvalitou tisku. Další předností těchto tiskáren je velice velká komunita. Díky takto velké komunitě vzniká celá řada cenově dostupných vylepšení kterými je možnost 3D tiskárnu následně dovybavit a tím zlepšit některé její vlastnosti.

Tisk v rámci této diplomové práce probíhal výhradně na 3D tiskárně Creality ENDER 3 V2. Tato 3D tiskárna je cenově dostupná, kvalita tisku a tiskový prostor 220x220x250 mm jsou pro tuto cenovou skupinu nadprůměrné. Za zmínku stojí i relativně tichý provoz při tisku. Nevýhodou 3D tiskáren v této cenové kategorii je ale chybějící podpora tisku pokročilých materiálů které vyžadují specifické podmínky pro úspěšný tisk (vysoká teplota trysky nebo stálost teploty okolního prostředí).

6.1.1 Materiály

Výběr správného materiálu je důležitý pro výsledný produkt a definuje jeho základní parametry. Mezi základní parametry těchto tiskových materiálů se řadí teplotní odolnost, rázová odolnost a odolnost v tahu. Důležitá je rovněž i cena, za kterou lze materiál pořídit a zdravotní závadnost či nezávadnost materiálu.

Teplotní odolnost je vyjadřována teplotou ve stupních Celsia [°C], při které se testované objekty prohnou při zatížení 0,75 MPa. Přesnou definici lze nalézt v normě ČSN EN ISO 75-1 (640753). Parametr definuje druhy prostředí ve kterých se může výsledný produkt používat. Typicky nejmírnější prostředí představují vnitřní normální prostory kde nehrozí osvit přímým slunečním světlem nebo zvýšená vlhkost.

Dále je dobré myslet na oddělení teplocitlivých materiálů od přístrojů nebo komponent generujících teplo.

Rázová houževnatost - energie potřebná ke zlomení testovaného objektu Charpyho kyvadlem. Přesné parametry zkoušky lze nalézt v normě ČSN EN ISO 179-1 (640612). Parametr vyjadřuje pevnost materiálu při nárazových stresech.

Odolnost v tahu je síla potřebná k roztržení nebo k nevratné deformaci testovaného objektu měřená v MPa.

Pro zhotovení prototypu headsetu byly vybrány tiskové materiály společnosti Prusa Research právě díky jejich vynikající kvalitě a dostupnosti.

PETG (Polyethylenglykol polyethylenetereftalátu – Polyethylene Terephthalate Glycol)

Materiál, který vyniká jednoduchostí tisku a výbornými všestrannými vlastnostmi. Tento materiál je vhodný pro rychlé prototypování díky své nízké ceně.

Vyniká výbornou přilnavostí k podložce a velice málo se při tisku deformuje. Teplota tisku se doporučuje na 230 °C - 240 °C a teplota podložky pak na 85 °C - 90 °C. Materiál nevyžaduje odolnější trysku pro samotný tisk. Díky těmto vlastnostem se stává jednoduše tisknutelný. [16]

Z tohoto materiálu je možné tisknout vodotěsné díly. Mechanické vlastnosti jsou oproti ostatním materiálům rovněž nadprůměrné. Teplotní odolnost je nadprůměrná 60 °C. Testem rázové houževnatosti prošel vzorek bez zlomení. Odolnost v tahu je ale pouze průměrná na hodnotě 46 MPa. [14]

ASA (Akrylonitril styren akryl – Acrylonitrile Styrene Acrylate)

Velice vhodný materiál pro venkovní prostředí díky své výborné teplotní odolnosti a odolnosti vůči UV (ultrafialové – ultraviolet) záření. Hlavní nevýhodou materiálu je silná deformace při tisku a z tohoto důvodu je vyžadován kryt tiskárny zajišťující stabilní teplotní prostředí při tisku. [17]

Vyniká svou teplotní odolností 86 °C. Rázová odolnost je pouze podprůměrná na hodnotě 25 kJ/m^2 . Odolnost v tahu je 42 MPa - podobná materiálu PETG. [14]

Další nevýhodou je potenciální zdravotní závadnost - při tisku se uvolňují nebezpečné výpary a je nutno zajistit odvětrání místnosti, ve které probíhá tisk výrobku.

PC (Polykarbonát – Polycarbonate)

Jedná se o technický materiál, který vyniká skvělými mechanickými vlastnostmi. Exceluje teplotní odolností 113 °C, rázovou odolností i odolností v tahu 63 MPa. Testem rázové odolnosti prošel testovací vzorek podobně jako u materiálu PETG bez rozbití. [14]

Samotný PC je jen velice těžko tisknutelný. Z tohoto důvodu Prusa Research vyvinuli materiál s názvem Prusament PC Blend, kde je polykarbonát smíchaný s dalšími látkami, které podstatně zjednoduší jeho tisk. Doporučená teplota trysky je u tohoto materiálu 275 °C a teplota podložky na 110 °C. Při tisku je vyžadována tvrzená tryska, která je schopna odolávat obrušování, ke kterému dochází při tisku materiálu. [16]

Negativem materiálu je tedy náročnější tisk a zároveň i vyšší cena.

Výběr materiálu

Prototyp headsetu, který byl v rámci této diplomové práce vyroben byl vytisknut z materiálu PETG a to především z důvodů uvedených níže.

Protože se jedná o prototyp, byl kladen důraz na nízkou cenu materiálu. Z důvodu opakovaných úprav návrhu bylo nutné headset navrhovat iterativně. Docházelo tedy k opakovanému tisku upravených komponent na základě poznatků zjištěných z testování.

Prototyp bude zpočátku převážně používán ve vnitřních prostorech - i z tohoto důvodu byl vybrán materiál PETG, který se tímto z velké části vyhne přímému slunečnímu svitu, který může způsobit přehřátí a následnou deformaci černého materiálu.

PETG materiál má nadprůměrné mechanické vlastnosti - rázovou odolnost i odolnost v tahu. Tyto vlastnosti jsou velice důležité při návrhu prototypu a následného testování bez zbytečných rozbití způsobeného zacházením s prototypem.

PETG je dále velice dobře lepitelný volně dostupnými lepidly. Bylo použito vteřinové lepidlo ve formě gelu. Výhoda gelového vteřinového lepidla je ve výši času potřebného k zatuhnutí lepidla, který je podstatně delší než u tekutého vteřinového lepidla. Díky tomu lze lépe provádět korektury mnohem déle.

Výběr materiálu konečného výrobku

Polykarbonát je ideálním kandidátem pro tisk konečného výrobku. Ve všech ohledech předčí vlastnosti materiálu PETG. Prerokvzitou však bude vylepšení 3D tiskárny, Creality ENDER 3 V2, nainstalováním tvrzené trysky a výměny extruderu za jiný umožňující zahřátí na vyšší teploty.

Polykarbonát je obtížněji tisknutelný materiál než PETG a z tohoto důvodu bude tisk zabírat i více času.

6.1.2 Tisk jednotlivých dílů headsetu

Příprava samotného modelu pro tisk byla provedena v programu PrusaSlicer. Jedná se o program, který na základě importovaného modelu připraví spustitelný kód pro 3D tiskárnu. Jedná se o sadu příkazů vykonávaných 3D tiskárnou mezi které se řadí například pohyb tiskové hlavy po vygenerovaných drahách, teplota trysky a podložky a další.

