

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

Chytré brýle

Smart Glasses

2018

Autor:

Bc. David Kovanda

Vedoucí práce:

Ing. Bc. Šárka Němcová, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kovanda** Jméno: **David** Osobní číslo: **412276**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Přístrojová a řídicí technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Chytré brýle

Název diplomové práce anglicky:

Smart glasses

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte pomůcku pro neslyšící osobu, která zprostředkuje informaci o zvucích v okolí.
2. Pomůcka má sloužit především pro zlepšení orientace neslyšícího v běžném prostředí.
3. Podávané informace budou vizuální, pomůcka bude ve formě brýlí.
4. Navrhněte optickou část - zobrazovací soustavu.
5. Navrhněte mechanické uložení optiky a celkový tvar brýlí.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kamarád: Základní kvalifikační učebnice
- [2] podklady k přednáškám Aplikované optiky na moodle <https://moodle.fs.cvut.cz/course/view.php?id=150>
- [3] Bumbálek: Technická optika, skripta ČVUT

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Bc. Šárka Němcová, Ph.D., odbor přesné mechaniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Bc. Šárka Němcová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze 10. 6. 2018

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí své diplomové práce Ing. Bc. Šárce Němcové, Ph.D., za její odborné vedení mé diplomové práce a cenné rady, které mi vždy pomohly, nejen při vypracování této práce, ale i v životě, a také za to, že mě nadchla pro optiku. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Čápovi, Ph.D., za znalosti, které mi předal během studia a za cenné rady při tvoření simulací. Také bych rád poděkovat Doc. Ing. Janu Hoškovi, Ph.D., za velkou životní příležitost, kterou mi tímto projektem dal. Nakonec bych rád poděkoval svým rodičům za umožnění studia na vysoké škole, a hlavně svoji přítelkyni za její podporu při studiu.

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem pomůcky pro sluchově neslyšící osobu, která zprostředkuje informaci o zvucích v jeho okolí. Tato pomůcka bude sloužit k tomu, aby neslyšící osoba měla větší přehled v běžném prostředí. Sdělení těchto informací je prováděno pomocí rozšířené reality a samotná pomůcka byla vytvořena ve formě brýlí. V práci je popsán optický návrh soustavy pro zobrazování informací a uložení optických prvků. Dále je zde popsána hardwarová část brýlí a jejich celková konstrukce.

Klíčová slova

rozšířená realita, chytré brýle, mechanické uložení optických prvků

Annotation

The master thesis deals with the design of an aid for a deaf person, which mediates information about the sounds in his surroundings. This aid will serve to make the deaf more insightful in the normal environment. The communication of this information is carried out with the help of expanded reality and the aid itself was created in the form of glasses. The thesis describes the optical design of the system for displaying information and the mounting of optical elements. Here is also described the hardware part of the glasses and their overall design.

Keywords

Augmented reality, smart glasses, mechanical optical design

Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Popis.....	8
1.2	Motivace.....	9
2	Rozšířená realita.....	10
2.1	Marker based augmented reality	10
2.2	Markerless Augmented Reality	11
2.3	Superimposition Based Augmented Reality.....	11
2.4	Projection Based Augmented Reality.....	12
2.5	Zobrazovací metody.....	13
2.5.1	Semicovering displays.....	13
2.5.2	Laser display	15
3	Analýza existujících zařízení pro rozšířenou realitu	17
3.1	Vuzix M100	17
3.1.1	Popis.....	17
3.1.2	Technické vybavení.....	18
3.1.3	Zhodnocení.....	19
3.2	Epson Moverio BT-300.....	19
3.2.1	Popis.....	19
3.2.2	Technické vybavení.....	20
3.2.3	Zhodnocení.....	21
3.3	Google Glass	22
3.3.1	Popis.....	22
3.3.2	Technické vybavení.....	23
3.3.3	Princip Google Glass.....	24

3.3.4	Zhodnocení.....	24
3.4	Zhodnocení analýzy stávajících zařízení.....	25
4	Návrh vlastního zařízení.....	26
4.1	Popis.....	27
4.2	Návrh optiky.....	28
4.2.1	Numerická simulace.....	31
4.2.2	Testování optiky.....	36
4.3	Návrh elektroniky.....	39
5	Uložení optických prvků.....	42
5.1	Uložení čoček.....	42
5.2	Uložení zrcadel.....	46
5.3	Vliv naklonění čočky na kvalitu obrazu.....	47
6	Konstrukce brýlí.....	49
6.1	Popis.....	49
6.2	Ostření.....	49
6.3	Celkový tvar a rozměry brýlí.....	51
7	Závěr.....	53
	Seznam obrázků.....	55
	Literatura.....	57

1 Úvod

1.1 Popis

Rozšířená realita (RR) je označení používané pro reálný obraz světa doplněný počítačem vytvořenými objekty. Jinak řečeno jde o zobrazení reality, např. budovy a následné přidání digitálních prvků, třeba informací o daném objektu. Vzhledem k tomu, že se jedná zatím o relativně mladou a dynamicky se vyvíjející technologii, tak se očekává, že množství nejrozmanitějších aplikací bude stále větší a větší. V posledních letech se na trhu objevují hlavně zařízení v podobě brýlí, ale tato technologie může být reprezentována více způsoby. Brýle, které byly uvedeny na trh, mají různá využití od lékařství (např. při operacích) až po speciální brýle pro piloty dopravních letadel, které umožňují vidět všechna důležitá data pro let bez ohledu na to, jakým směrem se zrovna pilot dívá.

Samotná diplomová práce je součástí SGS projektu, který se zabývá vytvořením brýlí pro RR, které budou mít funkci vizualizovat zvuk pomocí RR. Projekt si klade za cíl usnadnit život neslyšícím osobám a zpřístupnit jim zvuk alespoň v základní vizuální podobě. Tato vizuální podoba bude spočívat v zobrazování intenzity zvuku a směru přicházejícího z okolí. Vizualizace bude dále doplněna o převod řeči na text, který se bude uživateli zobrazovat. V tomto projektu funguji jako hlavní řešitel a zajišťuji vývoj optické části a jeho uložení a celkovou konstrukci výsledného zařízení. Dále se zde zabývám koncepčním návrhem elektroniky, ale na samotný návrh a výrobu využívám externí zdroje na fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze.

Celý projekt těchto brýlí je rozdělen na čtyři části. První část se zaměřuje na vysvětlení pojmu RR a analýzu již existujících zařízení pro RR, kterých velmi přibývá, protože budoucnost v RR vidí většina světových technologických gigantů. V jejich čele stojí průkopník – firma Google, která jako první uvedla na trh svůj produkt Google Glass a potom ji následovaly další firmy. V této části hlavně popisují vlastnosti, které tato zařízení mají, a odůvodňují, proč jsem se rozhodl k postavení vlastního zařízení pro RR.

Druhá část je zaměřena na vlastní návrh brýlí, kde se především zaměřuji na technické a optické parametry zařízení pro RR. Požadavky na naše zařízení budou vycházet z první

části, kde budou ujasněny hlavní parametry zařízení. V této části také bude navržena většina součástí pro optické řešení a otestuji je v programu Zemax. Poté na základě velikosti součástí sestavím model zařízení, který vyrobím a budu na něm testovat navrženou optiku.

Třetí část projektu se věnuje analýze softwarové části. Jedná se o techniky vizualizace zvukového signálu a o průzkum trhu s aplikacemi podobného typu. V této části je proveden test několika nahrávek pro výběr optimálního frameworku pro převod řeči na text. Dále je tato část doplněna o průzkum toho, zda je spojení rozšířené reality, vizualizace zvuku a neslyšících osob již využíváno. Tato část nebude součástí této diplomové práce, ale je externě vypracována jako projekt studenta na fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze.

Čtvrtá část je zaměřena na implementaci hotové aplikace do našeho zařízení pro RR a testování již plně funkčních brýlí.

1.2 Motivace

Motivace pro tuto diplomovou práci je velmi jednoduchá: jedná se o pomoc lidem, tudíž motivace vykonat nějakou dobrou věc. Jenom v České republice žije okolo 0,5 milionu nedoslýchavých a neslyšících lidí. Z toho je 7 600 osob zcela hluchých (vada sluchu trvá od narození nebo vznikla před započítáním nebo v průběhu školní docházky). [1], [2] Jelikož znakovou řeč ovládá méně jak 8 000 osob v České republice a metoda odezírání řeči není zcela spolehlivá ani lehká na ovládnutí, vznikají po světě spousty projektů na rozpoznávání řeči, převodu řeči na text a v dnešní době populární hlasoví asistenti (Siri od společnosti Apple, Cortana od společnosti Microsoft či Google Now od společnosti Google). Ovšem tyto asistenti pracují se zvukem či zobrazují data na displejích telefonů, tabletů a podobně. Tento způsob není zcela vhodný pro používání v běžném životě, a proto jsme se rozhodli využít právě RR. Ta dovolí uživateli udržet oční kontakt s okolním světem a pouze mu v zorném poli poskytne doplňující informace o dění v uživatelově okolí. Děním není myšlena pouze řeč, ale veškeré zvuky v jeho okolí, ať už se jedná o zvuk jedoucího automobilu, troubení klaksonu nebo o štěkot psa. Další motivací je prozkoumat propojení nových IoT senzorů s rozšířenou realitou a zkoumat její další využití. Osobně soudím, že má mnohem větší budoucnost v použitelnosti než realita virtuální, která upozadňuje reálný svět a v běžném životě nemá zatím velké využití. Velká výzva je i to, že se snažíme spojit

několik oborů dohromady: jemnou mechaniku a optiku, elektroniku a IT. Tato zkušenost nás všechny velmi obohatila a v budoucnu bude pro nás velmi užitečná.

2 Rozšířená realita

Jak už bylo v úvodu řečeno, pojem RR je označení pro reálný obraz světa obohacený o počítačově vytvořené prvky. Na rozdíl od většiny technologií, které se věnují různým typům realit, tato technologie spočívá uprostřed smíšeného spektra realit mezi skutečným světem a virtuálním světem. Tato technologie byla asi nejvíce zpopularizována pomocí brýlí značky Google zvané Google Glass. Aplikace rozšířené reality mohou být jednoduché jako textové oznámení nebo komplikované jako instrukce, jak provést život ohrožující chirurgický zákrok. Mohou zvýraznit určité funkce, zvýšit porozumění a poskytnout dostupné a včasné údaje. Klíčovým bodem je, že poskytnuté informace jsou vysoce aktuální a relevantní pro to, co chcete dělat. Existuje několik typů rozšířené reality.

2.1 Marker based augmented reality

Marker based realita je založená na rozpoznávání obrazu. K tomu používá kameru a nějaký typ vizuálního značení jako je QR nebo 2D kód k vytvoření výsledku, a to pouze tehdy, když je značka snímána čtečkou. Aplikace založené na značkách používají fotoaparát na zařízení k odlišení *značky* od jakéhokoli jiného objektu reálného světa. Odlišné, ale jednoduché vzory (jako je QR kód) se používají jako značky, protože je lze snadno rozpoznat a nevyžadují velký výpočetní výkon pro čtení. Rovněž se vypočítá poloha a orientace obrazu, v níž je určitý typ obsahu a ten je následně překryt (viz obrázek 1) [3].



Obrázek 1 Marker based augmented realita [3]

2.2 Markerless Augmented Reality

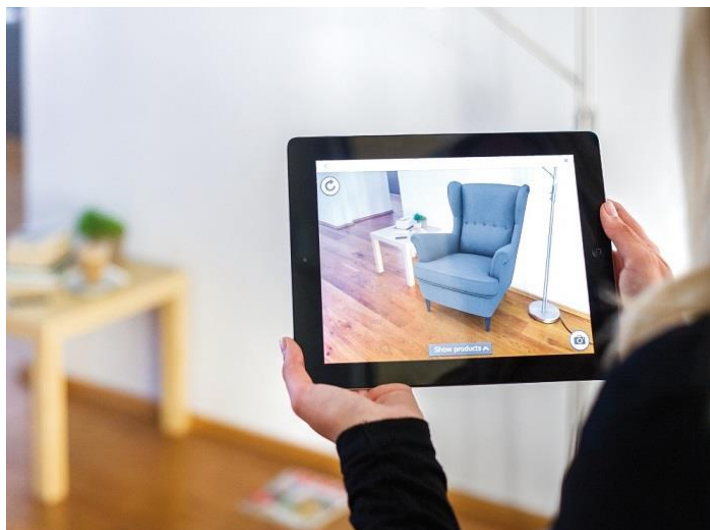
Markerless Augmented Reality je jedna z nejrozšířenějších aplikací RR. Markerless (také nazývaná lokalizační nebo GPS) RR používá GPS, digitální kompas, měřič rychlosti nebo akcelerometr, který je vložen v zařízení tak, aby poskytoval data na základě polohy. Velkou výhodou této technologie RR bez markerů je široká dostupnost chytrých telefonů a funkce detekce polohy, kterou tyto telefony disponují. Nejčastěji se používá pro mapování směrů, hledání blízkých firem a v dalších mobilních aplikacích zaměřených na umístění [3].



Obrázek 2 MarkerlessAugmented reality [3]

2.3 Superimposition Based Augmented Reality

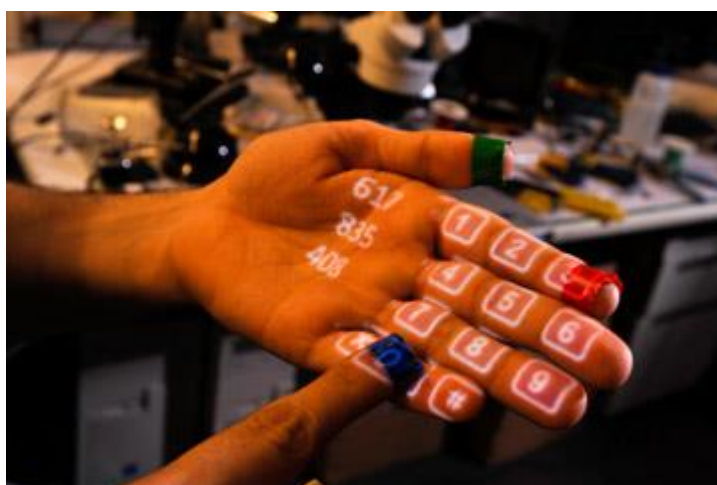
Rozšířená realita založená na superpozici buď částečně, nebo zcela nahrazuje původní pohled objektu nově rozšířeným pohledem na ten stejný objekt. V rozšířené realitě založené na superpozici hraje rozpoznávání objektů zásadní roli, protože aplikace nemůže nahradit původní pohled, pokud nemůže určit, jaký je to objekt. Příklad RR na základě superpozice lze nalézt v katalogu nábytku rozšířené reality Ikea, viz obrázek 3 [3].



Obrázek 3 Superimposition Based Augmented Reality – Ikea [3]

2.4 Projection Based Augmented Reality

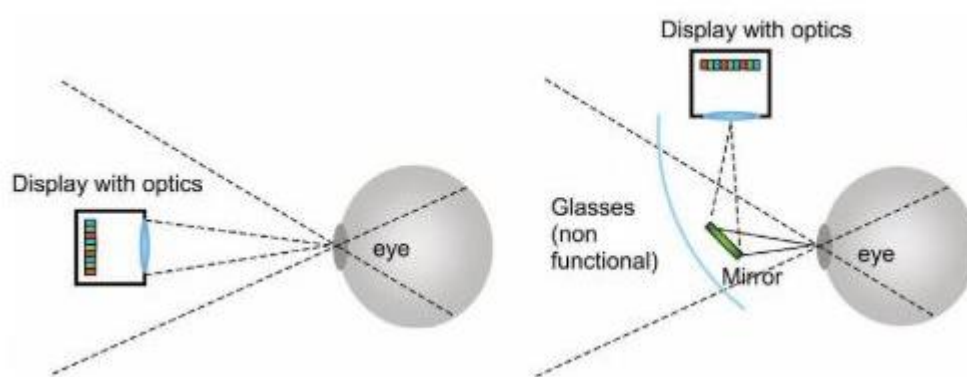
Projektově založená RR pracuje na principu promítání světla na povrchy skutečných objektů. Tato metoda umožňuje interakci člověka tím, že projekční soustava vytváří obraz na skutečný povrch a pak zaznamenávají lidskou interakci (tj. Dotykem) promítaného obrazu, viz obrázek 4. Detekce interakce uživatele se provádí rozlišováním mezi očekávanou (nebo známou) projekcí a změněnou projekcí (způsobenou interakcí uživatele). Další zajímavá aplikace RR založené na projekci využívá laserovou plazmovou technologii k promítnutí trojrozměrného interaktivního hologramu do prostoru [3].