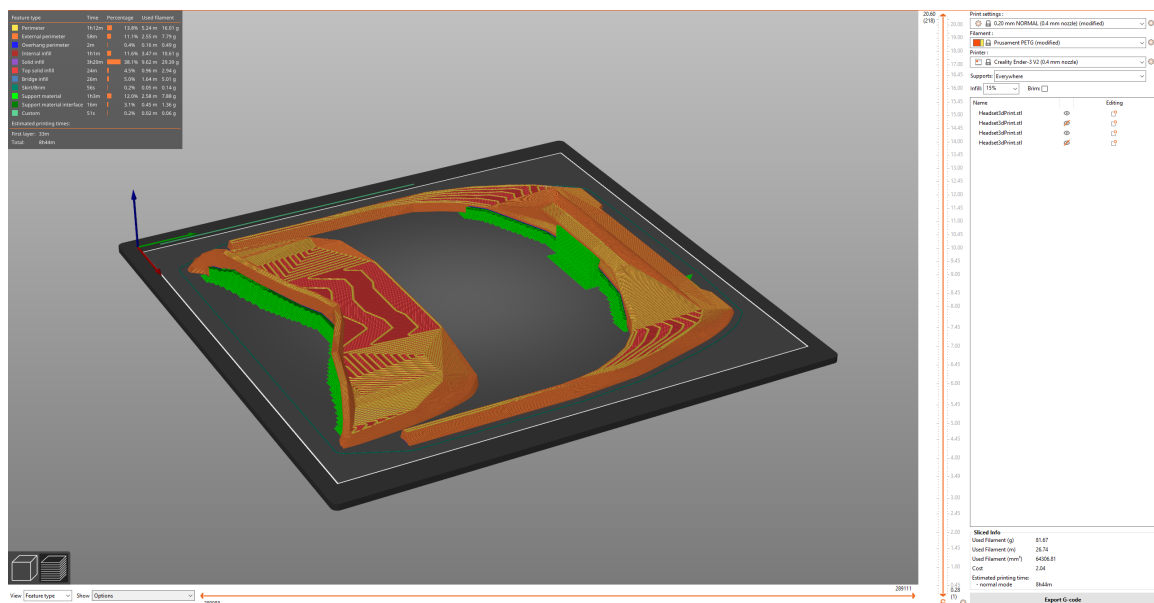
Aby bylo možno tisk headsetu úspěšně dokončit, bylo zapotřebí 3D model nejprve rozřezat v programu PrusaSlicer a poté po jednotlivých částech vytisknout. Tímto se minimalizuje množství potřebných podpěr, které se musí zároveň se samotným modelem vytisknout. Rovněž se tím minimalizuje množství potřebného času a materiálu, který je k tisku zapotřebí.

Nevýhodou však je, že se musí následně jednotlivé díly slepit a to prodlužuje dobu zhotovení výrobku.

Headset

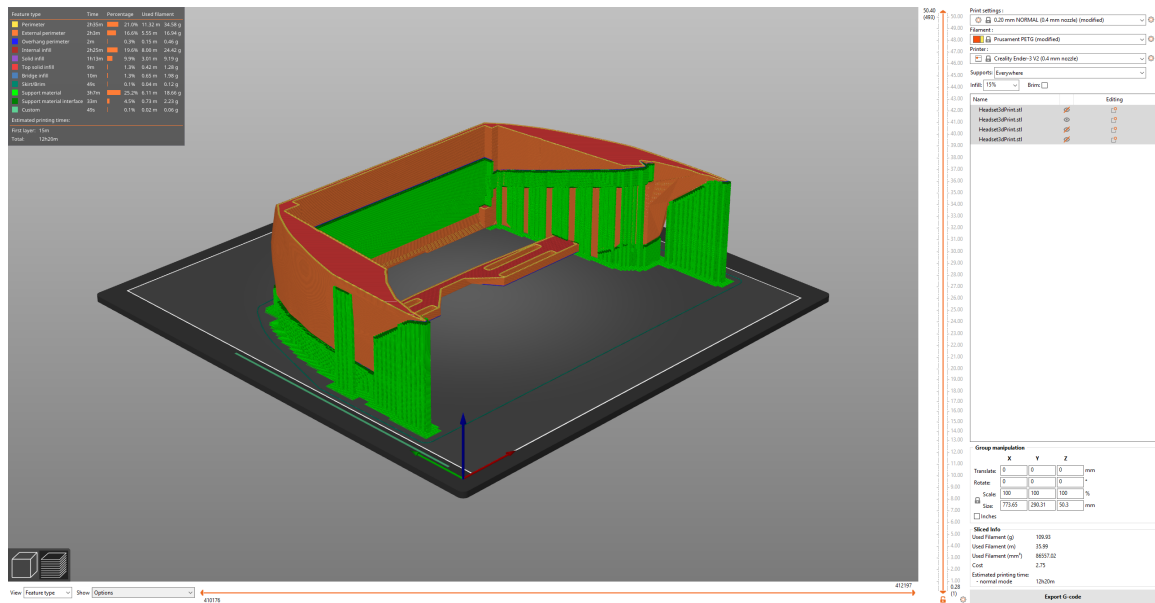
Tisk přední části headsetu probíhal ve třech fázích. V první fázi se tiskne vrchní a spodní díl headsetu.

Zeleně značené části modelu jsou již zmiňované podpěry. Žluté, oranžové a červené části představují samotný 3D model.

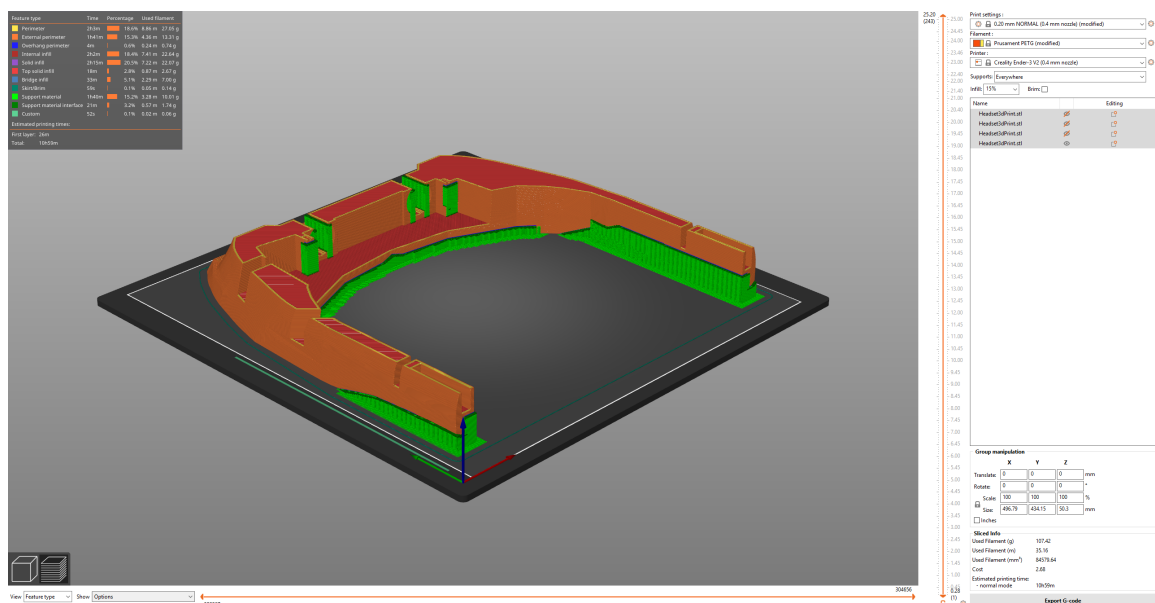


Obr. 6.1: Vrchní a spodní díly headsetu

Následuje tisk zbylých dvou vnitřních částí dílů headsetu. Jedná se o celkově největší díly z celého headsetu.



Obr. 6.2: Prostřední část, spodní díl headsetu



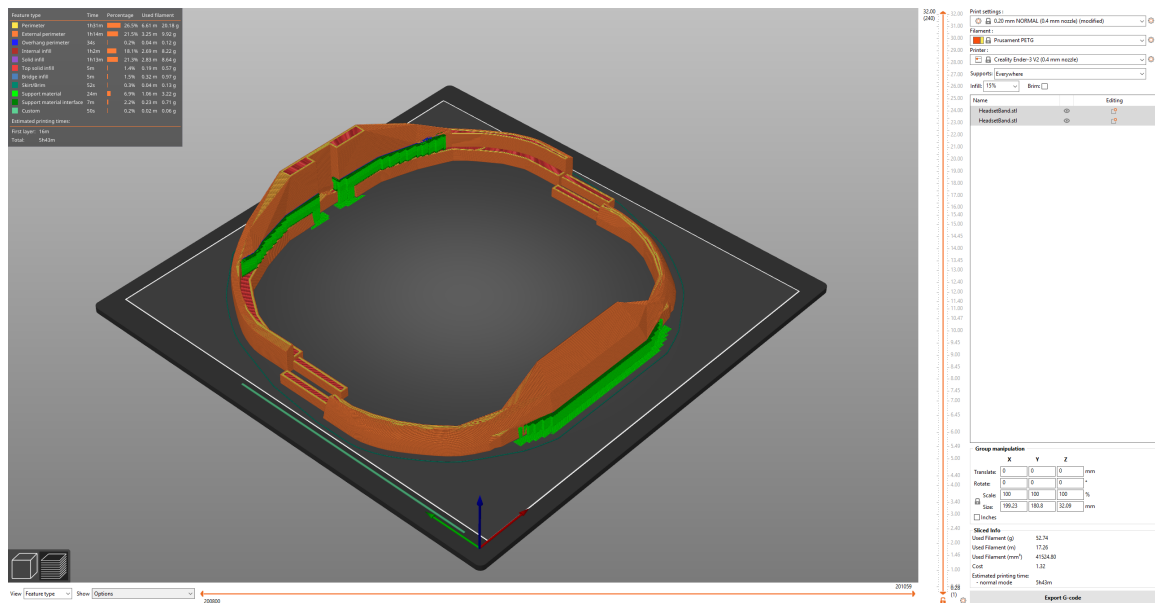
Obr. 6.3: Prostřední část, vrchní díl headsetu

Celková doba tisku všech těchto částí zabrala přibližně 50 hodin - odhad doby tisku uvedený v programu obvykle neodpovídá skutečné době tisku. Spotřebováno bylo 302 gramů materiálu.