Obrázek 4 ProjectionBasedAugmented Reality[3]

2.5 Zobrazovací metody

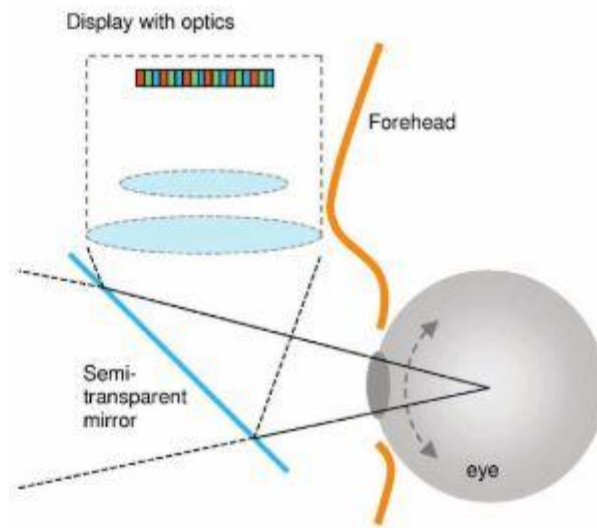
Pro zobrazení RR nebo VR dnes existuje několik metod. Většinou se jedná o tzv. near-eye displeje, které se dále dělí na několik typů. Nejjednodušší způsob je View-Covering Displays. Tento způsob funguje tak, že se optika umístí přímo před oči uživatele. Ale tento způsob je vhodný pouze pro VR, protože zabraňuje výhledu na reálný svět. Další způsob je Semicovering Displays. Tento způsob se již využívá v RR a funguje na principu promítnutí obrazu na sítnici oka, viz Obrázek 5.



Obrázek 5 Semicovering displays – vlevo je displej s optickým zařízením přímo před okem a vpravo je do oka promítán obraz pomocí polopropustného skla [4]

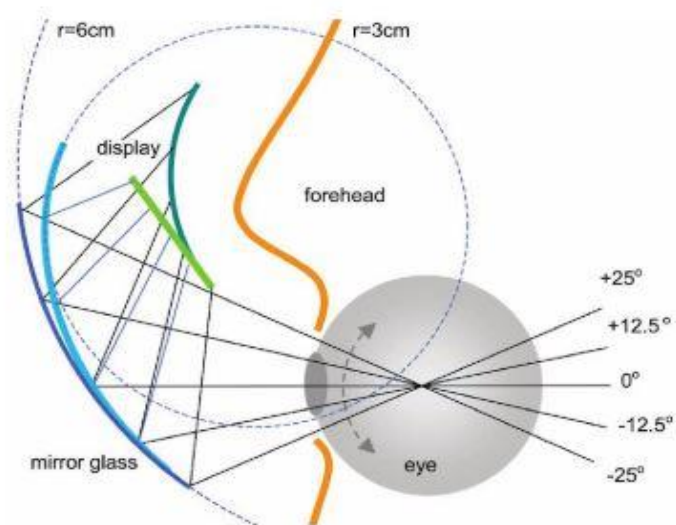
2.5.1 Semicovering displays

Samotná aplikace se většinou skládá z malého displeje a zvětšovací optiky, která se umísťuje co nejbližší k oku, aby se předcházelo optickým vadám obrazu. Displej může být umístěn buďto před okem uživatele, což ve výsledku funguje jako zobrazení lupou a v RR se nepoužívá, nebo je displej mimo zorné pole uživatele a na oko se promítá pomocí polopropustného skla. Uživatel se může libovolně otáčet a stále vidí virtuální obraz. Tento způsob je velmi rozšířený a využívá se v zařízeních pro RR v podobě brýlí. Ale tento způsob má nevýhodu malého zorného nebo příliš velké zobrazovací části, viz Obrázek 6.



Obrázek 6 Optické schéma RR s rovným polopropustným sklem [4]

Zorné pole je možné zvětšit nahrazením rovného polopropustného skla konkávním zvětšovacím sklem, viz Obrázek 7.



Obrázek 7 Optické schéma se sférickým zrcadlem [4]

Na Obrázek 7 je zobrazené schéma se sférickým zrcadlem, kde tmavě modrá barva zobrazuje sférické sklo s ohniskovou vzdáleností 30 mm. Velikost zorného pole si můžeme ukázat pomocí konstrukce paprsků ze středu oka, kde můžeme vidět oblast zaostření (tmavě zelená barva), která je také téměř sférická. To by znamenalo, že bychom potřebovali buďto sférický displej, nebo další optickou součást, která by korigovala zaostření pro rovinný displej. Vytvořením asférického zrcadla (světle modrá barva) se zmenší oblast zobrazení. Ohnisková vzdálenost zrcadla se plynule mění, a to od horní části, kde je ohnisková vzdálenost 15 mm do spodní části, kde je opět 30 mm. V horní části je

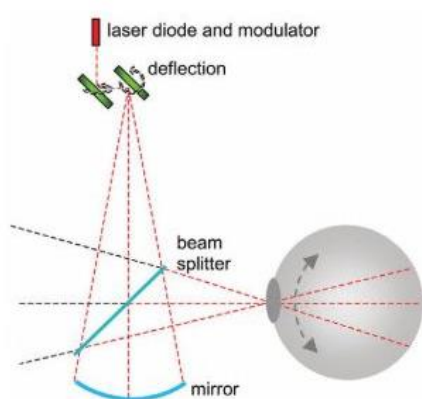
tedy dvojnásobné zvětšení než ve spodní části. Obraz na displeji musí být zdeformován, aby mohl být poté správně zobrazen. Přesto je s takovou konstrukcí možné dosáhnout zorného pole až 50°. Kdybychom optiku dali ještě blíže oku, je možné dosáhnout zorného pole až 60°, což je pro aplikace s RR dostačující, a proto se tento způsob používá v komerčně dostupných zařízeních. [4]

2.5.2 Laser display

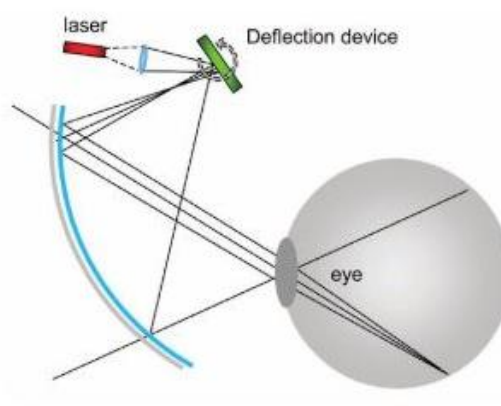
Dalším typem near-eye displejů je Laser near-eye display, který je někdy také nazýván virtual retina display. Zdrojem obrazu je laser společně s optikou, která musí poskytovat poměrně široký paralelní svazek, čímž vznikne zaostřený bod na sítnici. Sestava vychylování musí být schopna přenášet paprsky z různých směrů vždy skrze pupilu, protože paprsek musí dopadat na různá místa na sítnici, kde se bod po bodu vykreslí obraz.

Klasické schéma této technologie je zobrazeno na Obrázek 9. Laserová dioda společně s vychylovacím zrcátkem slouží jako monochromatický červený datový displej o rozlišení 640x480. Laserové displeje mají většinou velký jas, a proto jsou vhodné i pro venkovní použití, naopak v interiéru upozaďují skutečné objekty. Obraz je zasazen napevno v uživatelské poli. Pokud uživatel pohne očima, může se stát, že paprsek mine pupilu, a to zejména tehdy, když je oko přizpůsobeno slunečnímu svitu, a tudíž je pupila velmi malá. Na Obrázku 8. jsou dále vidět dvě vychylovací zrcátka, jedno vychyluje v horizontálním směru a druhé ve vertikálním směru. Výchylky jsou prováděny technologií MEMS (microelectro-mechanical systems). Z optického hlediska v tomto prvku nedochází k žádným optickým vadám, přesto se tento způsob příliš nevyužívá. Předposlední člen je duté zrcadlo, které má zvětšovací efekt a následně odráží svazek skrze polopropustné sklo na sítnici oka. V pozdějších konstrukcích se zrcadlo už nepoužívá a celá zvětšovací optika je soustředěna mezi displej a polopropustné sklo.

I tato technologie může kombinovat polopropustné sklo s konkávním zrcadlem, jak je zobrazeno na Obrázek 8.



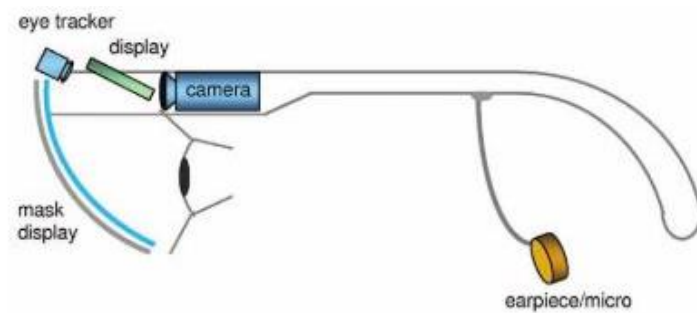
Obrázek 8 Laser scanner [4]



Obrázek 9 Laser scanner se sférickým zrcadlem [4]

Pro ostrý bod na sítnici s okem zaměřeným na nekonečno by měl paprsek dopadnout jako paralelní svazek. Zrcadlo musí být umístěno v místě, kde je paprsek alespoň tak široký jako pupila. V opačném případě by se odkloněný paprsek příliš vychýlen a nemohl by být zaměřen. Velikost zrcadla i průměr paprsku u pupily by měl být minimálně 0,25 mm pro rozlišení VGA (640x480) a to z důvodu divergence paprsku. Při snižování průměru svazku se zvyšuje jeho divergence. Pro lepší rozlišení (> 1600 x 1200 by měla být průměr paprsku asi 1 mm. Virtuální obraz je tvořen počítačem nebo HDTV. V tak velkém rozlišení potřebujeme velkou zobrazovací frekvenci minimálně 100 kHz. Pohyblivé zrcátko musí být velmi rychlé, což je mechanicky velmi složité.

V současných zařízeních pro RR se využívají obě možnosti zobrazení s určitými modifikacemi. Zde byly popsány pouze základní principy těchto technologií, přesná schémata komerčních zařízení nejsou dostupná. Většinou jsou tyto optické systémy ještě doplněny o tzv. eye-tracker, který sleduje vstupní pupilu oka a pomocí mechaniky uvnitř zařízení směřuje virtuální obraz do zorného pole oka. Příklad výsledné podoby zařízení s eye-trackerem je na obrázku 10 [4]



Obrázek 10 Near-eye display with eye-tracker [4]

3 Analýza existujících zařízení pro rozšířenou realitu

V této části diplomové práce se věnuji rozboru již existujících zařízení, které jsou schopné pomocí RR zobrazovat informace. Také se zaměřuji na jejich další parametry, které jsou důležité. Například počet a rozmístění mikrofonů, výpočetní výkon, kapacita baterie a operační systém.

3.1 Vuzix M100

3.1.1 Popis

M100 je model chytrých brýlí od společnosti Vuzix (viz Obrázek 11). Jsou to chytré brýle, které běží na systému Android. Je to nositelný počítač určený pro komerční i profesionální uživatele. Jeho předinstalované aplikace lze použít pro záznam a přehrávání statických snímků a videa, sledování událostí, správu kalendáře, odkazy k telefonu a další. Optika a počítač brýlí M100 jsou připevněny na ergonomické obroučky ve verzi Enterprise nebo ve verzi Prosumer. Jedná se o první komerčně dostupné nositelné brýle, které jsou ve volném prodeji od konce roku 2013. Vuzix v současné době disponuje několika verzemi těchto brýlí. Některé jsou zaměřené na použití v oblasti medicíny, vzdálených asistentů, skladování a výroby. Další verze jsou určeny pro denní

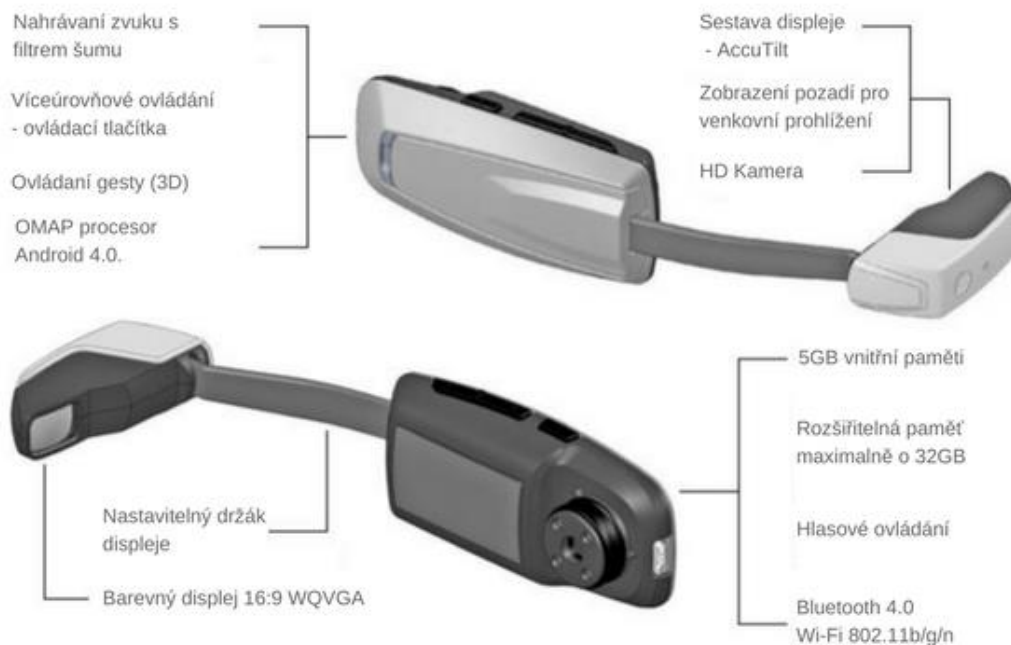
využití a díky systému Android lze na tyto brýle instalovat aplikace přímo z Google Play, tím pádem mohou klidně zastupovat i chytrý mobil nebo pomocí brýlí mobil ovládat.



Obrázek 11 Vuzix M100 [5]

3.1.2 Technické vybavení

Přístroj je vybaven 16:9 full colour displejem WQVGA od firmy Kopin, který je na ohebném rameni, což umožňuje seřízení jeho polohy před okem. Zorné pole je ekvivalentní čtyřpalcovému displeji při pozorovací vzdálenosti 35 cm. Přístroj je vybaven procesorem OMAP4430, který běží na frekvenci 1 GHz s 1 GB RAM a 4 GB interní paměti. M100 běží na Android 4.0.4 společně VUZIX vlastním OS 2.0. Brýle lze ovládat několika způsoby, a to čtyřmi ovládacími tlačítky, dálkovým ovladačem nebo pomocí gest a hlasu. Kromě ovládacích tlačítek zabudovaných na brýlích je využití ostatních ovládacích prvků podmíněno připojením k zařízení se systémem Android. K jeho zvukovému vybavení patří reproduktor a mikrofón s potlačením šumu. Dále obsahují fotoaparát, integrovaný gyroskop, akcelerometr a kompas. K brýlím se lze připojit pomocí USB, WiFi a Bluetooth, kde USB připojení může sloužit i jako síťové napájení. Jinak jsou brýle napájeny baterií o kapacitě 550 mAh, což je velká slabina těchto brýlí [5].



Obrázek 12 Popis Vuzix M100 [5]

3.1.3 Zhodnocení

Jedná se o velmi povedené brýle, ovšem pro účely tohoto projektu se jedná o zbytečně drahé zařízení, které se prodává za 1080 €. Systém Android těmto brýlím dává opravdu širokou škálu využití. Co se týče hardwaru, a tak nedisponují vším, co bychom od našeho zařízení očekávali, a také obsahují velmi mnoho komponentů, které bychom nevyužili. Další velkou slabinou je kapacita baterie, která je pro člověka, který by tyto brýle užíval celý den, nedostatečná.

3.2 Epson Moverio BT-300

3.2.1 Popis

BT-300 je model chytrých brýlí od společnosti Epson. Android, který je operačním systémem těchto brýlí, umožňuje do přístroje doinstalovávat aplikace vytvořené přímo pro tyto brýle. Vyvinuté aplikace mají možnost využívat veškeré funkce, které tyto brýle nabízejí: nahrávání videa, focení, nahrávání zvuku, GPS a další. Optika brýlí je vestavěna v těle, proto není možno ji přesouvat na jiné obroučky. Výpočetní technika je dokonce vyvedena mimo brýle. Jedná se o třetí verzi těchto brýlí od firmy Epson. Předchůdci byly

verze BT-200 a BT-100. Od minulých verzí se tato verze liší kromě rychlejšího HW také v tom, že se jedná o zcela průhledné brýle a je tedy lépe vyřešena optika brýlí. Brýle Moverio nejsou tak všestranné jako model od firmy Vuzix, využívají se hlavně pro řízení dronů. Epson přímo spolupracuje například se společností DJI. Pilot má totiž možnost přirozeně vidět své okolí a zároveň sledovat přímý přenos videa z kamery dronu a kombinací obou vjemů pak dron lépe ovládat. S brýlemi Moverio se aktuálně můžete setkat například u Šikmé věže v Pise, některých muzeích a nově jejich využití chystají například v barcelonské opeře. Pokračuje vývoj lékařských nástrojů, které RR brýlí Moverio využívají, například nástroj pro vizualizaci žil pro odběry krve a zavádění kanyl, nebo pro speciální zubní skener, při jehož použití se lékař neotáčí k monitoru. Součástí prostředí Moverio, bohužel, není obchod Google Play, protože Epson chce, aby v brýlích fungovaly jen aplikace, které na nich mají smysl. Provozuje proto vlastní „App Market“, do kterého připravuje aplikace přímo výrobce a stovky dalších vývojářů. Zařazení aplikace do obchodu předchází její testování - podobně jako u obchodu s aplikacemi Google.