Náhlavní opěrka

Jedná se o zadní část headsetu, která má za úkol headset pevně držet na hlavě. Obsahuje posuvný mechanismus určený pro úpravu velikosti headsetu. Opěrné body headsetu byly navrženy tak aby příliš netlačily na přední část obličeje. Opěrnými body jsou čelo a zadní část hlavy. Z tohoto důvodu návrh této části vyžaduje, aby byl díl pevný z jednoho kusu materiálu.

Tato část headsetu je složena ze dvou dílů, které se následně spolu pomocí lepidla slepily.



Obr. 6.4: Náhlavní opěrka

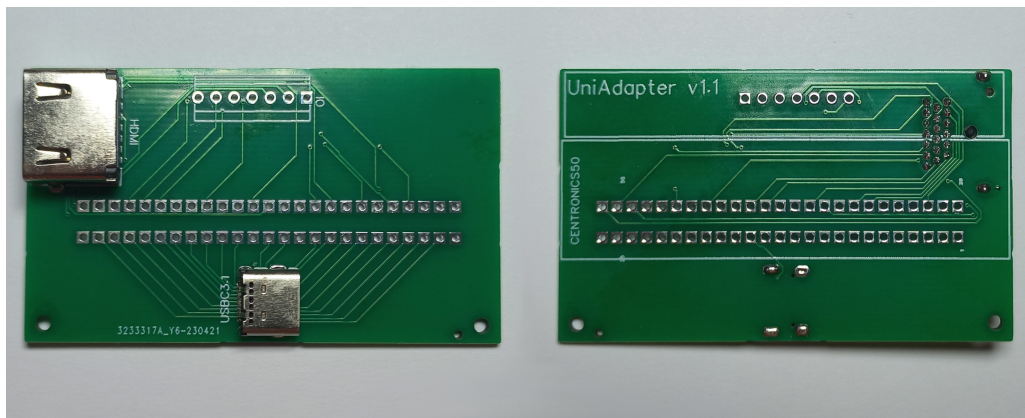
Celková doba tisku této části headsetu zabrala přibližně 7 hodin a spotřebovala 55 gramů materiálu.

Důležité poté bylo opracovat část posuvného mechanismu, která se zasouvá do předního dílu headsetu tak, aby obě části do sebe šly snadno zasunout.

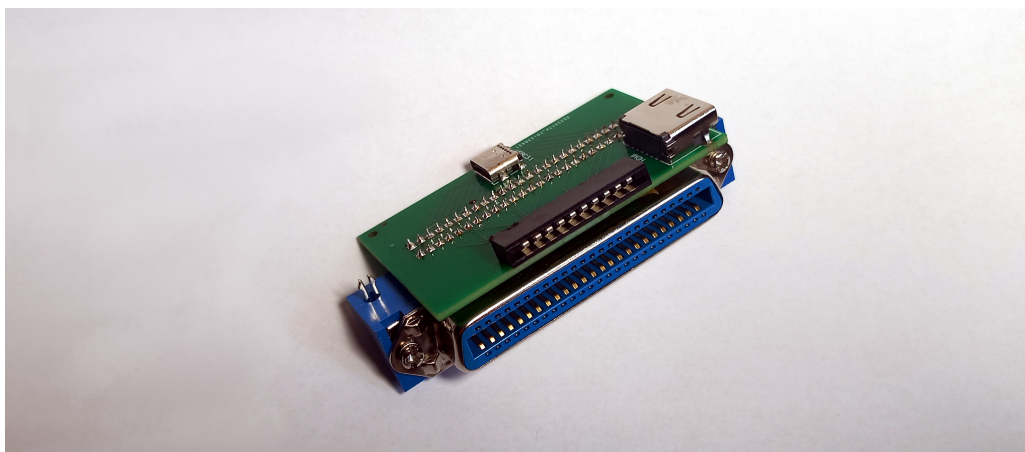
6.2 Řešení společného konektoru

Zhotovení výsledné desky plošných spojů pro společný konektor zajistila firma JL-CPCB. Firma provedla i povrchovou montáž USB a HDMI konektoru z důvodu nedostupnosti horkovzdušné pájecí stanice, která je zapotřebí pro montáž SMT (povrchová montáž – Surface-mount technology) komponent. Celý proces trval od doby objednání až po doručení 6 dní. Kvalita výsledné PCB byla výborná a deska plošných spojů plně funkční.

CENTRONICS konektor a konektor pro přenos ostatních dat byly následně připájeny pomocí hrotové pájky.



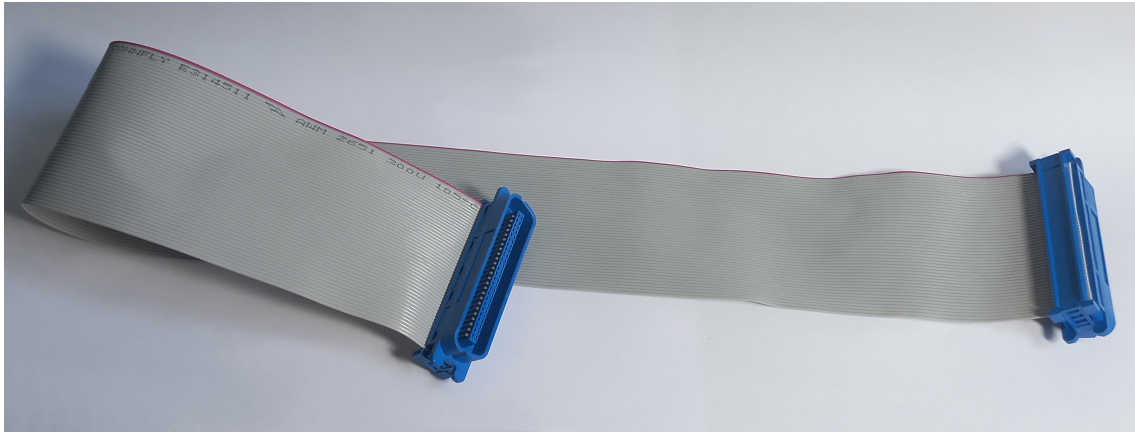
Obr. 6.5: Neosazená DPS společného konektoru



Obr. 6.6: Osazená DPS společného konektoru

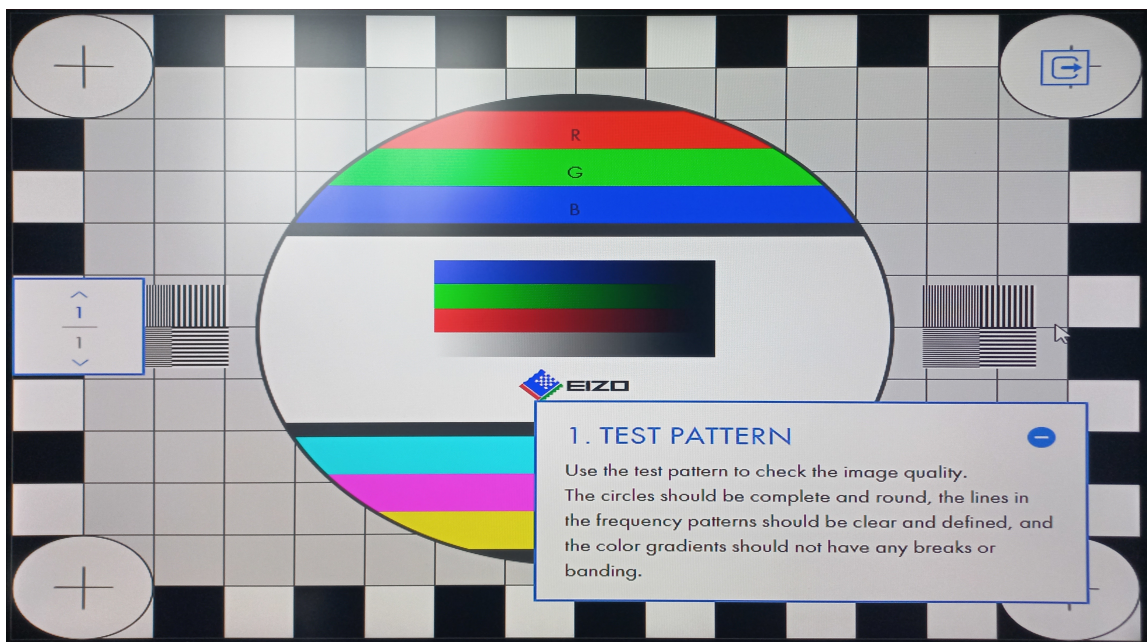
6.2.1 Testování konektoru

Při testování konektoru se bohužel objevil problém s integritou video signálu přenášeném přes konektor HDMI.