Obrázek 13 Epson Moverio BT – 300 [6]

3.2.2 Technické vybavení

Brýle jsou vybaveny dvěma projektory. Obraz nyní vytváří OLED displeje s rozlišením 720p. Obraz má velké rozlišení a je velmi jemný. Především je mnohem kontrastnější na černém podkladu, dle výrobce je to až 100000:1. Důležité je, že v běžně nasvětleném prostředí byl překrývající obraz za všech okolností výrazný a dostatečně kontrastní. OLED

displeje jsou vlastní produkce Epsonu, jde o takzvaný SI-OLED s křemíkovým základem. Velikost obrazu o velikosti cca 1 m je zobrazována ve vzdálenosti 2,5 metru. Obsahuje čtyř jádrový procesor od Intelu s frekvencí 1,44 GHz s 2 GB RAM a interní paměti 16 GB. Výkon těchto brýlí je dostatečný pro projekci 3D modelů a jejich interakci s prostorem. V brýlích je také zabudována 5MPix kamera, s kterou lze natáčet videa nebo fotit snímky. Brýle dále obsahují jeden mikrofon, gyroskop a GPS. K brýlím se lze připojit pomocí USB, WiFi a Bluetooth. Jinak jsou brýle napájeny baterií o kapacitě 2950 mAh, což je dostatečná kapacita pro 6 hodinové přehrávání videa [6].

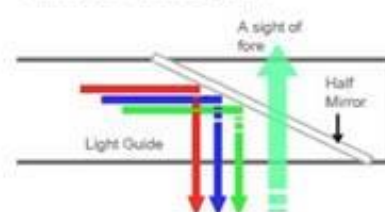
Optical Engine Technologies

High image quality and compact optical engine

BT-300's Optical Engine



Principles of optical system



Epson's optical component processing technology enables high quality digital image in very thin plastic glasses

- Ultra-Compact Si-OLED panel processing technology
- Epson Unique Optimized Algorithm
 - Projection system : Free-form projection lens
 - Light Guide : Combination of Free-form Mirror and Relay Optical system (luminous flux control)

Obrázek 14 Moverio BT300 – princip[6]

3.2.3 Zhodnocení

Ačkoliv tyto brýle disponují perfektním výkonem, displejem i baterií, všechny tyto kladné věci bohužel kazí cena, která se pohybuje okolo 800 €. Jedná se o brýle, které si najdou své uplatnění, ale bohužel bylo by zbytečné a drahé je používat v tomto projektu. Samozřejmě nevýhodou je také to, že mají přesunutou výpočetní část mimo brýle.

3.3 Google Glass

3.3.1 Popis

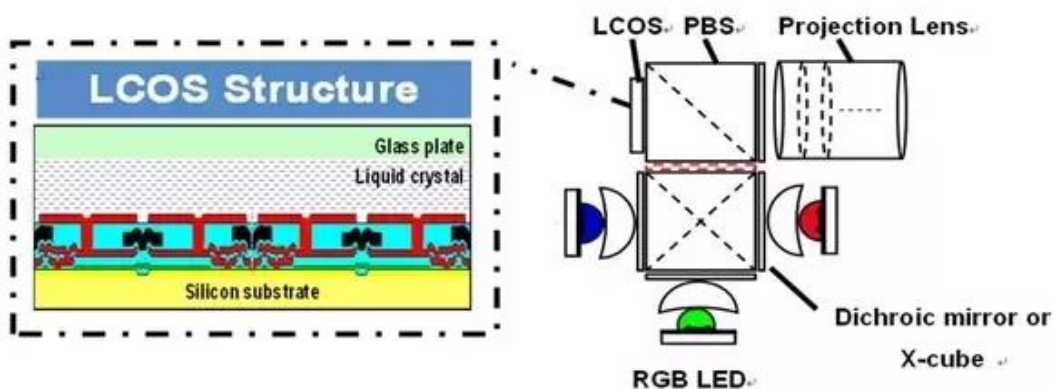
Google Glass viz obrázek 15 je model chytrých brýlí vycházející z projektu Glass společnosti Google. Jelikož se jedná o výrobek společnosti Google, je očekávané, že tyto brýle budou obsahovat operační systém Android. Brýle byly vyvinuty společností Google X, která se věnuje dalším technologickým pokrokům, jako jsou třeba autonomní auta. Jednalo se o jedny z prvních brýlí na RR a tyto brýle velmi popularizovaly právě tuto technologii. První prototyp Google Glass se podobal standardním brýlím s projektořem a vážily okolo 3 kilogramů. Poté byl projektoř nahrazen průhlednými skly a brýle vážily přibližně stejně jako normální dioptrické brýle. Optika těchto brýlí je velmi unikátní a Google si ji nechal patentovat. LCOS je displej na bázi křemíku s tekutými krystaly, který potřebuje polarizované světlo. Nejedná se projektoř, ale o NearEye Display, který velmi snižuje velikost optiky. V roce 2013, kdy byly brýle představeny, nebylo ještě úplně jasné, jaké budou mít využití, proto brýle Google Glass byly prodávány pouze jako explorer verze a poté byl prodej zastaven úplně. Lidé totiž v této době ještě nebyli na technologii RR připraveni a nedokázali si představit, že by tuto technologii používali v běžném životě, ale i přesto vývoj firmy Google běží dál. V této době byla představena další verze těchto brýlí, ale jejich bližší specifikace není zatím známá [7, 8].



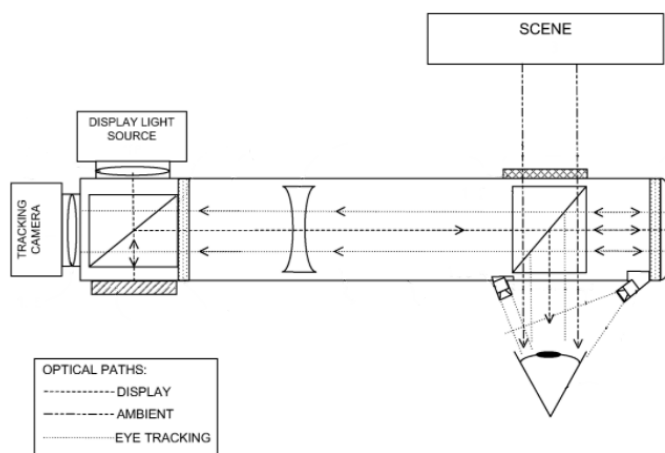
Obrázek 15 Google Glass

3.3.2 Technické vybavení

Brýle jsou vybaveny displejem LCOS, který přes optickou trasu dále vede obraz do oka. Tento display je založený na LCoS čipu od Himaxu. Displej má rozlišení 640 x 360. Brýle pohání procesor OMAP 4430 SoC o frekvenci 1.2Ghz s pamětí 1GB. Dále obsahují 5 MPx kameru, se kterou lze zaznamenávat fotky a videa o kvalitě 720p. Displej lze ovládat pomocí touchpadu, který je na straně brýlí. Také je lze ovládat hlasem, kde je klíčové slovo „OK Glass“, které celé brýle aktivuje. Mají také gyroskop, akcelerometr, kompas, senzor snímání okolního světla a senzor přiblížení, což monitoruje pohyb hlavy a otáčí obraz na brýlích. Brýle obsahují i senzor, který sleduje pohyby oka a směřuje obraz do vašeho zorného pole. Brýle lze propojit s telefonem pomocí USB, WiFi a Bluetooth. Brýle jsou napájeny baterií o kapacitě 570 mAh [9].



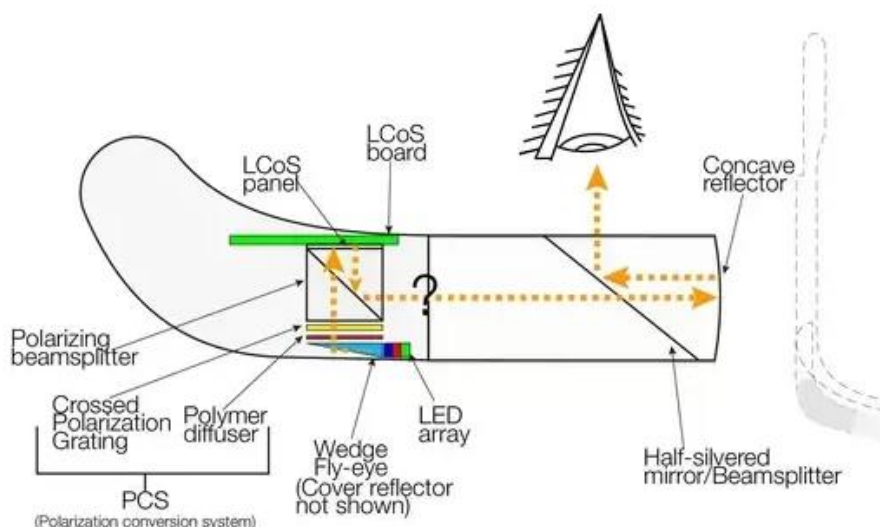
Obrázek 16 Schéma LCOS displeje [10]



Obrázek 17 Schéma patentu Google na Heads-up display including eye [10]

3.3.3 Princip Google Glass

Princip promítání obrazu na sítnici člověka je prováděn přes mini displej LCoS, který je dále veden optickou trasou do oka. Tento systém se sledováním oka si nechal Google patentovat v roce 2012. Celý optický princip je dále vysvětlen na zjednodušeném schématu na obrázku 18.



Obrázek 18 Zjednodušené schéma Google Glass [11]

Na začátku je pole LED světél. Světlo prochází skrze homogenizér (fly-eye systém), který vytváří stejně široký a rovnoběžný svazek paprsků. Následně prochází lineárním polarizérem, který polarizuje světlo tak, aby nedocházelo ke ztrátám při průchodu polarizačním děličem. LCoS panel se skládá ze segmentů půlvlnových destiček, které při dvojitém průchodu stáčí polarizaci. Světlo se stočenou polarizací je na děliči odraženo a vytváří obraz. Toto pole segmentů je řízeno napětím. Poté je obraz zvětšen na dutém zrcadle a pomocí polopropustného skla promítán do oka.

3.3.4 Zhodnocení

Brýle Google Glass byly první svého druhu a dnes se už neprodávají. Uvádíme je zde zejména proto, že jsou velkou inspirací pro naše vlastní brýle a jsou k dispozici schémata pro vysvětlení, na jakém principu fungují systémy pro rozšířenou realitu.

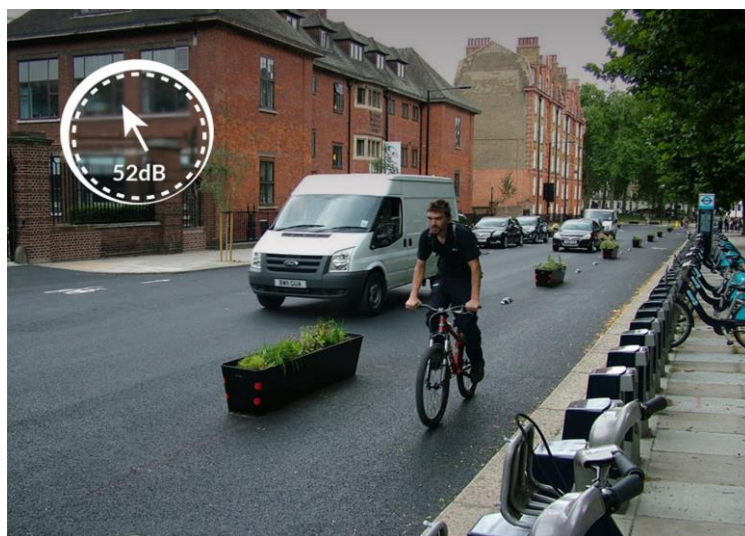
3.4 Zhodnocení analýzy stávajících zařízení

V analýze jsem zmínil pouze tři zařízení, která se nejvíce podobají potřebám našeho projektu. Bohužel ani jedno zcela nevyhovuje, zejména co se jedná o cenu výsledného zařízení. Nevyhovují nám plně ani po HW stránce, protože nemají potřebnou kapacitu baterií. Dále ani jedny brýle nevyhovují v osazení námi potřebných senzorů, a to zejména senzorů intenzity a směru zvuku. Zmíněné brýle mají pouze jeden senzor pro zaznamenávání zvuku, a to většinou uprostřed brýlí. Pro naše potřeby potřebujeme senzory minimálně dva, a to symetricky rozmístěné. Proto jsem se rozhodl navrhnout a zhotovit vlastní zařízení.

4 Návrh vlastního zařízení

Při analýze stávajících přístrojů pro rozšířenou realitu se dospěl k názoru, že se nevyplatí použít žádné již existující zařízení, a to ani jako základ pro vylepšení, a proto zhotovují celé zařízení od začátku. Tato skutečnost může snížit případnou cenu produktu, což bude mít za následek větší dostupnost lidem, kteří budou mít zájem toto zařízení využívat.

Úkolem této práce je navrhnout vlastní pomůcku, která bude vizuálně zprostředkovávat zvuk. Celé zařízení by mělo sloužit ke zlepšení orientace sluchově postižených v běžném prostředí. Rozhodl jsem se tuto pomůcku udělat pomocí rozšířené reality, a to v podobě brýlí. Práce se bude věnovat hlavně návrhu optického systému, který bude zprostředkovávat vizuální stránku, a konstrukci, do které bude optika a zbytek součástek zasazena. Pro analýzu zvuku osadím brýle celkem třemi mikrofony. Tyto mikrofony budou napojeny na řídicí jednotku celých brýlí a zpracované informace dále distribuovány na optickou soustavu, která bude vizuálně informovat uživatele o zvucích kolem něj. Další důležitá součást je SW, který bude analyzovat zvuk a vyhodnocovat jeho směr. Samotný SW bude fungovat na principu triangulace zvuku, ale jeho vypracování je už nad rámec této diplomové práce a je externě vypracován na fakultě Elektrotechnické ČVUT v Praze. Další důležitou částí je HW těchto brýlí, který musí být velmi kompaktní, ale zároveň dostatečně výkonný, aby dokázal s dostatečnou rychlostí vyhodnocovat zvuk a promítat jej před uživatele. Ideový návrh naší vizualizace můžete vidět na Obrázek 19.



Obrázek 19 Návrh vizualizace

4.1 Popis

Při vytváření těchto brýlí bude kladen důraz na pohodlnost při nošení. Nelze ovšem zapomínat na HW vybavení, které bude udávat celkovou velikost zařízení. Brýle budou osazeny třemi senzory na detekci intenzity zvuku, v tomto případě mikrofony, které budou rozmístěny symetricky na těle brýlí. Rozmístění je vidět na obrázku 20. Pro dosažení bezdrátové komunikace s mobilním zařízením budou brýle osazeny Bluetooth modulem. Samotný zobrazovací systém bude složen z displeje, který musí mít dostatečné rozlišení kvůli velkému zvětšení a zároveň bude dostatečně malý. Samotná zvětšovací soustava bude realizována buďto pomocí jedné nebo více čoček a dále vedena skrze brýle pomocí zrcadel před uživatelovo oko, kde bude promítána na sítnici oka pomocí polopropustného skla. Samotná soustava bude nastavena tak, aby samotný obraz zvětšovala na velikost úhlopříčky 100 mm, při vzdálenosti půl metru od uživatele. Celé brýle budou modulárně vyrobeny na 3D tiskárně.



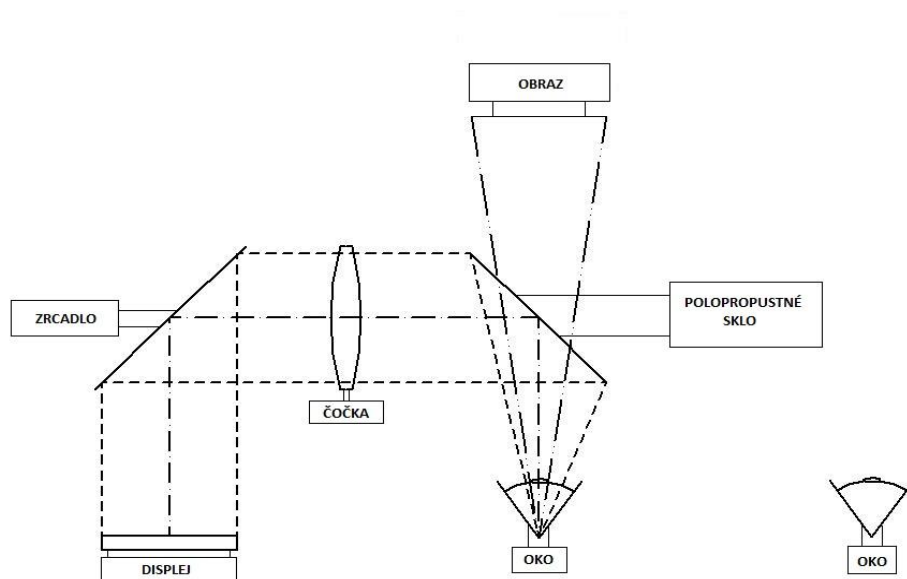
Obrázek 20 Rozmístění mikrofonů

Samotný návrh probíhal tak, že se nejdříve navrhla zobrazovací část, která byla následně testována, a poté k ní byl navržen HW a pro něj vyvinut SW. Celá konstrukce se řešila až

jako poslední z důvodu velikosti součástek, od které se vyvíjí celý tvar a velikost samotných brýlí.