Obr. 6.7: Plochý kabel s konektory CENTRONICS použitý pro přenos signálu

Maximální rozlišení bezproblémově přeneseného obrazu bylo 800x600 při obnovovací frekvenci 60 Hz (obrázek 6.8).



Obr. 6.8: Přenos HDMI signálu po kombinovaném konektoru, rozlišení 800x600



Obr. 6.9: Ukázka chybně přeneseného HDMI signálu, rozlišení 1280x720

Hledání příčiny problému integrity video signálu

V rámci snahy o vyřešení tohoto problému byly otestovány 2 scénáře, které by měly dopady rušení signálu mírnit.

První scénář spočíval ve fyzickém oddělení jednotlivých vodičů o vzdálenost přibližně 3 mm. Bohužel, takovéto opatření problém nevyřešilo, pouze jej zmírnilo.

Další scénář se snažil o snížení rušení přicházejícího z okolního prostředí. Test byl proveden s uzemněnou ochrannou hliníkovou fólií. Fólie stínila celý plochý kabel nikoliv jednotlivé vodiče. Opatření problém neodstranilo.

Závěry výsledku testování

Jelikož se při konstrukci HDMI i USB kabelů používá kroucený, stíněný kabel, nebyl při prvotním návrhu výběr plochého nestíněného kabelu vhodný.

Na základě výsledku testování by problém vyřešilo použití stíněného plochého kabelu s 50 vodiči. Bohužel, tento typ plochého kabelu není v dnešní době příliš rozšířený a proto je jeho cena příliš vysoká.

Řešením tohoto problému by bylo použití jiného typu koncovky a kabelu. Vzhledem k omezenému časovému rámci, ve kterém musela být práce vypracována, se nepodařilo navrhnout a sestavit jinou funkční alternativu. Práce proto použije kabely přímo určené k přenosu daných signálů. Následně se kabely společně mechanicky spojí.

6.3 Příprava stereokamery ZED Mini

Z důvodu zmenšení velikosti stereokamery a zajištění lepšího úchyty bylo třeba stereokameru ZED Mini rozložit.

6.3.1 Rozložení stereokamery

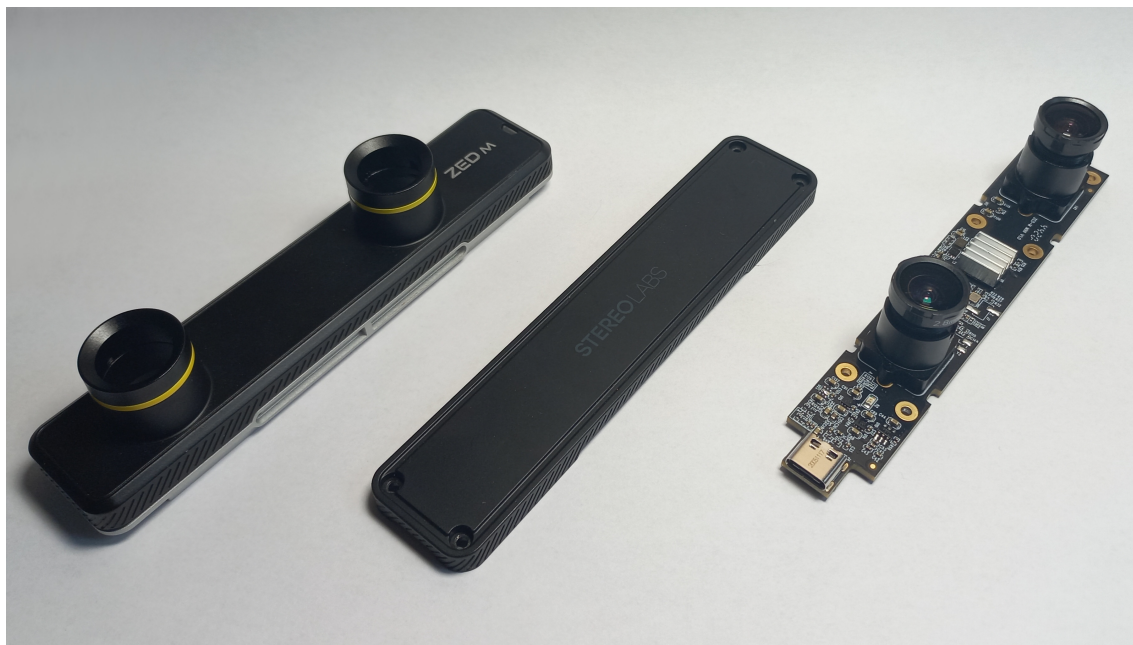
Rozložení stereokamery ZED Mini je velice jednoduché. Po odšroubování čtyř šroubků, nacházejících se na zadní straně kamery, lze zadní stranu jednoduše sejmout. Po odkrytí zadního krytu je potřeba odšroubovat 6 dalších šroubků držících PCB. Poté už pouze stačí vyjmout celé sestavení PCB a dvou kamer.

6.3.2 Příprava stereokamery

Na PCB ZED Mini se nachází čip, který je potřeba chladit. Pro tento účel byl přidělán miniaturní chladič.

PCB bylo dále potřeba ochránit před vnějšími vlivy (především vlhkostí). Proto byla PCB ošetřena ochranným lakem na PCB - KONTAKT CHEMIE PLASTIK. Samozřejmě je třeba nejprve zamaskovat veškeré konektory aby se do nich nedostala nežádoucí vrstva laku.

Po nanesení vrstvy laku je třeba vyčkat na vytvrzení laku.



Obr. 6.10: Rozložená stereokamera ZED Mini

6.4 Konfigurace optické soustavy

6.4.1 Test ohniskových vzdáleností optických čoček

Při návrhu optické soustavy bylo odzkoušeno několik fresnelových čoček s rozdílnou velikostí ohniskové vzdálenosti. Byly testovány čočky s ohniskovými vzdálenostmi 27 mm, 35 mm a 40 mm.

Optické čočky s malou hodnotou ohniskovou vzdáleností umožňují celkový design headsetu zmenšit jelikož se zmenšuje potřebná vzdálenost mezi LCD displejem a čočkou pro vytvoření ostrého obrazu. Zorné pole trpí vyšším rozmazáním obrazu na jeho okrajích. Zvyšuje se i míra barevné vady a deformace obrazu.

Optické čočky s velkou hodnotou ohniskové vzdálenosti zvětšují celkovou velikost headsetu. Zorné pole se zmenší ale barevná vada a míra rozmazání a deformace obrazu je znatelně nižší.

Výběr optimální ohniskové vzdálenosti

Při návrhu headsetu byl volen kompromis mezi celkovou velikostí jednotky a obrazové kvality. Z testování byl zjištěn důležitý poznatek. Velikost horizontálního zorného pole je důležitější než velikost vertikálního zorného pole. Testováním bylo zjištěno, že rozsah ideálního poměru stranu obrazu byl od 16:10 do 4:3.

Při poměrech stran širokouhlého obrazu 16:9 a vyšších docházelo k deficitu vertikálního zorného pole a celý obrazový zážitek se stával méně záživný. Naopak při poměrech stran menších než 4:3 docházelo k zakrytí rohů LCD obrazovky z důvodu přirozeného tvaru optické čočky. Celý obraz působil rozmazaněji z důvodu většího množství obsahu zobrazovaného na samotných krajích zorného pole.

Na základě testování byla vybrána fresnelova čočka s 35 mm ohniskovou vzdáleností vzdálená 35 mm od displeje. Poměr stran displeje byl uměle upraven nastavením rozlišení displeje na hodnotu 1440x1024px z přirozeného rozlišení displeje 1440x1440px.