4.2 Návrh optiky

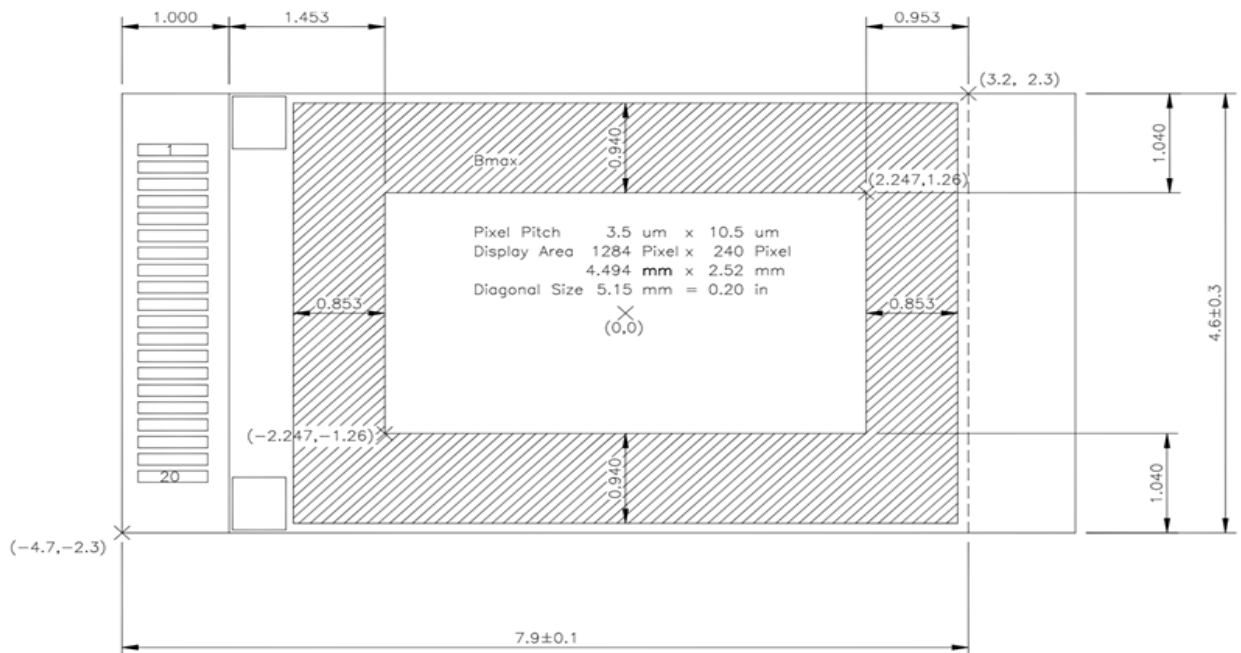
Základní schéma optiky je na obrázku 21. Skládá se z displeje, zrcadla, čočky a polopropustného skla.



Obrázek 21 Schéma optického systému

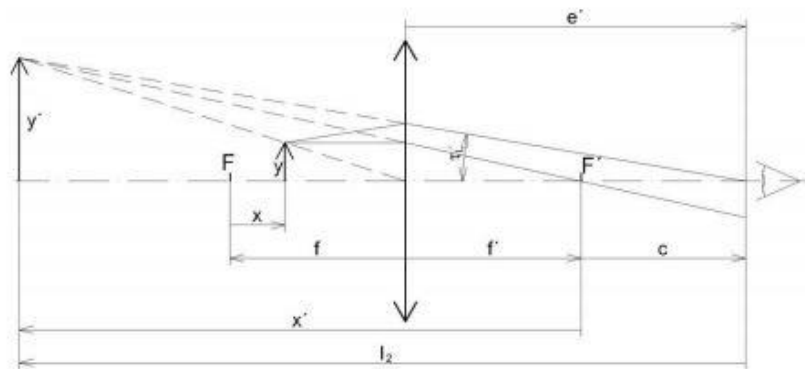
Jako první člen optického systému jsem navrhl displej. U displeje je velmi důležitá jeho velikost a rozlišení. Moje požadavky byly, aby displej měl maximální velikost do 0,4 palce kvůli samotné velikosti celého zařízení. Po dlouhém hledání vhodného displeje jsem našel displej od firmy Kopin. Tyto displeje se také používají v již zmiňovaných chytrých brýlích od firmy Vuzix. CyberDisplay® WQVGA LVS (

Obrázek 22) má úhlopříčku 5 mm. Samotný displej je složen z tekutých krystalů a je vyroben procesem CMOS využívající monokrystalový křemík. Displej obsahuje rozhraní pro nízké napětí pro kompatibilitu s integrovanými obvody ovladačů CMOS, a proto má malou spotřebu, což je pro náš případ ideální. Rozlišení displeje je 428 x 240. Aktivní plocha displeje je 4,494 mm x 2,52 mm. Plocha celého displeje je 7,9 mm x 4,6 mm.



Obrázek 22 Schéma displeje

Dalším prvkem je zvětšovací prvek celé soustavy, tedy čočka. Z důvodu složitosti ustavení více optických prvků a dodržení jejich osových vzdáleností, při výrobě na 3D tiskárně jsem se rozhodl použít pouze jednu čočku. Pro výpočet parametrů čočky jsem zvolil obrazovou vzdálenost $p' = 500 \text{ mm}$, kterou jsem zvolil z důvodu dobré zaostřovací vzdálenosti pro uživatele. Další známý údaj je velikost předmětu a obrazu, kde ve vertikálním směru je $y = 2,592 \text{ mm}$, $y' = 51,84 \text{ mm}$ a v horizontálním směru $y = 4,494 \text{ mm}$, $y' = 89,88 \text{ mm}$. Velikost obrazu jsem zvolil z důvodu dobré čitelnosti naší vizualizace a z těchto parametrů jsem posléze vypočítal zvětšení, které vyšlo 20x. Z těchto parametrů je pak možno vypočítat předmětovou vzdálenost, což je v našem případě vzdálenost mezi čočkou a displejem a určuje zvětšení výsledného obrazu. Další parametr, který budeme potřebovat, je aparatura čočky, dle které zvolíme průměr čočky. Celé schéma je vyobrazeno na Obrázek 23.



Obrázek 23 Schéma zobrazení lupou [14]

Výpočet ohniskové vzdálenosti čočky jsem vypočetl podle vzorečku zvětšení lupy.

$$\Gamma = -\frac{l_2 + c}{f'} \Rightarrow f' = \frac{500}{20} = 25 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvolil jsem } f' = 25 \text{ mm}$$

Poté jsem si mohl vypočítat předmětovou vzdálenost, kterou jsem vypočítal ze zobrazovací rovnice.

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow p = -26,31 \text{ mm}$$

Nyní si můžeme spočítat rozměry dané čočky. Ta se spočítá tak, že se sečte vzdálenost obrazu od čočky a vzdálenost displeje od oka, kterou jsem si označil jako e' a její zvolená hodnota je $e' = 80 \text{ mm}$. Tuto hodnotu jsem zvolil na základě měření na své hlavě a konstrukce brýlí.

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{y'/2}{p' + e'} \Rightarrow \alpha = 2,56^\circ \Rightarrow \text{vertikální směr}$$

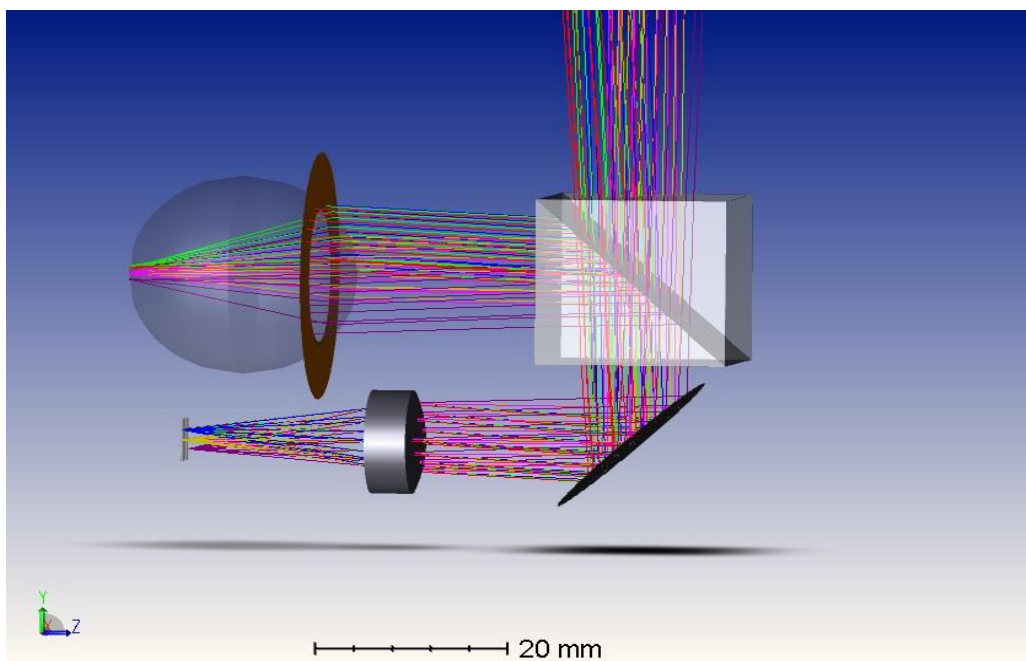
$$\text{tg}(\alpha) = \frac{D/2}{e'} \Rightarrow D = 7.1 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvolen } \varnothing D = 12,5 \text{ mm}$$

Z návrhových výpočtů jsem zvolil čočku s ohniskovou vzdáleností 25 mm a s průměrem 12,5 mm, abych nepřišel o část displeje v horizontálním směru. Poté jsem si zvolil dvě čočky, které jsem podrobil numerickým simulacím v programu Zemax, kde jsem porovnával jejich optické vady a kvalitu obrazu při 20násobném zvětšení. Zvolil jsem celkem dvě čočky, jednu plankonvexní Edmund Optics 31 855 a asférický dublet Edmund optics 49 660 [16].

4.2.1 Numerická simulace

Program Zemax se používá pro analýzu optických zobrazovacích soustav a osvětlovacích systémů. Provádí standardní sekvenční sledování paprsku pro analýzu optických vad a nesequenční sledování pro analýzu osvětlení rozptýleného světla. Hlavním cílem této simulace je zjistit kvalitu zobrazovací soustavy a její správné nastavení.

Na Obrázek 24 je optická soustava, kterou jsem použil v programu Zemax. Pro zadávání prvků jsem použil knihovnu, kterou Zemax nabízí. Jako polopropustné sklo jsem použil již nadefinované schéma, které je v nabídce knihovny „samples“ s poměrem 50/50 (odraz/propustnost). Obraz byl zvětšen 20x a promítán do vzdálenosti 500 mm od oka.



Obrázek 24 Optická simulace v Zemaxu

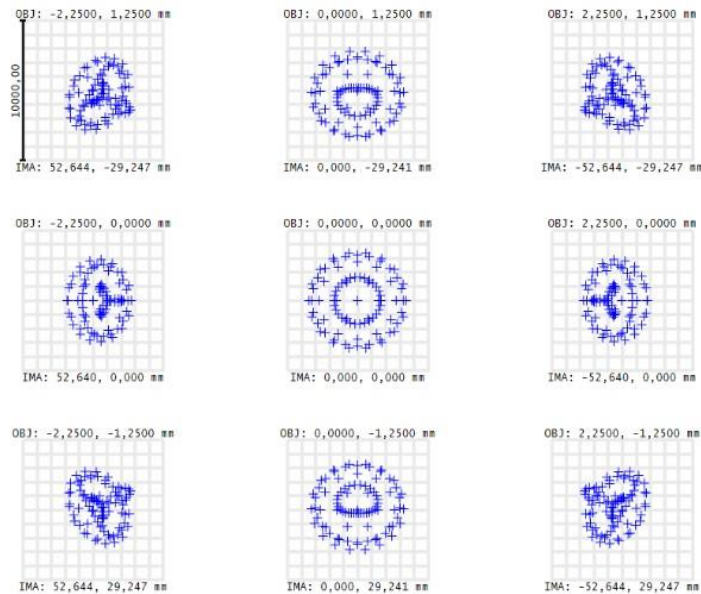
Výsledky těchto simulací prezentuji pomocí spot diagramu, který ukazuje výsledný spot, který je výsledkem trasování paprsků bodu předmětu. Z diagramu pak můžeme určit velikost spotu v obraze a aberace, které má výsledný obraz. Optické vady ještě prezentuji pomocí Seidelova diagramu, který zobrazuje, jaké vady nastávají na optických plochách v soustavě.

Simulace jsem tedy provedl na dvou čočkách, které jsem určil v předchozí kapitole pomocí výpočtů. Displej jsem vyjádřil 9 body, které symbolizují okraje displeje a jeho středový bod. V diagramu je to znázorněno jako 9 spotů. Tyto aberace byly simulovány na jedné

vlnové délce a to 550 nm, protože displej budu používat pouze jako monochromatický zdroj.

Simulace Edmund Optics 31 885

☑ + 0,55



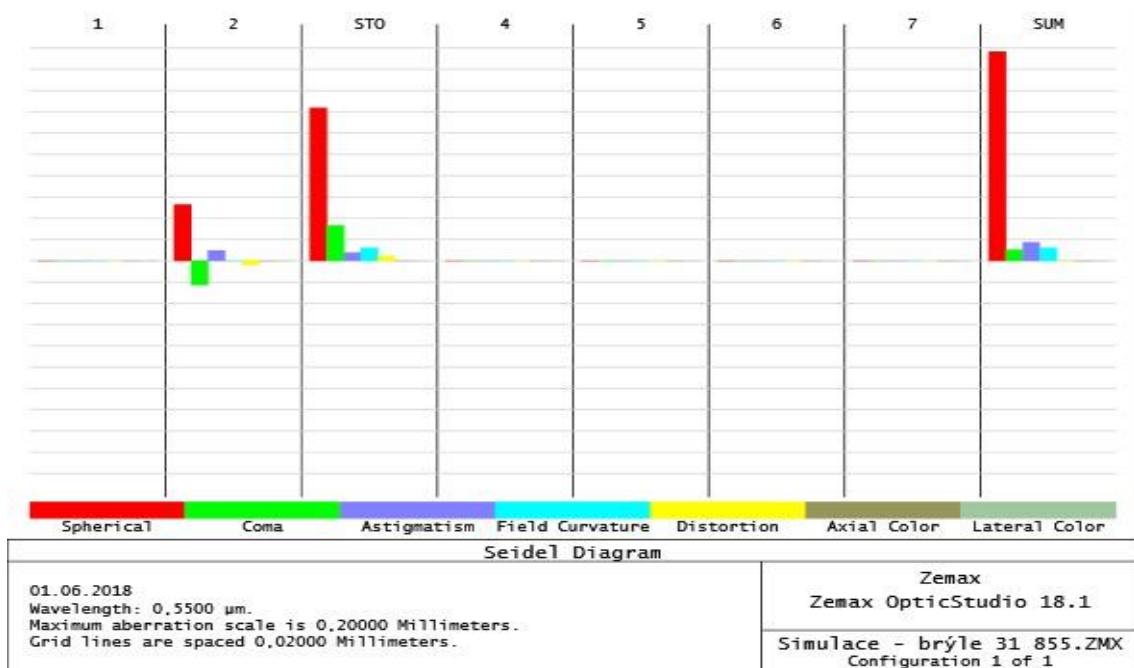
Surface: IMA

Spot Diagram										Zemax Zemax OpticStudio 18.1	
22.05.2018										Simulace - brýle 31 855.zmx Configuration 1 of 1	
Units are μm . Legend items refer to Wavelengths											
Field	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
RMS radius	: 1901,70	2426,59	1901,70	1991,07	2692,50	1991,07	1901,70	2426,59	1901,70		
GEO radius	: 2984,65	3362,86	2984,65	2985,52	3459,46	2985,52	2984,65	3362,86	2984,65		
Scale bar	: 1e+04 Reference : Chief Ray										

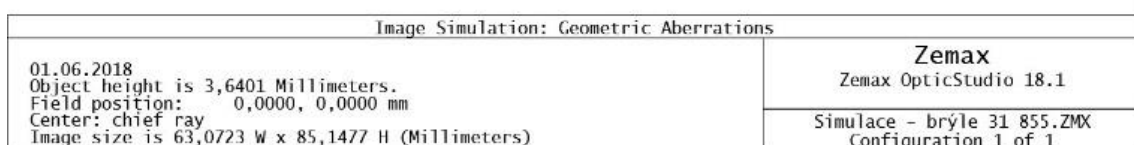
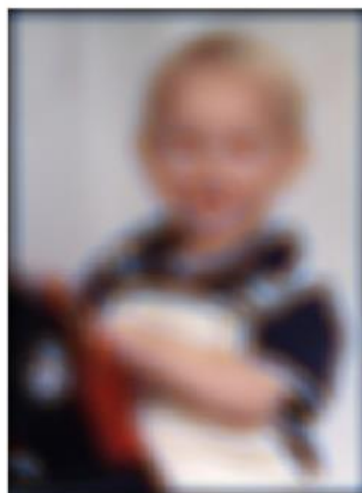
Obrázek 25 Spot diagram – plankonvexní čočka

Na Obrázek 25 je ukázán výsledek simulace plankonvexní čočky Edmund optics 31 855. RMS poloměr je odmocnina z průměru kvadrátů vzdáleností bodů od referenčního paprsku. GEO radius nám určuje pouze informaci o vzdálenosti jednoho paprsku, který je nejvzdálenější od referenčního paprsku. Pro nás je tedy důležitější hodnota RMS, která nám dává větší představu o šíření všech paprsků. V našem případě je RMS v průměru na všech spotech cca 2,3 mm, což nám říká, že je zde velká otvorová vada, tudíž v obraze bude velké rozmazání. Dále se dá vyčíst, že v krajních bodech displeje jsou vady koma a astigmatismus, což následně potvrzuje i Seidelův diagram.