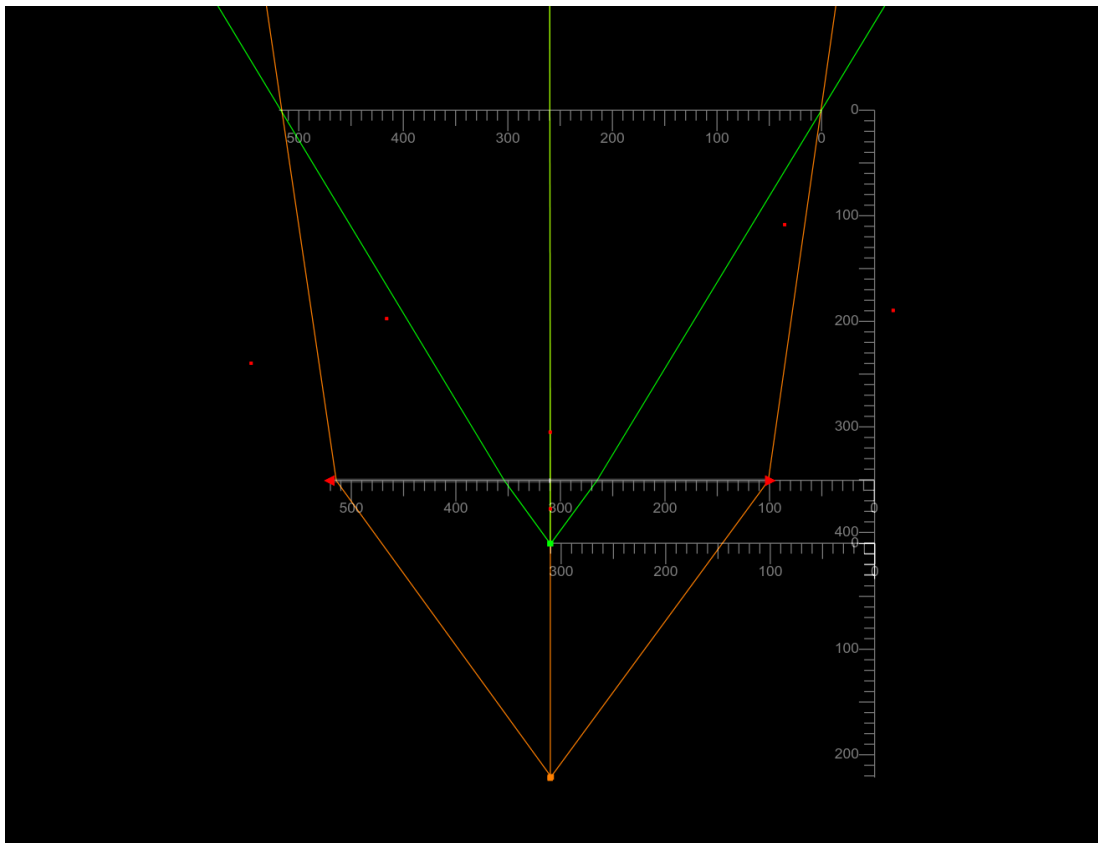
6.4.2 Test úrovně náklonu optických čoček

V reakci na slibné výsledky akademické práce [12] byly odzkoušeny i varianty s náklonem optických čoček. Autoři práce testovali především 10-ti stupňový náklon optických čoček. Celkově navíc získali až 20 stupňů horizontálního zorného pole.

V této práci byly otestovány tři varianty - bez náklonu, 5 stupňů náklonu (celkově rozšíření o 10 stupňů horizontálního zorného pole) a 10 stupňů náklonu pro potenciální zisk až 20 stupňů horizontálního zorného pole.

Test bez náklonu

Tento test vykazoval nejmenší, jednoduše korigovatelnou barevnou vadu obrazu. Obraz vykazoval nejnižší úroveň ostrosti obrazu na vnějších okrajích horizontálního zorného pole. Úroveň horizontálního zorného pole byla rovněž nejnižší.

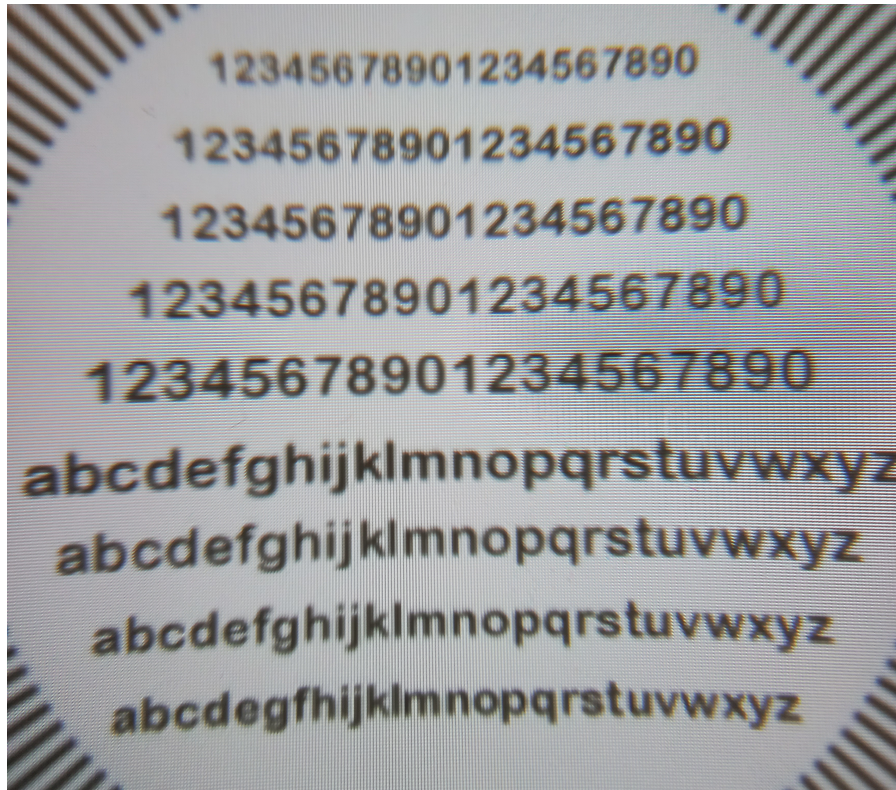


Obr. 6.11: Konstrukce optického systému bez náklonu

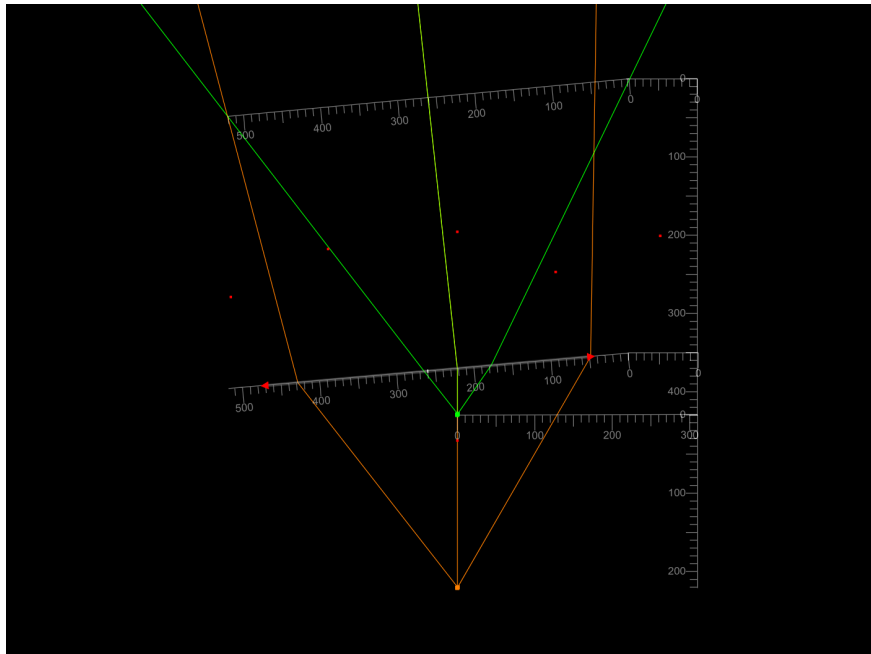
Test náklonu 5 stupňů

Při tomto testu se mírná barevná vada částečně posunula do středu zorného pole, přičemž její korekce bude náročnější. Obraz na vnějších okrajích horizontálního zorného pole byl podstatně ostřejší. Zvýšila se také úroveň horizontálního zorného pole o 10 stupňů.

Test byl ze tří testovaných variant nejúspěšnější. Byla získána dodatečná velikost horizontálního zorného pole a zvýšila se ostrost obrazu na vnějších okrajích horizontálního zorného pole. Jedinou nevýhodou bylo zvětšení barevné vady v okolí středu zorného pole. Barevnou vadu lze přitom do jisté míry jednoduše korigovat.