Na Obrázek 26 je zobrazen Seidelův diagram, který nám ukazuje, že otvorová vada vzniká hlavně na sférické části čočky, což zvětšuje velikost výsledného spotu. Na Obrázek 27 je pak vidět přibližný renderovaný obrázek, který má stejné rozlišení jako vybraný displej. Bohužel je zde jasně vidět, že obraz by byl velmi rozmazaný, a proto musíme vybrat buďto kvalitnější čočku nebo použít soustavu čoček.



Obrázek 26 Seidelův diagram – plankovexní čočka

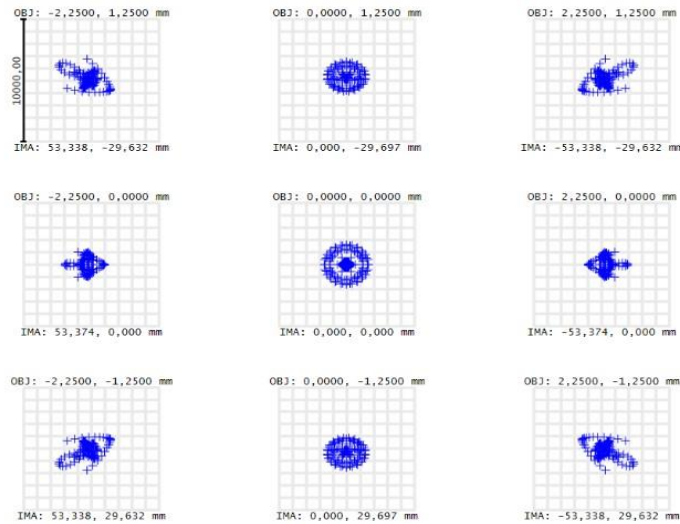


Obrázek 27 Vizualizace - plankovexní čočka

Na Obrázek 28 je vidět spot digram pro asférický dublet Edmund Optics 49 660. Tento výsledek je znatelně lepší než předchozí čočka a RMS je v průměru okolo 1 μm. Na okrajích displeje je opět vidět astigmatismus a koma, ale pro naše účely to nevádí, protože okraje displeje nebudeme používat.

Simulace Edmund Optics 49 660

+ 0,55

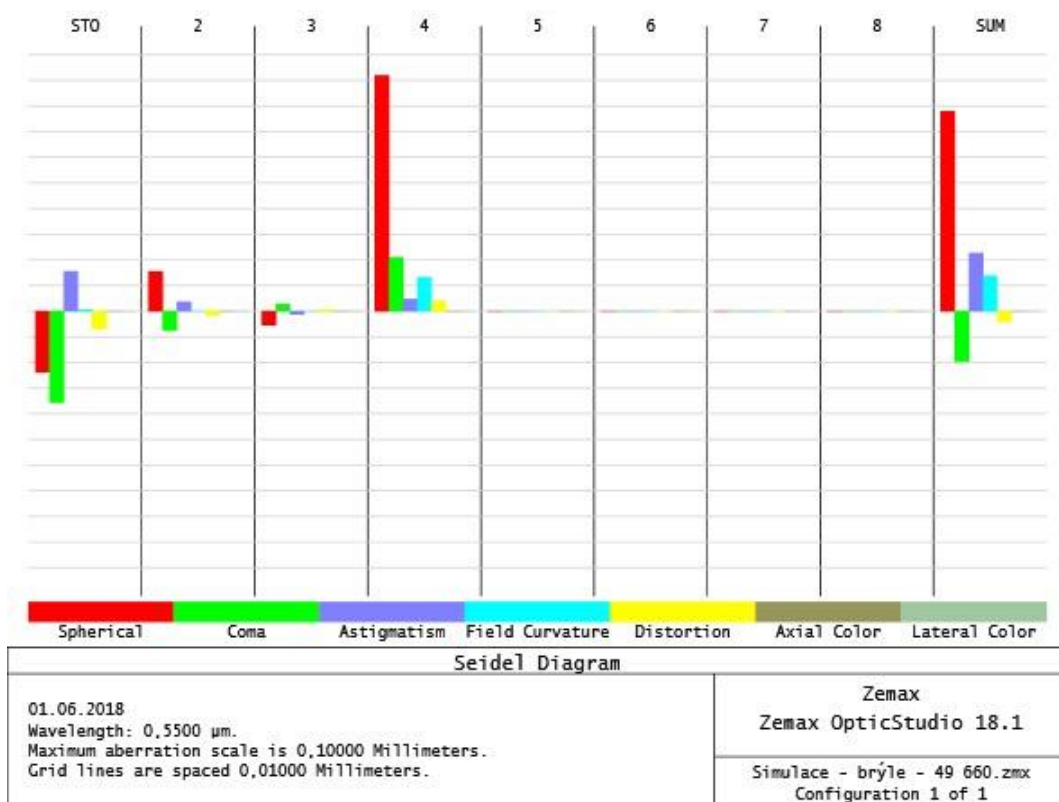


Surface: IMA

Spot Diagram										Zemax Zemax OpticStudio 18.1	
01.06.2018											
Units are μm. Legend items refer to Wavelengths											
Field	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
RMS radius	1081,31	990,744	1081,31	862,720	1180,38	862,720	1081,31	990,744	1081,31		
GEO radius	2694,50	1557,52	2694,50	1936,78	1625,62	1936,78	2694,50	1557,52	2694,50		
Scale bar	1e+04		Reference : Chief Ray								
										Simulace - brýle - 49 660.zmx Configuration 1 of 1	

Obrázek 28 Spot diagram – Asferický dublet

Na Obrázek 29 je opět vidět, že vady vznikají na sférické části dubletu i renderovaný Obrázek 30 je znatelně lepší a optické vady jsou lépe korigovány. Proto pro praktické testování volím asférický dublet.



Obrázek 29 Seidelův diagram – Asferický dublet

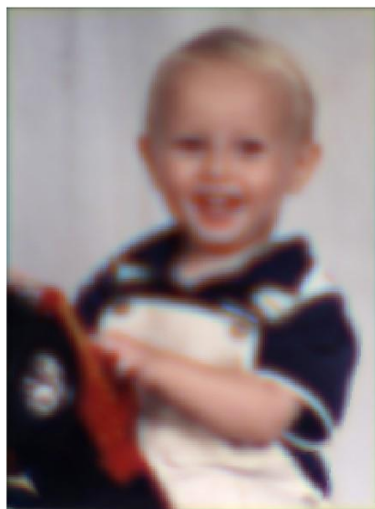
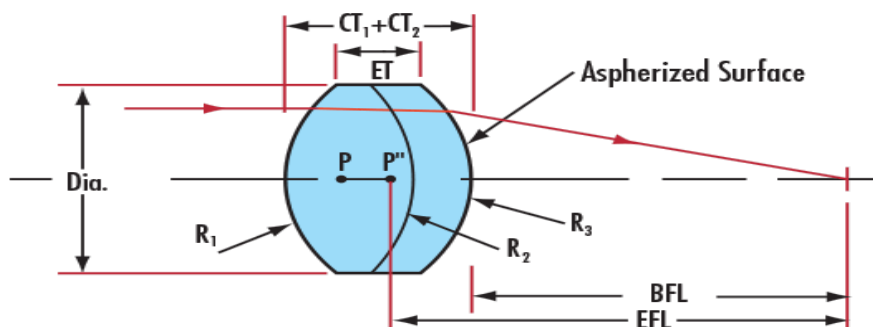


Image Simulation: Geometric Aberrations	
01.06.2018 Object height is 3,6401 Millimeters. Field position: 0,0000, 0,0000 mm Center: chief ray Image size is 64,0948 W x 86,5280 H (Millimeters)	Zemax Zemax OpticStudio 18.1
	Simulace - brýle - 49 660.zmx Configuration 1 of 1

Obrázek 30 Vizualizace simulace – Asferický dublet

4.2.2 Testování optiky

Po otestování hlavních prvků optiky v počítačové simulaci jsme tyto prvky zakoupili až na displej, který je velmi drahý, a proto jsem se pro první testování dohodl s firmou Divesoft, s.r.o., která zapůjčila vývojový kit, na kterém jsme testovali vlastní aplikace. Kromě asferického dubletu, jehož schéma je na obrázku 31 a parametry jsou popsány v tabulce, jsme dále zakoupili dvě polopropustná skla od firmy Edmund Optics, která slouží k odklonění paprsku do oka. Obě mají velikost 17.25 x 12.5 x 1 mm, ale liší se v poměru odrazivost/propustnost 70/30 a druhé 30/70, abychom otestovali, které z nich je vhodnější pro RR. Tato volba je také velice důležitá, a to z důvodu dobré viditelnosti jak digitálních prvků, tak i reálného světa. Obě polopropustná skla zobrazují pro vlnové délky od 400 do 700 nm a mají přesnost 4-6 λ . Jako poslední část optiky jsme zakoupili zrcadlo o přesnosti 4-6 λ a o velikosti 17.25 x 12.25 x 2 mm, které slouží k vedení obrazu k zobrazovací čočce [16].



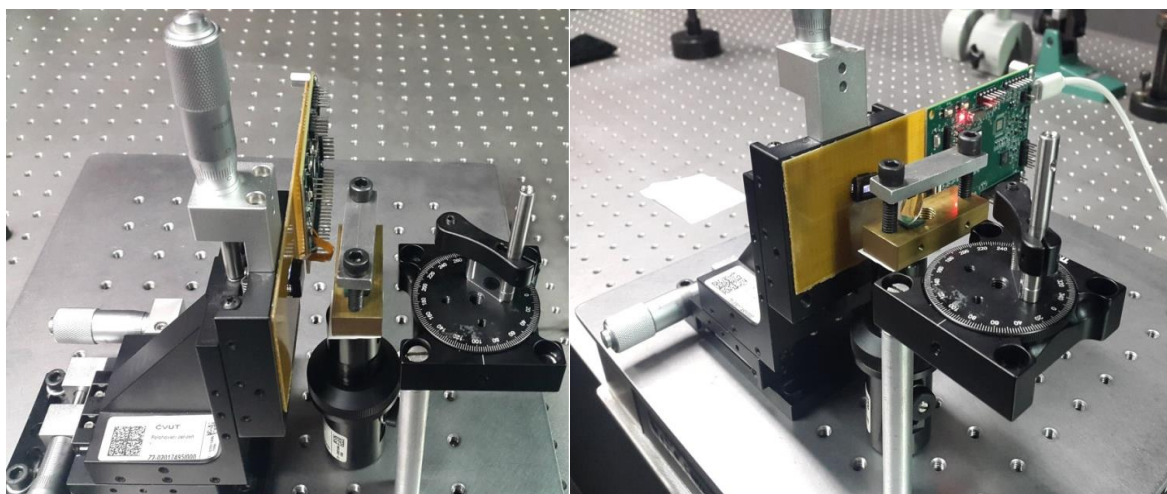
Obrázek 31 Schéma asferický dublet Emdund Optics 49 660 [16]

Technické parametry

	[mm]		[-]
Průměr	12	Materiál	N-LAK8 / N-SF57
Zadní ohnisková vzdálenost [BFL]	21,66	Numerická aparatura	0.25
Tloušťka [CT2]	1,5	Vlnová délka	425-675 [nm]
Radius [R1]	16,60	Pracovní teplota	-20 to 80 [°C]
Radius [R2]	26	Pracovní plocha	90 %
Radius [R3]	∞	Povlak	VIS 0°
Efektivní ohnisková vzdálenost [EFL]	25	Popis povlak	VIS 0° Coating on first Surface
Tloušťka [CT1]	4	Kvalita plochy	40 - 20
Tloušťka zaoblení [ET]	4,32	Typ	Asférická čočka

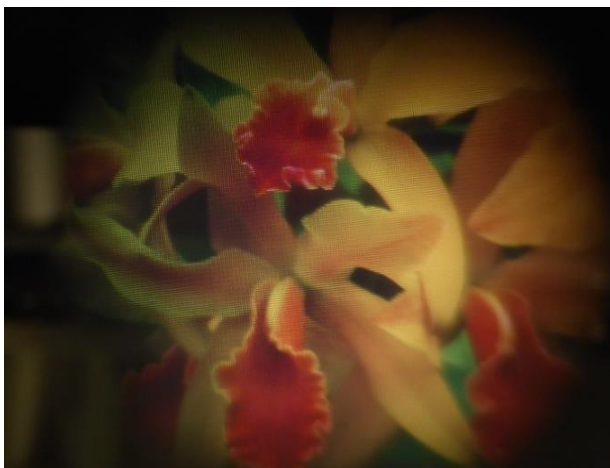
Obrázek 32 Technické parametry asférického dubletu

Testování jsme prováděli na optickém stole Obrázek 33, kde jsme všechny optické prvky až na zrcadlo ukotvili do vzdáleností, které odpovídají vzdálenostem v našem návrhu v simulaci.

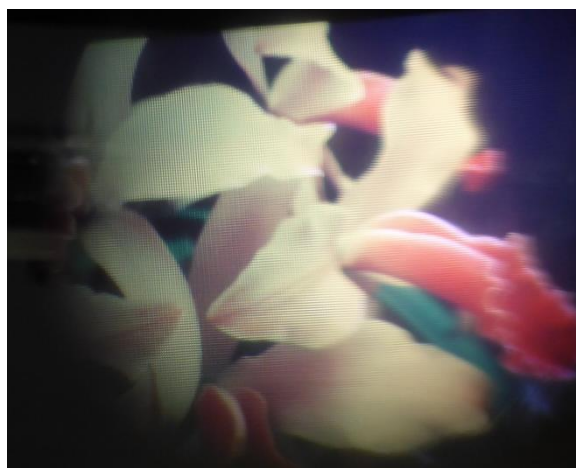


Obrázek 33 Testování optických prvků

Po správném nastavení veškeré optiky jsme vizuálně porovnali obraz, který je na Obrázek 34, kde je obraz s polopropustným sklem 70/30 a Obrázek 35, kde je polopropustné sklo 30/70.



Obrázek 34 Test polopropustné sklo 70/30



Obrázek 35 Test polopropustné sklo 30/70

Obě polopropustná skla zobrazují velmi kvalitní obraz s dobrým kontrastem, ale pro RR jsme se rozhodli využít sklo s poměrem 30/70, a to z důvodu větší viditelnosti skrze obraz, který i tak má velmi dobrou viditelnost.

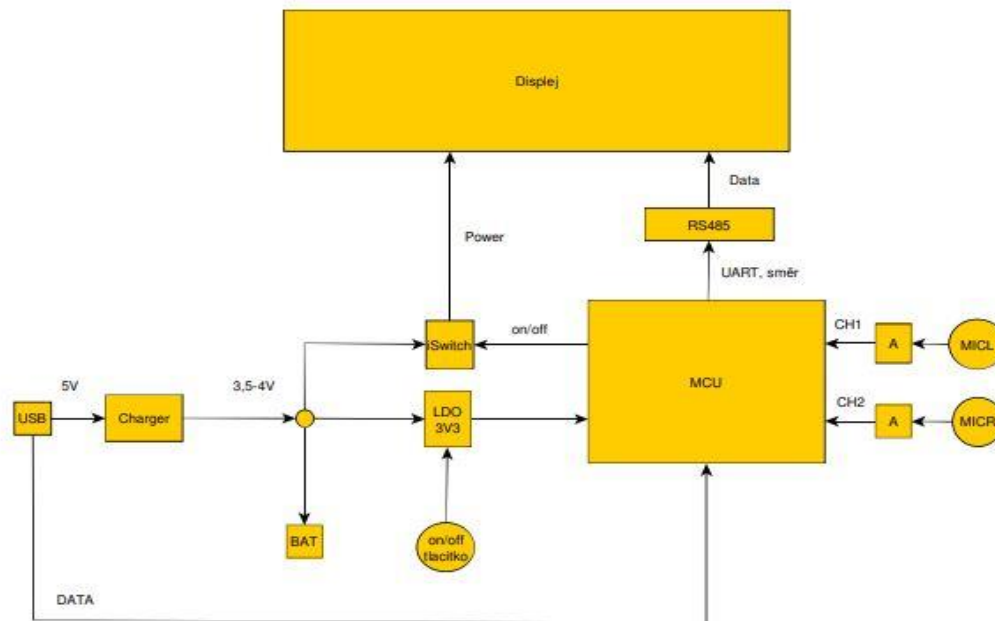
Zhodnocení

Po otestování všech optických prvků jsem se tedy rozhodl zvolit pro první prototyp asférický dublet, který promítal dostatečně kvalitní obrazy, i při tak velkém zvětšení, a tudíž není potřeba využít pro zobrazení složitější optickou soustavu. Pro zprostředkování obrazu jsem zvolil polopropustné sklo s poměrem 30/70, takže sklo s větší propustností než s odrazem. Také jsem se rozhodl zakoupit displej Kopin KCD-QWMS-BD, který jsem měl na testování zapůjčený od firmy Divesoft, s.r.o. Tento displej splnil požadavky, měl velmi kvalitní obraz a malý energetický odběr, tudíž se do našeho zařízení hodí.

4.3 Návrh elektroniky

Elektronika je jednou ze stěžejních součástí celého zařízení, protože zprostředkovává veškerou funkcionalitu zařízení. Při návrhu bylo nejdůležitější, aby výpočetní i řídicí části byly uvnitř brýlí, tudíž musí být velmi malá. Tato skutečnost mi zabraňovala použít komerční základní desky, které jsou na trhu dostupné. Dalším problémem je, že zakoupený displej Kopin KCD-QWMS-BD je řízen vlastním procesorem a řadičem KOPIN KCD-A230-BC, který musí být součástí řídicí desky. Samotné připojení displeje k desce také není standardizované, tudíž jsem si musel nechat navrhnout speciální desku. Tento problém jsem vyřešil pomocí Laboratoře pro vývoj realizaci (LVR) na fakultě Elektrotechnické ČVUT v Praze. Tato laboratoř vyvíjela stejnou desku i pro firmu Divesoft s.r.o., od které jsem měl zapůjčený displej.

Po několika odborných konzultacích jsem se rozhodl použít do zařízení dvě řídicí desky. První deska bude výpočetní a bude zpracovávat zvuk, který bude zachycen pomocí mikrofonů v brýlích a ten bude dále posílat do druhé desky, která se bude starat o zobrazování vypočtených dat na displej. Schéma návrhu je na Obrázek 36.



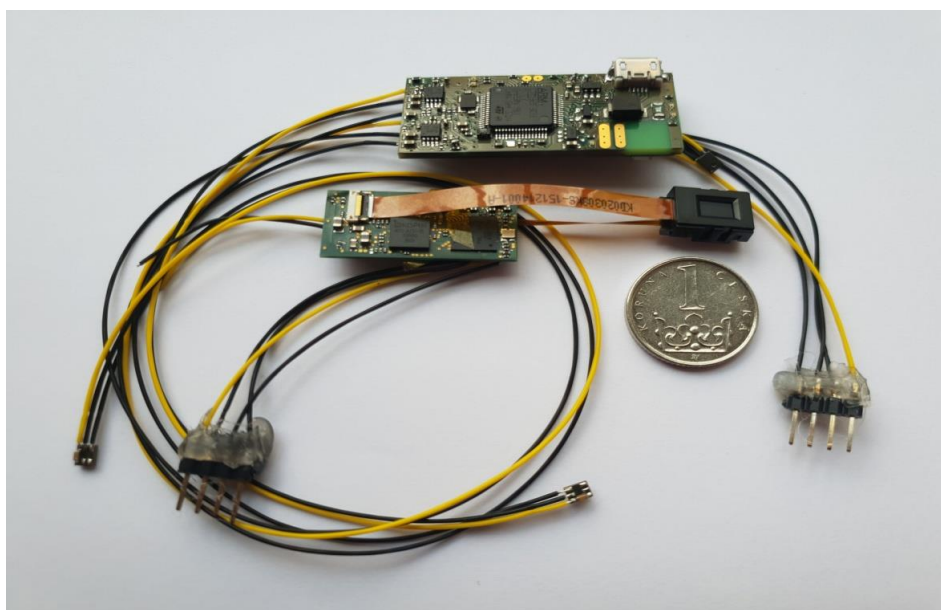
Obrázek 36 Schéma elektroniky

Architekturu desky, která je ve schématu označena jako „Displej“, jsem převzal od firmy Divesoft s.r.o. Schémata této desky jsou uvedena v příloze této práce. Samotná deska má rozměry pouze 25 x 15 x 1 mm a je velmi složitá na výrobu, a to kvůli velmi malým rozměrům součástek. Druhou desku, která bude řídit celé brýle a budou na ní napojeny senzory jsem si nechal navrhnout v laboratoři LVR. Tato deska už má trochu větší rozměry 45 x 19 x 2 mm, ale stále to odpovídá požadavkům, které jsme si na začátku dali. Její technická dokumentace je taktéž uvedena v přílohách této práce. Obě desky jsem si nechal v Laboratoři osadit a nyní s ní spolupracuji na programování displeje a řídicí desky. Zatím je hotov pouze zobrazovací program displeje, který posílá data na displej a je také přidán jako příloha této práce.

Další součástka, kterou jsem navrhl, je mikrofon. Zvolil jsem MEMS mikrofon ICS-40181 s analogovým výstupem, který má zvýšenou odolnost vůči šumu. Samotný mikrofon obsahuje sensor zvuku, převodník impedance a výstupní zesilovač. Mikrofon má lineární reakce až do úrovně 124 Db a citlivost ± 1 Db. Tento mikrofon má rozměry $3,5 \times 2,65 \times 0,98$ mm a je běžně používám např. v telefonech, tabletech a noteboocích. Mikrofony spolu s řídicí deskou jsou vidět na [20].

Poslední součástka, kterou potřebujeme je baterie. Tento prvek jsem zvolil na základě doporučení a zkušenosti v LVR, kde mi byla doporučena baterie s kapacitou s 500mAh. Zvolil jsem tedy Lithium Ion Polymer Battery - 3.7V 500mAh, která by měla vydržet napájet brýle přibližně 10 hodin. Tuto skutečnost ale zatím nejsem schopen ověřit, protože zatím není plně funkční výpočetní část systému, který zaměstnává procesory. Baterie má velikost 29 x 36 x 4,75 mm, což opět odpovídá našim požadavkům na velikost.

Na Obrázek 37 je vidět sestavená veškerá elektronika včetně displeje.



Obrázek 37 Elektronika brýlí

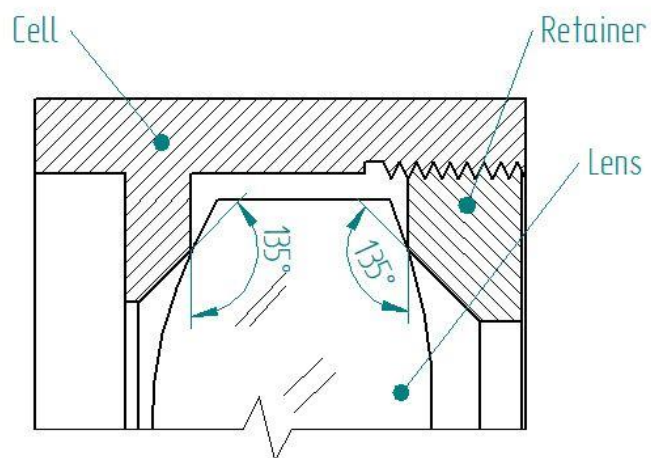
5 Uložení optických prvků

Kvalita uložení má vliv na výslednou kvalitu obrazu, protože může docházet k decentraci optického systému, a tudíž ke zhoršení výsledného obrazu. V našem zařízení máme celkem dva typy optických elementů, a to jednu čočku a dvě zrcadla. Proto se budu blíže věnovat právě uložení těchto prvků [19].

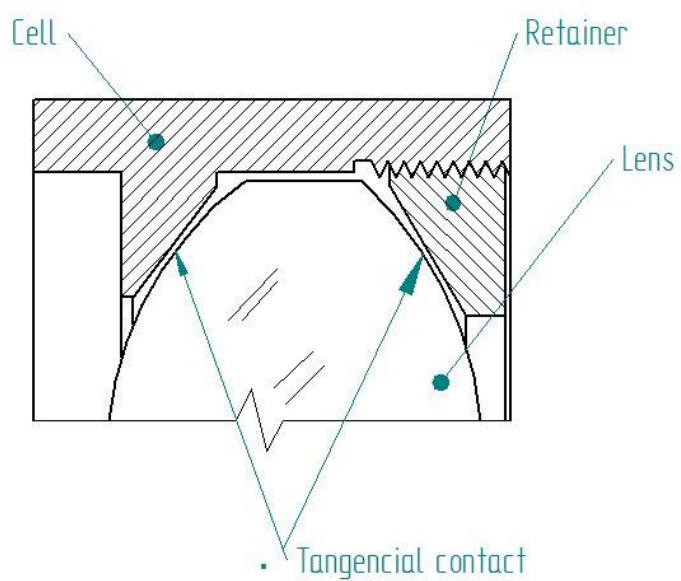
5.1 Uložení čoček

Čočky se vždy konstruují větší, než je jejich čistá apertura. Jako průměr čisté apertury se obvykle bere 90 % průměru čočky. Vnější část čočky obsahuje fasety a slouží většinou pro ukotvení. Při uložení čočky musíme dbát na to, aby nedocházelo k decentraci optické osy, což vede k vychylování optického svazku a poté ke zhoršení promítaného obrazu. Dalším důvodem pro zhoršení kvality může být náklon optického členu. V uložení je důležitá i správná vzdálenost od předmětu, kde může docházet k defokusaci. Pokud je pak v optickém systému více optických prvků, je velmi důležitá i osová vzdálenost mezi prvky. Další parametr, na který si musíme dávat pozor, je pnutí, které může být vnášeno do optického prvku právě ve špatně navrženém uložení. Při vysokém pnutí v optickém prvku vznikají v materiálu vnitřní deformace a může dojít ke vzniku dvojlomu. V tom stavu se pak v materiálu tvoří dva paprsky: jeden řádný a druhý mimořádný, který vzniká právě z důvodu vnesených deformací. Výsledkem je zdvojení obrazu.

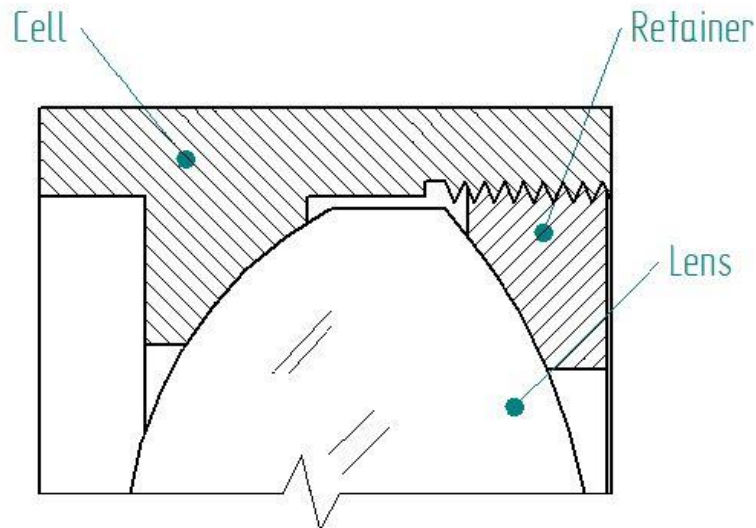
Čočky se většinou ukládají do tubusů, kde jsou posléze uloženy na hrany distančních a závitových kroužků. Zde může být dotyk buďto tupý (Obrázek 38), tangenciální (Obrázek 39) nebo kulový (Obrázek 40) [19].



Obrázek 38 Uložení čočky s tupým dotykem

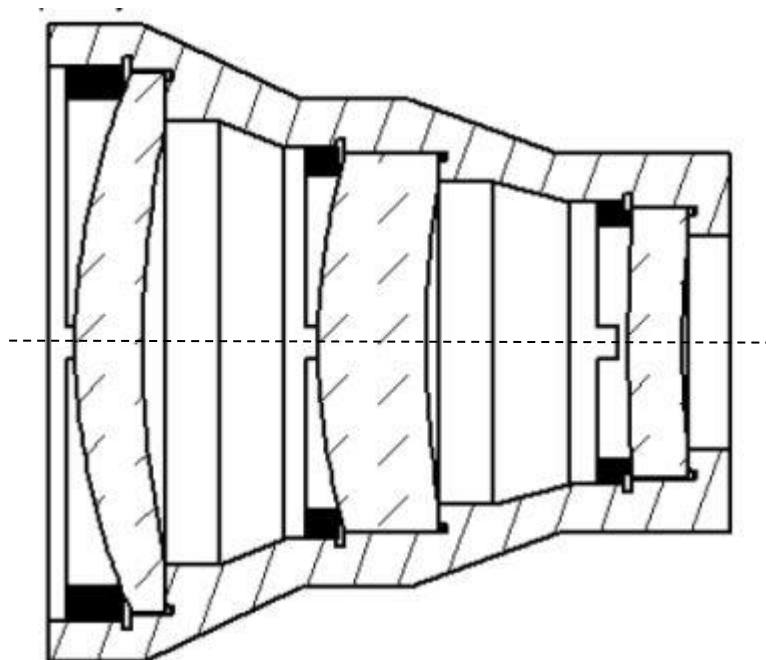


Obrázek 39 Uložení čočky s tangenciálním dotykem



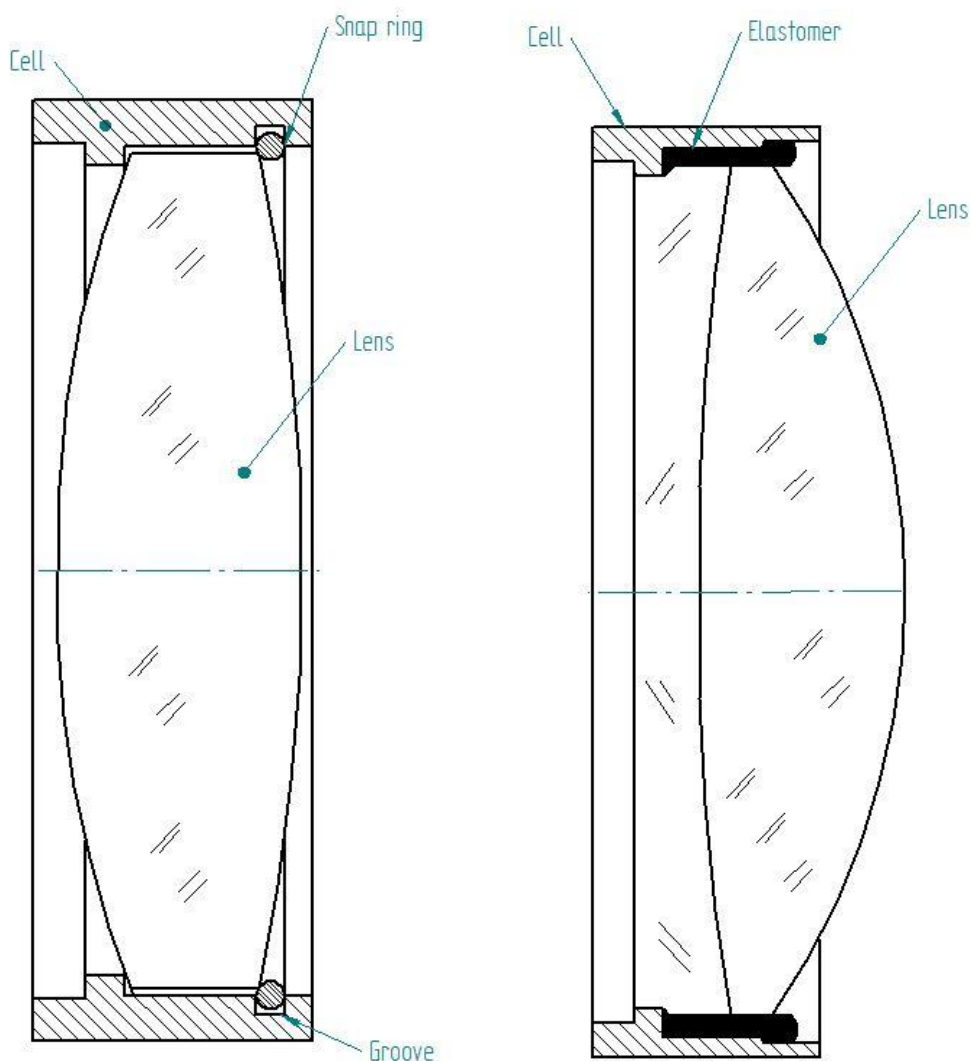
Obrázek 40 Uložení čočky s kulovým dotykem

Všechny tyto metody snižují deformační napětí při uložení. Při uložení soustav je nejjednodušší a nejlevnější uložení do válcového tubusu o stejném průměru po celé délce, kde jsou jednotlivé čočky odděleny distančními kroužky a přitaženy závitovým distančním kroužkem. Všechny distanční kroužky musí být v tubusu centrovány, aby nedošlo ke změně optické osy čoček vůči mechanické osy tubusu. V případě složitějších tubusů z různými průměry se distanční kroužky nepoužívají a optické prvky mají vlastní dosedací plochy, viz Obrázek 41.