Obr. 6.12: Pohled přes fresnelovu čočku natočenou o 5 stupňů



Obr. 6.13: Konstrukce optického systému s náklonem 5 stupňů

Test náklonu 10 stupňů

Test vykazoval velice rušivou barevnou vadu ve středu zorného pole. Obraz na vnějších okrajích horizontálního zorného pole byl z těchto tří testů nejostřejší. Méně ostrý byl však obraz ve středu zorného pole.

Kvůli kombinaci rušivé barevné vady a nízké ostrosti obrazu ve středu zorného pole tento scénář není realizovatelný. Vyřešení těchto překážek by vyžadoval značný čas a případně i kvalitnější fresnelovy čočky, ke kterým v době řešení práce nebyl jednoduchý přístup.

6.5 LCD Driver

Řídící jednotka firmy Wisecoco je součástí celé sady, ve které se dále nacházejí 2 displeje. Na desce řídicí jednotky se nachází konektor pro vstupní data HDMI, mikro USB pro napájení a 3,5 mm audio jack pro zvukový výstup. Na PCB se dále nacházejí i dvě tlačítka - první na ovládání režimu zobrazení a druhé na změnu jasu displejů (regulovatelný v pěti úrovních).

Při testování možností řídicí jednotky Wisecoco se neobjevily žádné zjevné problémy pod operačním systémem Windows a integrovanou grafickou kartou AMD Radeon RX Vega 8.

6.5.1 Režimy zobrazení obsahu

Jednotka nabízí dva režimy zobrazení obrazu - režim rozšíření displeje a režim zrcadlení. Přepínání mezi těmito režimy je zajištěno tlačítkem na PCB.

Režim rozšíření displeje je vhodný pro aplikace vyžadující zobrazení odlišného obsahu pro obě oči. Mezi tyto aplikace se typicky řadí VR / AR obsah.

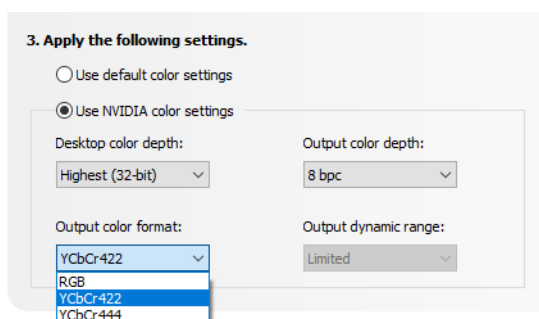
Další režim, zrcadlení obrazu, je vhodný pro zobrazování obyčejného obsahu - plocha, webový prohlížeč, videa - obecně aplikace optimalizované pro PC (nikoliv VR / AR obsah).

6.5.2 Problémy pod operačním systémem Linux a integrovanými grafickými kartami AMD

Pod operačním systémem Linux měl však kvůli problémům s ovladači obraz na displejích fialový odstín. Byly otestovány následující distribuce: Ubuntu 20.04.6 LTS, Ubuntu 22.04.2 LTS, Ubuntu 23.04, Pop!_OS 22.04 LTS a Manjaro 22.1.0 KDE. U všech uvedených distribucích se vyskytl stejný problém s integrovanými grafickými kartami AMD Radeon RX Vega 8.

Možná příčina výše uvedeného problému může souviset s podvzorkováním barevných složek. Pokusně byl nastaven ve správci barev v Linuxu profil RGB. Tento barevný profil však problém nevyřešil.

V operačním systému Windows lze tento efekt fialového odstínu simulovat po nastavení výstupního formátu barev v ovládacím panelu NVIDIA na hodnotu YCbCr422.



Obr. 6.14: Ovládací panel NVIDIA - podvzorkování barevných složek

Grafické karty značky NVIDIA takovéto problémy s výše testovanými Linuxovými operačními systémy nemají.

Z těchto důvodů aktuálně nelze headset používat s těmito linuxovými distribucemi v kombinaci s integrovanými grafickými kartami AMD. To je škoda, protože integrované grafické karty od značky AMD se aktuálně řadí mezi nejvýkonnější a nejschopnější (oproti Intelu disponují daleko stabilnějšími a kompletnějšími drivery).

Z pohledu návrhu přenosných počítačů je velmi výhodné mít výkonnou integrovanou grafickou kartu z jednoho prostého důvodu - bezkonkurenční výdrž na baterii. Dedikované grafické karty zbytečně zvyšují spotřebu celého systému.

6.6 Výsledná podoba headsetu

Po vytisknutí, složení a slepení jednotlivých částí je hotova základní kostra helmy. Řídící jednotku a 2 okuláry je potřeba do kostry vložit před kompletním slepením horní a spodní části headsetu. Dále se do kostry vloží a přichytí šroubky rozložená ZED Mini stereo kamera.

V dalším kroku se složí a slepí zadní část headsetu - náhlavní opěrka. Nastavitelný mechanismus je potřeba obrousit tak, aby se bez zbytečného odporu vešel do otvorů ve přední části headsetu.

Na kompletní kostru headsetu se poté přilepí pásek pro úpravu velikosti headsetu, jejíž součástí je i suchý zip.

Nakonec je headset vystlán výstelkami tak, aby bylo jeho používání co nejkomfortnější. Tento proces by byl velice časově náročný kdyby měla být zaručena co největší kompatibilita.

Protože se nepodařilo do konečného výrobku zakomponovat sdílený datový kabel, bylo zapotřebí jednotlivé datové kabely (HDMI, USB napájení displeje, USB kamery ZED Mini a plochý datový kabel) obalit smršťovací bužírkou tak, aby výsledek tvořil pouze jeden kabel.



Obr. 6.15: Přední pohled na výsledný headset



Obr. 6.16: Zadní pohled na výsledný headset

7 Možnosti vylepšení konstrukce headsetu

Vytvořený prototyp headsetu není ani zdaleka ideální a existuje u něj poměrně velký prostor pro nejrůznější vylepšení. Konkrétní oblasti budou popsány níže.

7.1 Snížení hmotnosti

Největší dopad především na hmotnost headsetu bude mít změna použitého materiálu. Pro vytvoření headsetu byl použit materiál PETG. Při použití polykarbonátového materiálu by se snížila hmotnost přibližně o 30%. Další výhodou použití polykarbonátového materiálu by byla možnost celkového ztenčení všech stěn výrobku při zachování stejné odolnosti jako v případě PETG materiálu.

Hmotnost lze i dále snížit pomocí optimalizace 3D modelu headsetu odstraněním přebytečného materiálu. Toho lze dosáhnout úpravou celkového tvaru tak, aby uvnitř headsetu nevznikaly přebytečné prostory.

7.2 Povrchová úprava

Vzhledem k celkové časové náročnosti práce byla vynechána fáze úpravy povrchu headsetu. Povrch lze upravit obroušením brusným papírem přičemž by se postupovalo od nejhrubšího (grid 200) až po nejjemnější (grid 8000). Takto obroušený povrch bude možno barvit. Nejprve by se nanasla základová barva, která má za úkol vyplnit nedokonalosti povrchu a celkově zlepšit přilnavost druhé vrstvy barvy. Po zaschnutí základové barvy by se poté headset obarvil konkrétní barvou.

7.3 Společný datový konektor

Při budoucím návrhu by se s největší pravděpodobností nepoužíval plochý kabel. Nahradil by jej kulatý stíněný kabel. Jediným problémem bude nalezení kulatého kabelu s dostatečným množstvím vodičů - tedy minimálně 50.

7.4 Optická sestava

Zlepšit lze obrazovou kvalitu použitím kvalitnějších optických čoček. Při návrhu headsetu byly použity fresnelovy čočky. Prvním krokem by bylo vyzkoušení dalších fresnelových čoček jiného výrobce a jejich následné kvalitativní porovnání.

Dalším potenciálním místem pro zlepšení je samotný displej. Použitý displej je vyroben technologií IPS, která má výrazné nedostatky. Technologie OLED přinese

v budoucnu s největší pravděpodobností vyšší hustotu pixelů i věrnější podání barev. Výhodou OLED displejů je i nižší spotřeba (zhruba o 30% nižší než u IPS displejů).

7.5 Výstelka vnitřní části headsetu

Pro účely prezentace výsledného headsetu byl vnitřní prostor vystlán tak, aby pasoval na co nejširší skupinu uživatelů. Budoucí návrhy budou počítat s vystláním vnitřního prostoru na míru. Tím se dramaticky zlepší uživatelské pohodlí. Dále se tímto krokem samozřejmě zlepší i usazení headsetu a tím se zmírní míra pohyblivosti headsetu na hlavě.