Obrázek 41 Uložení čoček v tubusu [19]

Další možností je pružné uchycení čoček. Tato metoda se používá při očekávání rozdílu teplot nebo velkých rázů. Tyto konstrukce se dělají například pomocí pružin, které z jedné strany tlačí na čočku nebo pomocí pojistného kroužku, viz Obrázek 42 [19].



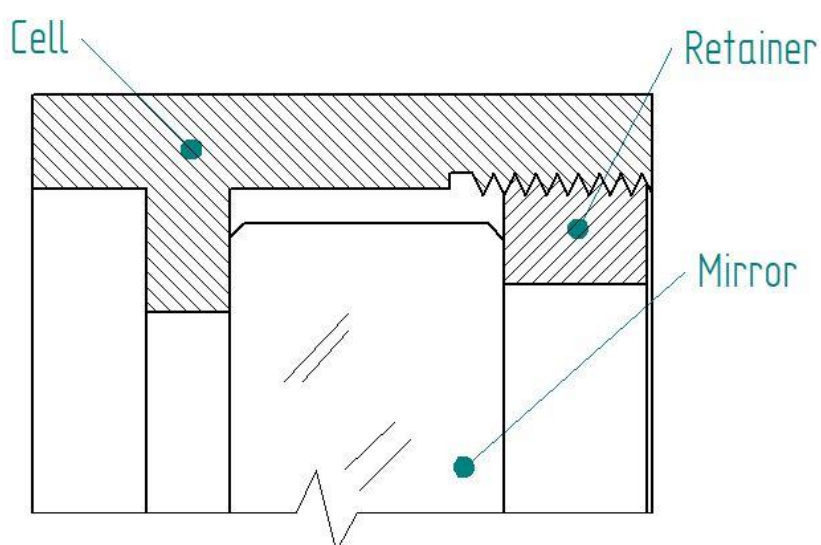
Obrázek 42 Uložení čočky pomocí pojistného kroužku **Obrázek 43 Uložení čočky zalitím**

Další způsob je metoda zalitím (Obrázek 43). Při této metodě je nutné mít centrovací zařízení a technologicky vyřešené otvory pro vstup elastomeru. Vzhledem k rozdílným součinitelům teplotní roztažnosti $\alpha_E > \alpha_M > \alpha_G$ může vhodná tloušťka vrstvy elastomeru korigovat radiální teplotní vlivy na optickou soustavu, pokud $\Delta D_M - \Delta D_G + \Delta t_E = 0$. Typické tloušťky elastomeru k zalití se pohybují okolo 1 – 3 mm. I u této metody je zajištěna dobrá odolnost proti rázům [19].

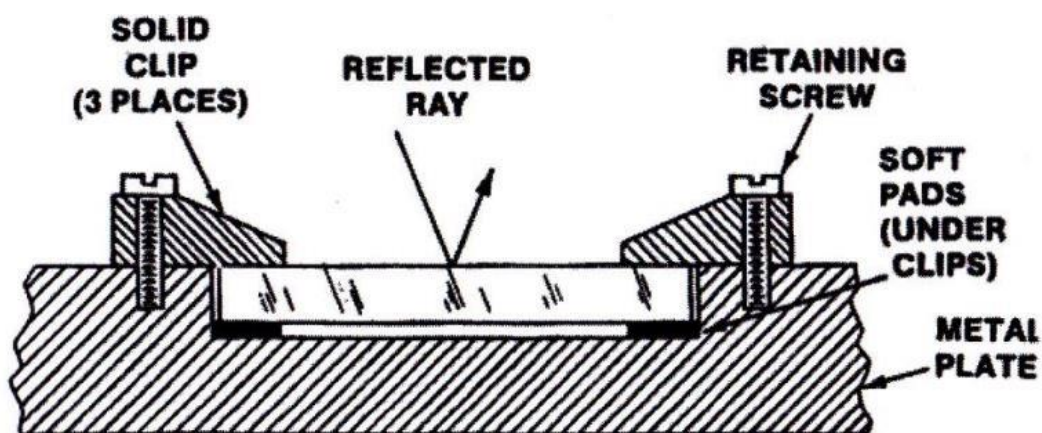
5.2 Uložení zrcadel

Další prvek, který se nachází v těle brýlí, je zrcadlo. I když se nejedná o zobrazovací prvek, i tak má vliv na celkové zobrazení. Může zde dojít k náklonu, a tudíž k vyosení paprsku v mém případě mimo zobrazovací čočku, a tím by se obraz nemusel zobrazit celý nebo by byl rozmazaný.

Uložení zrcadel se může dělat stejně jako u čoček opět pomocí přítlačného závitového kroužku na dosedací plochu, jak je to zobrazeno na Obrázek 44, nebo jinými přítlačnými metodami jako na Obrázek 45, kde je použito přitlačení pomocí šroubového spoje [19].



Obrázek 44 Uložení zrcadla pomocí distačního kroužku

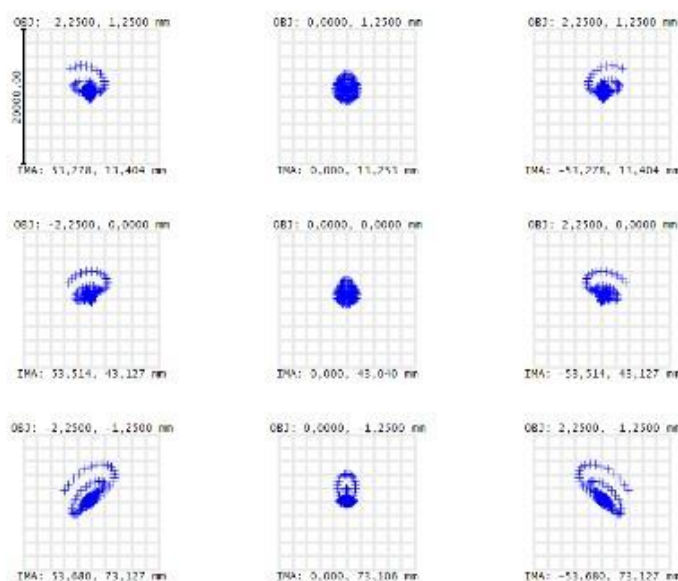


Obrázek 45 Uložení zrcadla pomocí šroubového spoje

5.3 Vliv naklonění čočky na kvalitu obrazu

Jak už jsem zmínil výše, při uložení může dojít k naklonění čočky, a tím také decentraci optické osy. Jelikož výsledné zařízení budu tisknout na 3D tiskárně, je možné, že uložení nemusí být úplně přesné. Proto se zde zaměřím na vliv špatného výtisku na kvalitu obrazu. Budu uvažovat, že by se výtisk mohl deformovat maximálně o 2 vrstvy. Tato chyba nemusí způsobena jen špatným programem tiskárny, ale i teplotním stažením materiálu v určité části výtisku. Ze zkušeností s tiskárnou, na které budu zařízení tisknout, je chyba přibližně $\pm 0,2$ mm. Tato chyba odpovídá i dvěma vrstvám při tisku, protože celý výtisk budu tisknout s tloušťkou vrstvy 0,1 mm. Tutu chybu budu uvažovat na dosedacích plochách čočky, která má průměr 12,5 mm. Z jednoduchého výpočtu mi vyjde, že by čočka mohla vychýlit o $0,92^\circ$. Numerickou simulací opět provedu v programu Zemax podle optické soustavy na Obrázku 24. V této soustavě nakloním asférický dublet o $0,92^\circ$ a provedu stejnou analýzu jako při návrhu.

0,55



Surface: IMA

Spot Diagram										Zemax Zemax OpticStudio 18.1	
06.06.2018 Units are μm . Legend items refer to Wavelengths											
Field	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
RMS radius	: 1802,52	1770,58	1802,52	1759,84	1428,78	1759,84	2436,65	1444,86	2436,65		
GEO radius	: 5214,05	3367,19	5214,05	4238,11	2908,94	4238,11	6003,40	4210,39	6003,40		
Scale bar	: 2e+04	Reference : Chief Ray									
										Simulace - brýle-naklonena- 49 660.ZMX Configuration 1 of 1	

Obrázek 46 Spot diagram 49 660 nakloněná

Na Obrázek 46. je vidět spot diagram, ze kterého je patrné, že je výsledný obraz opět zatížen otvorovou vadou. Velikost spotu je v průměru 1,8 mm, což je o 0,8 mm více, než když je čočka ve správné poloze. V krajních bodech je opět koma a astigmatismus.

Z této numerické simulace je tedy patrné, že správné uložení čočky je zásadní pro kvalitní zobrazení obrazu.

6 Konstrukce brýlí

6.1 Popis

Jak už bylo zmíněno, celkovou velikost brýlí určuje hlavně velikost součástek, jak do optické části, tak do výpočetní části. Optická část musí být uložena co nejpřesněji, aby bylo dosaženo kvalitního zobrazení. První prototyp brýlí se bude skládat z několika částí tak, aby byl co nejvíce „open“ a dal se lehce upravovat a přizpůsobovat. Hlavní částí bude výpočetní modul, ve kterém bude uložena optika a dvě výpočetní desky: jedna bude zpracovávat zvuk a druhá bude distribuovat obraz na displej. Další částí bude spodní část obrouček, která bude připevněna k výpočetnímu modulu a bude také nést zobrazovací polopropustné sklo. Poslední část bude horní část obrouček, která zakrývá drátové propojení s druhou nožičkou.

Výsledné zařízení se bude skládat ze součástek, které uvádím níže viz Obrázek 47.

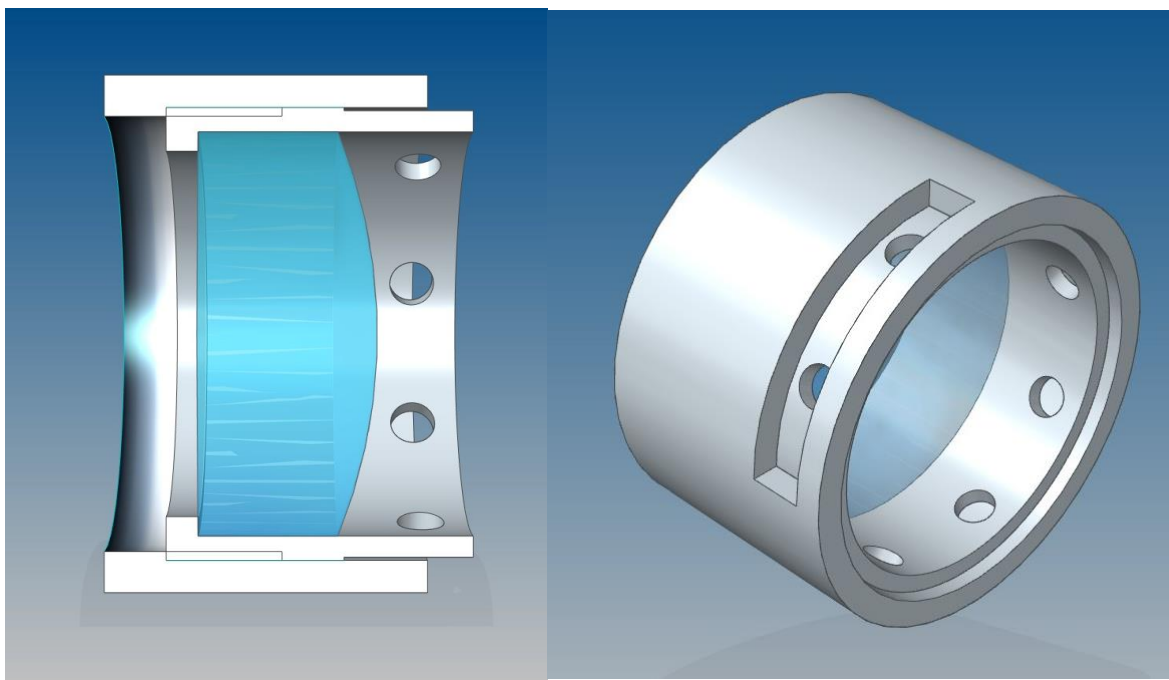
Typ	Označení	Rozměry [mm]
Asferický dublet	Edmund #49-660	Ø 12,5 x 5
Polopropustný sklo	Edmund #45-315	12.5 x 17.5
Zrcadlo	Edmund #43-869	12.5 x 17.5
Displej	Kopin KCD-QWMS-BD	4,95 x 2,52
Řadič	Kopin KCD-A230-BC	-
3 x Sound sensor	ICS-40181	2,65 x 3,5 x 1
Výpočetní deska	-	44 x 19 x 3
Baterka	Lithium Ion polymer battery 3,7V 500mAh	18 x 36 x 4,75
zobrazovací deska	-	25 x 15 x 2

Obrázek 47 Součástky brýlí

6.2 Ostření

Pro ostření jsem navrhl mechanismus, který je na Obrázek 48. Skládá se z vnějšího a vnitřního válcového pouzdra. Vnější pouzdro je pevně ukotvené k tělu brýlí a je opatřeno vnitřním závitem do poloviny své délky. Ve druhé půlce má vyříznutou 90° drážku, která slouží jako otvor pro otáčení vnitřního pouzdra. Vnitřní pouzdro je našroubováno pomocí

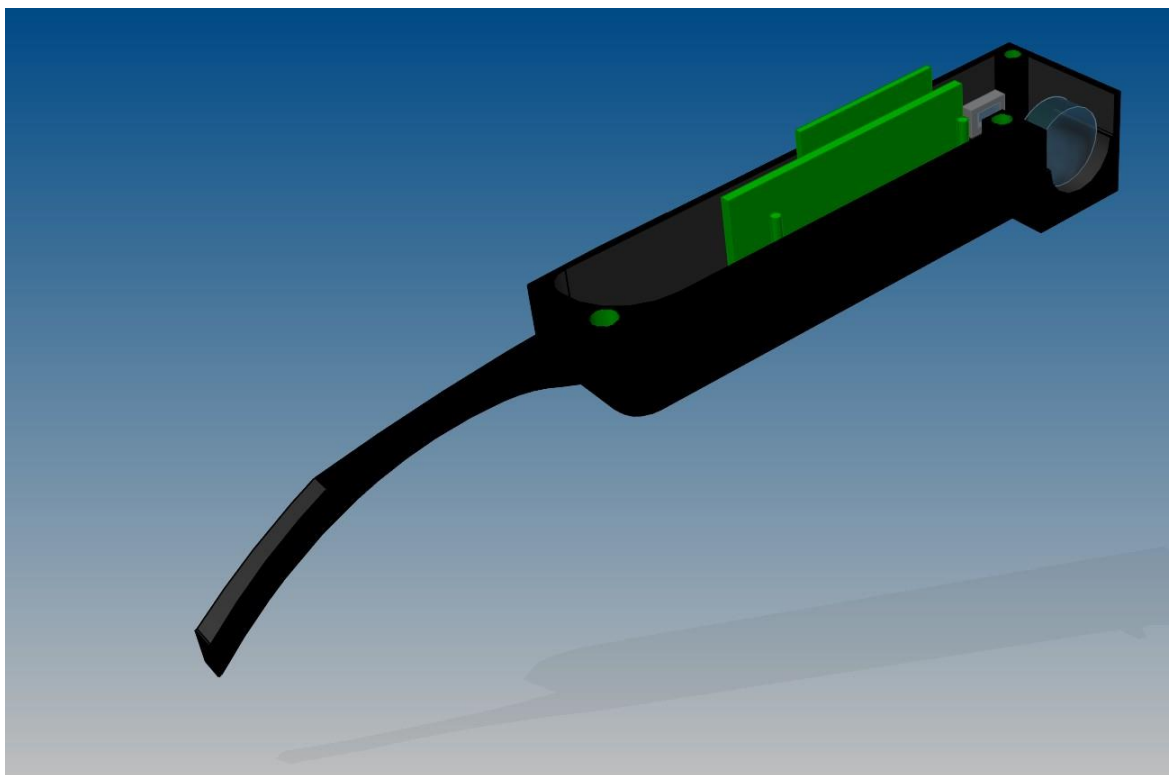
závitu do vnějšího pouzdra. Tento závit je opět pouze na půlce délky pouzdra a na druhé půlce je vyhotoveno několik děr po celém obvodu pouzdra. Ty slouží k ovládání vnitřního pouzdra. Ve vnitřním pouzdru je napevno připevněna čočka, ta je z jedné strany opřena o hrany pouzdra a z druhé strany je zalepena epoxidem.