7.6 Ventilované části

Při testování prototypu headsetu bylo zjištěno relativně špatné chlazení stereo kamery ZED Mini. Stereokamera se nadměrně zahřívá což může způsobit zkrácení její životnosti. V budoucích návrzích je třeba tento faktor brát do úvahy. Ventilace by však neměla negativně ovlivňovat odolnost celého headsetu vůči vnějším vlivům.

Preferovaná je varianta pasivního chlazení bez zbytečných ventilátorů, které by mohly po čase selhávat a vydávat nežádoucí hluk.

8 Programové řešení

Kapitola se zabývá způsoby, kterými lze headset používat, nebude nijak konkrétní. Je zde pouze uvedena kvůli kompletnosti práce a může být podkladem pro další vývoj headsetu.

8.1 Čtení dat z akcelerometru a magnetometru MPU-9250

Pro čtení dat z headsetu je použito Mini Arduino MEGA 2560, které se chová jako prostředník mezi senzory a počítačem. Lze použít i menší a levnější Arduino. Předností Arduina MEGA 2560 je jeho případná budoucí rozšiřitelnost o velké množství dalších senzorů. Obsahuje také velké množství analogových vstupů, kterými menší arduina nedisponují.

Komunikace s akcelerometrem a magnetometrem probíhá po I^2C sběrnici. Arduino následně předá data ve formátu JSON počítači přes USB rozhraní simulující sériové rozhraní. Počítač pak dále naloží s obdrženými data dle své vůle.

Pro čtení dat z akcelerometru byla použita open-source knihovna dostupná na adrese <https://github.com/hibit-dev/mpu9250>.

Další knihovnou, která je použita je knihovna ArduinoJson. Tato knihovna má za úkol převod obsahu proměnných do JSON strukturovaného formátu.

```
void loop() {
    unsigned long now = millis();

    if (isImuReady()) {
        readRawImu();
        normalize(gyroscope);
    }

    if (now - lastMillis > SEND_INTERVAL) {
        DynamicJsonDocument doc(1024);
        doc["gyro_x"] = normalized.gyroscope.x;
        doc["gyro_y"] = normalized.gyroscope.y;
        doc["gyro_z"] = normalized.gyroscope.z;
        serializeJson(doc, Serial);
        lastMillis = now;
    }
}
```

8.2 Zobrazení výstupu ze stereo kamery ZED Mini

ZED Mini stereokameru vyvíjí společnost StereoLabs. Hlavní předností je především její malá velikost.

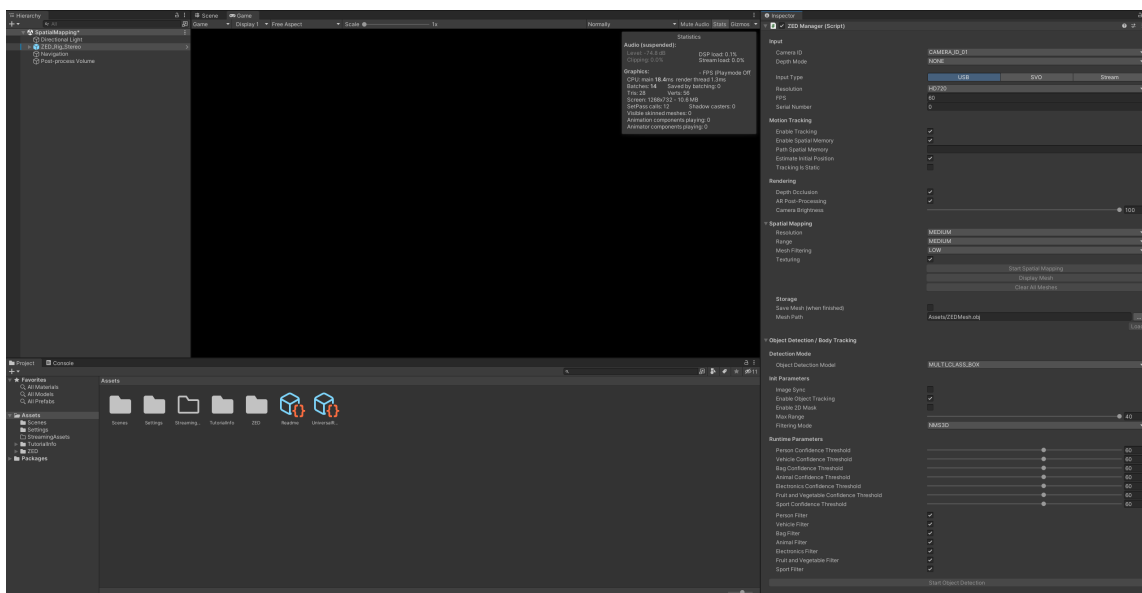
Přestože ji výrobce uvádí jako HD stereokameru, poskytuje pouze jeden použitelný režim snímání vhodný pro aplikace rozšířené reality - režim HD Ready, tedy 720p při snímkové frekvenci 60 Hz. Vyšší rozlišení pracují pouze na snímkové frekvenci 30 Hz a nižší což je pro aplikace rozšířené reality nepoužitelné.

Kromě vývoje hardware společnost vyvíjí i řídicí a AI software pro tyto kamery - knihovnu ZED SDK. Jedná se o knihovnu určený pro vývojáře. Vývojový kit lze stáhnout ze stránek výrobce: <https://www.stereolabs.com/developers/release/>. Obsahuje jak základní nástroje pro připojení a komunikaci s kamerou tak i pokročilé nástroje pro mapování prostoru, určování hloubky a jiné.

Bohužel je tato knihovna funkční pouze s grafickými kartami značky NVIDIA protože využívá proprietární technologii CUDA.

Výrobce rovněž vyvíjí i pluginy pro herní engine - Unity, UDK. Díky těmto pluginům lze relativně snadno a rychle vyvíjet aplikace pro rozšířenou realitu.

Vývoj takovéto aplikace nebyl předmětem diplomové práce a z tohoto důvodu je tento příklad použití pouze zmíněn.



Obr. 8.1: Ukázka schopností ZED SDK v herním engine Unity

8.3 Reshade - aplikace pro korekci barevné vady a deformace obrazu

Headset sám o sobě neumí korigovat barevnou vadu a deformaci obrazu. Z tohoto důvodu je nutné použití programu ReShade. Program je dostupný na webové adrese <https://reshade.me/>.

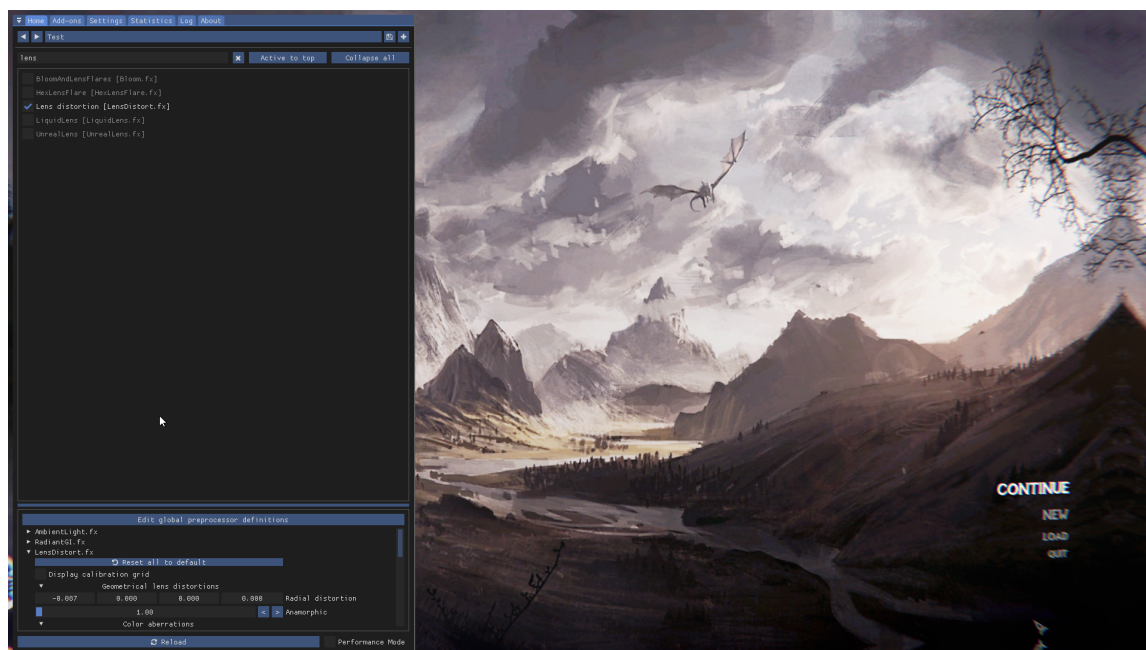
Reshade podporuje celou řadu operačních systémů Windows 7 - 11 a Linux pod vrstvou kompatibility Proton. Jsou podporovány prostředí Direct3D 9 - 12, OpenGL a Vulkan. [18]

Program pracuje na principu DLL injection. Cílový program si automaticky při startu načte .dll soubor ReShade a spustí zaváděcí rutinu. [18]

8.4 Použité filtry

Reshade obsahuje celou řadu filtrů. Pro naše účely postačí pouze jeden filtr s názvem LensDistort.fx. Tento filtr obsahuje veškeré nástroje nutné ke kompenzaci deformace a barevné vady.

Testovací aplikací může být jakákoliv aplikace běžící ve zmíněných prostředích - v následující ukázce na Direct3D 12. Ukázka nastavení filtru LensDistort.fx je zobrazena na obrázku 8.2.



Obr. 8.2: Ukázka Direct3D aplikace používající ReShade

Závěr

Cílem teoretické části diplomové práce bylo vyhledat a nastudovat již existující dostupné řešení headsetů na VR / AR trhu. Seznámit se s technologiemi, které jsou v komerčně dostupných headsetech používány - vlastnostmi optických systémů, typy displejů a nejrůznější dalších úskalích které se mohou objevit při návrhu headsetu.

V rámci vypracování teoretické práce byly tyto poznatky prověřeny na VR headsetu HTC Vive. Na základě testu vyplynulo pár důležitých oblastí, kterým je třeba se věnovat při konstrukci konečného designu - pevnosti uchycení headsetu, požadované rozlišení displeje, typ optické soustavy (především využití fresnelových čoček) a důležitost celkového vyvážení hmotnosti headsetu.

Na základě dostupných řešení byl navržen 3D model headsetu pro AR / VR realitu. Návrh odráží požadavky kladené pro specifické využití tohoto headsetu. Absence řídicí jednotky podstatně snižuje celkové rozměry výsledného headsetu. 3D model byl navržen tak, aby budoucí údržba headsetu byla co možná nejjednodušší.

Byly definovány základní parametry optické soustavy. Při návrhu se počítalo pouze s aktuálně dostupnými komponentami z internetu. Byly objednány a použity nejvhodnější aktuálně dostupné komponenty.

Dále se práce zabývala návrhem společného datového konektoru sloužícího pro propojení headsetu s přenosným počítačem. Bylo sestaveno schéma zapojení. Na základě schématu zapojení byla vytvořena i odpovídající PCB.

V rámci praktické části byl vybrán ze všech možných kandidátů nejvhodnější materiál. Jednotlivé části headsetu byly poté z vybraného materiálu vytisknuty na 3D Tiskárně.

Byly popsány jednotlivé části headsetu a zároveň i lehce způsob kompletace částí tak, aby bylo možné headset úspěšně složit.

Praktická část se dále věnuje řešením problémů, které se v průběhu návrhu a zkoušení prototypů headsetů vyskytly. V této části je uveden především problém se společným datovým konektorem a jeho nedostatečná ochrana před rušením.

Praktická část reaguje i na poznatky ze zkoušení možných úprav optické soustavy. Byly otestovány různé velikosti ohniskových vzdáleností. Další vylepšení spočívalo v naklopení roviny optických čoček což mělo za následek zvýšení velikosti horizontálního zorného pole.

V neposlední řadě byla představena konečná podoba sestaveného headsetu.

Poslední část praktické části nastiňuje možnosti používání headsetu společně s doporučenými programy a knihovnamy pro další vývoj aplikací.

Literatura

- [1] What materials are used for plastic lenses? *Optical Design Technology Navigator* [online]. Japan: TOYOTEC, 2020, 2020 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://optical-tech-group.toyotec.com/en/technicalcolumn/what-materials-are-used-for-plastic-lenses/>
- [2] GORDON, Claire, Cynthia BLACKWELL, Bruce BRADTMILLER, et al. *2012 ANTHROPOMETRIC SURVEY OF U.S. ARMY PERSONNEL: METHODS AND SUMMARY STATISTICS*. Natick, Massachusetts: U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center, 2014, 149-150.
- [3] Stanovení naturální zrakové ostrosti. *Základy metod korekce refrakčních vad* [online]. Brno: Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, 2016 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refrakcni_vady/web/pages/03-naturalni-zrakova-ostrost.html
- [4] VR Headset Comparison Tool. *AR/VR Tips* [online]. AR/VR Tips, 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://arvrtips.com/vr-headset-comparison-tool/>
- [5] MERTENS, Ron. Pentile OLEDs: introduction and market status. *OLED Info* [online]. Metalgrass, 2014 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.oled-info.com/pentile>
- [6] BLUNÁR, Jan. *Design brýlí pro virtuální realitu* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/83095>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojíního inženýrství. Ústav konstruování. Vedoucí práce Josef Sládek.
- [7] BUTLER, SYDNEY. How Important Are Refresh Rates in VR?. *How-To Geek* [online]. United States: LifeSavvy Media, 2021 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/758894/how-important-are-refresh-rates-in-vr/>
- [8] META QUEST 2. *Meta* [online]. 2022 [cit. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/tech-specs/#tech-specs>
- [9] Meta Quest Tech Specs. *Meta Store* [online]. 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/quest-pro/tech-specs/#tech-specs>
- [10] Pimax 8KX DMAS. *Pimax* [online]. 2022 [cit. 2022-12-06]. Dostupné z: <https://pimax.com/product/vision-8k-x/>

- [11] HEANEY, DAVID. -Breakthrough- Pancake Lenses Could Bring Compact Headsets. *Upload* [online]. UVR Media, 2021 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://uploadvr.com/kopin-all-plastic-pancake-optics/>
- [12] WEI, Andrew a Daoyi ZHU. *Exploring Wide Field-of-View VR Headsets*. WA, USA, 2020. Dostupné také z: https://courses.cs.washington.edu/courses/cse490v/20wi/public/report_14.pdf. Report. Paul G. Allen School of Computer Science and Engineering University of Washington Seattle.
- [13] 5 Tips to Make Strong 3D Prints. *Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd.* [online]. Shenzhen: Rapid Direct, 2021 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/blog/how-to-make-strong-3d-prints/>
- [14] Prusa Tabulka Materiálů. *Prusa Knowledge Base* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://help.prusa3d.com/cs/materials>
- [15] Polykarbonát (PC). *Prusa Knowledge Base* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/polykarbonat-pc_165812
- [16] PETG. *Prusa Knowledge Base* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059
- [17] ASA. *Prusa Knowledge Base* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/asa_1809
- [18] ReShade. *PCGamingWiki* [online]. 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.pcgamingwiki.com/wiki/ReShade>

Seznam symbolů a zkratk

DSP	číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing
VR	virtuální realita – Virtual Reality
AR	rozšířená realita – Augmented Reality
USB	univerzální sériová sběrnice – Universal Serial Bus
IPD	zornicová vzdálenost – Interpupillary Distance
FoV	zorné pole – Field of View
PPD	počet pixelů na 1 stupeň – Pixels Per Degree
OLED	Organic Light-Emitting Diode
AMOLED	Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode
LED	elektroluminiscenční dioda – Light-Emitting Diode
IMU	inerciální měřicí jednotka – Inertial Measuring Unit
IR	infračervené – Infrared
PCB	deska plošných spojů – Printed Circuit Board
PETG	Polyethylenglykol polyethyltereftalátu – Polyethylene Terephthalate Glycol
ASA	Akrylonitril styren akryl – Acrylonitrile Styrene Acrylate
PC	Polykarbonát – Polycarbonate
UV	ultrafialové – ultraviolet
SMT	povrchová montáž – Surface-mount technology

A Obsah elektronické přílohy

Přílohy obsahují především 3D modely, projekty programu PrusaSlicer a projekty 3D programu Blender. Jsou k dispozici rovněž soubory projektu programu EasyEda.

```
/.....kořenový adresář přiloženého archivu
├── Blender ..... projektové soubory programu Blender
│   └── HeadsetModel.blend
├── EasyEda.....projektové soubory programy EasyEda
│   ├── CommonConnector.json
│   └── PCB- Routing complete.json
├── Modely ..... exportované, kompletní 3D modely
│   ├── HeadsetBand.stl
│   └── HeadsetModel.stl
└── PrusaSlicer.....jednotlivé projekty programu PrusaSlicer
    ├── HeadsetBand.3mf
    ├── HeadsetPrintPart1.3mf
    ├── HeadsetPrintPart2.3mf
    └── HeadsetPrintPart3.3mf
```