Obrázek 48 **Ostření**

Tento mechanismus v prvním prototypu pro zjednodušení nebude a čočka bude připevněna napevno v přesné předmětové vzdálenosti od displeje pomocí lepidla.

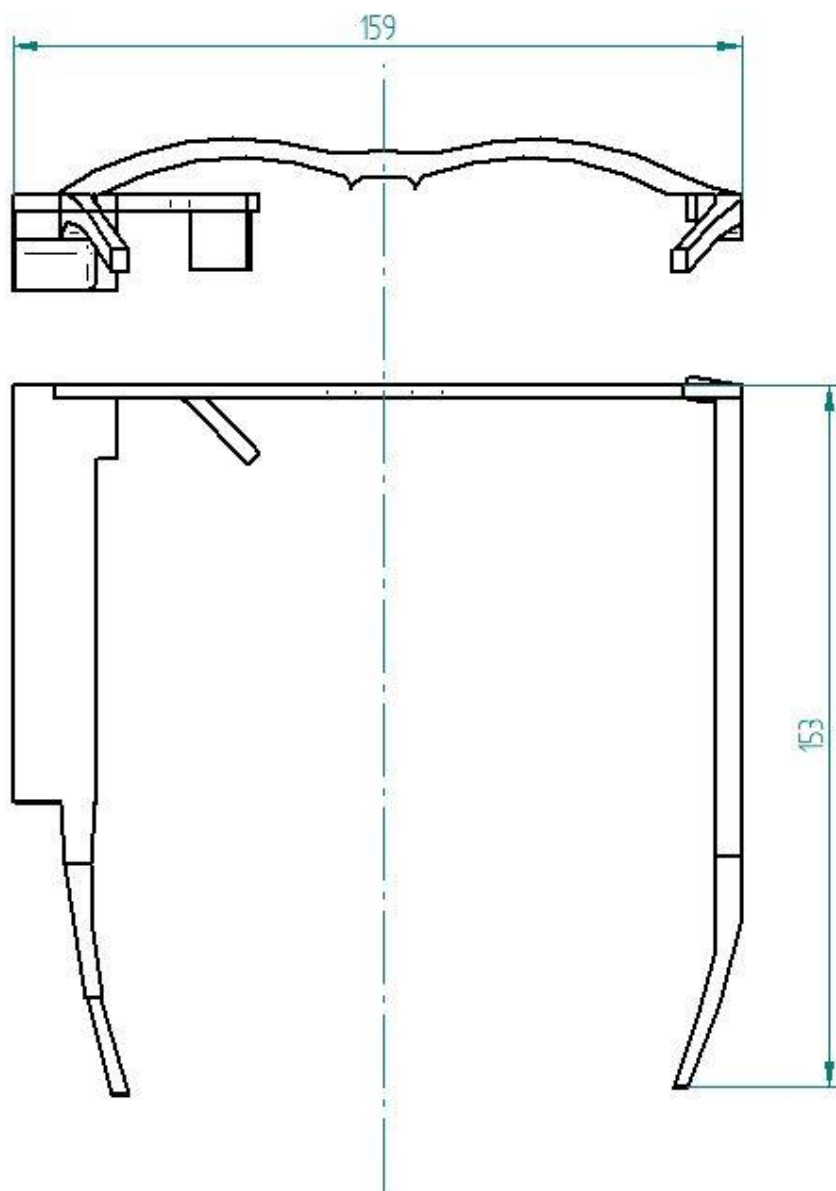
Další prvek, který jsem zde měl, bylo zrcadlo, které usměřovalo obraz displeje na čočku. Tento prvek jsem při testování pomocí pomůcky nakonec vyřadil z důvodu velmi obtížného usazení do těla brýlí, protože tolerance při tisku nebyly tak přesné, jak bych potřeboval. Proto jsem se rozhodl displej usadit přímo v optické ose čočky, viz Obrázek 49.



Obrázek 49 Řez levé nožičky

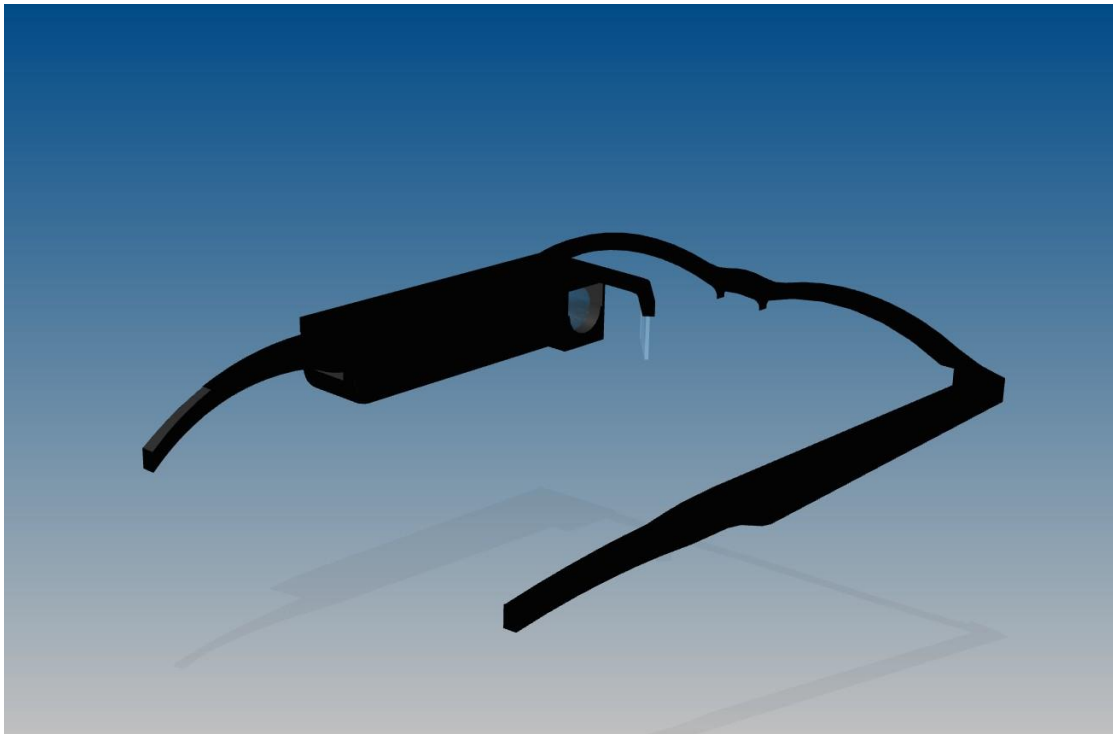
6.3 Celkový tvar a rozměry brýlí

Základní rozměry obrouček jsou zvoleny dle standardních velikostí na trhu, tím budeme mít zaručenou univerzální velikost. Samozřejmě se jedná o první návrh, tudíž správné rozměry se určí až po vyzkoušení na více uživatelích. Všechny další rozměry jsou navrženy přesně pro rozměry součástek, které jsou uvedeny v tabulce výše (Obrázek 47).

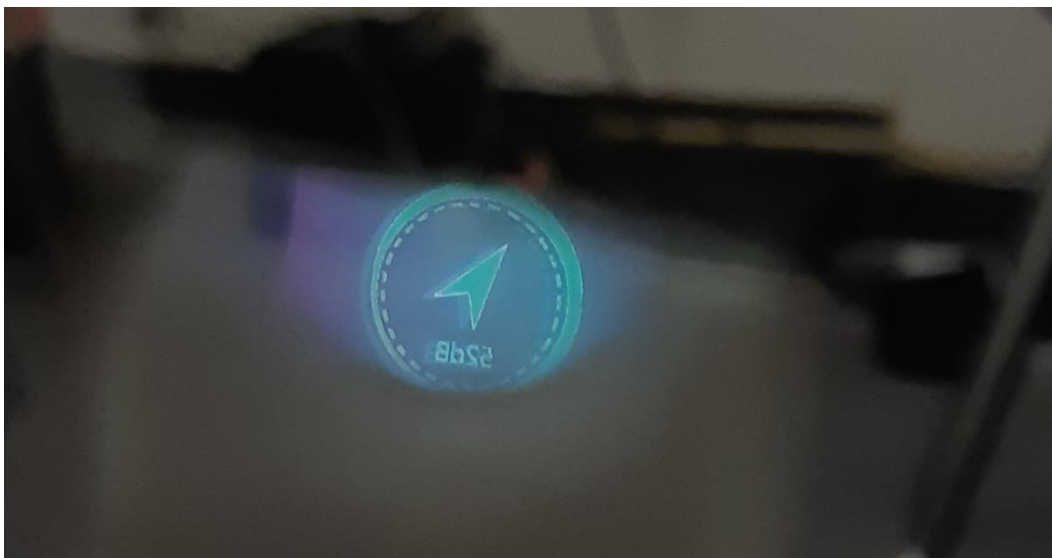


Obrázek 50 Celková sestava brýlí

Celkovou sestavu brýlí jsem vymodeloval v programu Solid Edge ST9, která je na Obrázek 50. a 51. Na obrázku jsou vidět celkově sestavené brýle, kde jsou všechny 3 části spojeny. Tyto brýle nejsou zatím plně funkční, ale jsou v testovací fázi, kdy se snažím určit ideální rozměry a správnou technologii tisku pro nejlepší kvalitu výsledného zařízení. Také jsem začal testovat funkčnost displeje. Výsledek je vidět na obrázku 52. Jedná se zatím o první pokus, kde je obraz stranově obrácen, což se softwarově vyřeší při další aktualizaci.



Obrázek 51 Celková sestava brýlí



Obrázek 52 Ukázka reálné vizualizace

7 Závěr

V diplomové práci měla být navržena pomůcka pro neslyšící lidi, která zprostředkovává informaci o zvuku vizuální cestou. Tato pomůcka měla být ve formě brýlí. Tuto část jsem vyřešil tak, že jsem zvolil brýle, které zobrazují informace pomocí rozšířené reality. Brýle jsem osadil 3 mikrofony. Další úkolem bylo navrhnout zobrazovací soustavu, která bude rozšířenou realitu vytvářet. Tuto část jsem vyřešil pomocí návrhových výpočtů a numerických simulací v programu Zemax. Poslední částí je návrh mechanického uložení optických prvků a celkový tvar výsledného zařízení. V práci jsem ukázal různé typy uložení, které se v praxi používají a které bych mohl využít při stavbě brýlí. Pro stavbu prototypu jsem použil plastové modely, které jsem si tiskl na 3D tiskárně. Nad rámec práce jsem potom vypracoval koncepční návrh elektroniky, který jsem nechal vyrobit. Elektronika je nyní osazena několika dráty, které momentálně slouží k naprogramování HW, který se snažím rozběhnout, aby byl připraven pro SW, který je vyvíjen na fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. Samotný celkový tvar brýlí se velmi odvíjí právě od velikosti elektroniky, kterou v ní použijeme, proto výsledný tvar, který je prezentován, není výsledným tvarem prototypu, který se momentálně staví. V budoucnu se počítá s doprogramováním brýlí a otestováním v reálném prostředí s neslyšícími lidmi.

Seznam obrázků

Obrázek 1	Marker based augmented realita [3].....	10
Obrázek 2	MarkerlessAugmented reality [3].....	11
Obrázek 3	Superimposition Based Augmented Reality – Ikea [3]	12
Obrázek 4	ProjectionBasedAugmented Reality[3].....	12
Obrázek 5	Semicovering displays – vlevo je displej s optickým zařízením přímo před okem a vpravo je do oka promítán obraz pomocí polopropustného skla[4]	13
Obrázek 6	Optické schéma RR s rovným polopropustným sklem[4].....	14
Obrázek 7	Optické schéma se sférickým zrcadlem [4].....	14
Obrázek 8	Laser scanner [4].....	16
Obrázek 9	Laser scanner se sférickým zrcadlem [4].....	17
Obrázek 10	Near-eye display witheye-tracker [4]	17
Obrázek 11	Vuzix M100 [5].....	18
Obrázek 12	Popis Vuzix M100 [5].....	19
Obrázek 13	Epson Moverio BT – 300 [6]	20
Obrázek 14	Moverio BT300 – princip[6]	21
Obrázek 15	Google Glass	22
Obrázek 16	Schéma LCOS displeje [10].....	23
Obrázek 17	Schéma patentu Google na Heads-up display including eye [10].....	23
Obrázek 18	Zjednodušené schéma Google Glass [11]	24
Obrázek 19	Návrh vizualizace	26
Obrázek 20	Rozmístění mikrofonů.....	27
Obrázek 21	Schéma optického systému	28
Obrázek 22	Schéma displeje.....	29
Obrázek 23	Schéma zobrazení lupou [14].....	30
Obrázek 24	Optická simulace v Zemaxu	31
Obrázek 25	Spot diagram – plankovexní čočka	32
Obrázek 26	Seidelův diagram – plankovexní čočka.....	33
Obrázek 27	Vizualizace - plankovexní čočka.....	33
Obrázek 28	Spot diagram – Asferický dublet.....	34
Obrázek 29	Seidelův diagram – Asferický dublet	35
Obrázek 30	Vizualizace simulace – Asferický dublet	36
Obrázek 31	Schéma asferický dublet Emdund Optics 49 660 [16]	36
Obrázek 32	Technické parametry asferického dubletu.....	37
Obrázek 33	Testování optických prvků	37
Obrázek 34	Test polopropustné sklo 70/30.....	38
Obrázek 35	Test polopropustné sklo 30/70.....	38
Obrázek 36	Schéma elektroniky	40
Obrázek 37	Elektronika brýlí.....	41
Obrázek 38	Uložení čočky s tupým dotykem.....	43
Obrázek 39	Uložení čočky s tangenciálním dotykem.....	43
Obrázek 40	Uložení čočky s kulovým dotykem.....	44
Obrázek 41	Uložení čoček v tubusu [19].....	44
Obrázek 42	Uložení čočky pomocí pojistného kroužku.....	45
Obrázek 43	Uložení čočky zalitím.....	45
Obrázek 44	Uložení zrcadla pomocí distačního kroužku.....	46
Obrázek 45	Uložení zrcadla pomocí šroubového spoje.....	46
Obrázek 46	Spot diagram 49 660 nakloněná	47
Obrázek 47	Součástky brýlí.....	49
Obrázek 48	Ostření	50

Obrázek 49	Řez levé nožičky	51
Obrázek 50	Celková sestava brýlí	52
Obrázek 51	Celková sestava brýlí	53
Obrázek 52	Ukázka reálné vizualizace	53

Literatura

- [1] Hrubý, J. Kolik je u nás sluchově postižených? In: *Speciální pedagogika*. Roč 8, č. 2. Praha: UK, 1998. s. 5-20
- [2] Apple Siri [online] dostupné z : <https://www.apple.com/ios/siri/>
- [3] TheUltimateGuide to Augmented Reality (AR) Technology[online] dostupné z: <http://www.realitytechnologies.com/augmented-reality>
- [4] HAINICH, Rolf R. a Oliver BIMBER. *Displays: fundamentals&applications*. BocaRaton: CRC Press, c2011. ISBN 978-1568814391
- [5] Vuzix [online] dostupné z Vuzix<https://www.vuzix.com/products/m100-smart-glasses>
- [6] Epson [online] dostupné z <https://www.epson.cz/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>
- [7] Goldman, David (4 April 2012). "Google unveils 'Project Glass' virtual-reality glasses". Money. CNN. Retrieved 4 April 2012.
- [8] Matyszczyk, Chris (11 March 2013). "Here'swhocan'twear Google Glass: Peoplehowearglasses". CNET. Retrieved 11 March 2013.
- [9] Wikipedia [online] dostupné z https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Glass?oldid=556928490
- [10] Quora [online] dostupné z <https://www.quora.com/How-does-Google-Glass-project-the-image-onto-the-glass>
- [11] Patents Google [online] dostupné z <https://patents.google.com/patent/US20130207887>
- [12] Zicha, Josef a Šárka NĚMCOVÁ. *Základy konstrukce přístrojů: doplňkové skriptum*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 8001017516.
- [13] Havelka B., *Geometrická optika I. díl*, 1. vydání, Nakladatelství ČSAV Praha, 1955
- [14] Přednášky KOMP [online] dostupné z <https://moodle.fs.cvut.cz/course/view.php?id=151>
- [15] VÁCLAVÍK, Pavel. *Technická optika II. 2. přepr. vyd.* Praha: České vysoké učení technické, 1991.
- [16] Edmund Optics [online] dostupné z <https://www.edmundoptics.com/>
- [17] VÁCLAVÍK, Pavel. *Technická optika II. Vyd. 3.* Praha: České vysoké učení technické, 1996.
- [18] YODER, Paul R. *Mountingoptics in opticalinstruments*. 2nd ed. Bellingham, Wash.: SPIE, 2008. ISBN 9780819471291.

- [19] Přednášky KPR1 [online] dostupné z
<https://moodle.fs.cvut.cz/course/view.php?id=48>
- [20] Mouser[online] dostupné z <https://cz.mouser.com/ds/2/400/DS-000028-ICS-40181-v1.3-1114906.pdf>