



ArOn

Štěpán Strnad - Diplomová práce

České vysoké učení technické v Praze, fakulta architektury

Ústav číslo / název:	15150 / Ústav průmyslového designu
Vedoucí diplomové práce:	MgA. Martin Tvarůžek
Ateliér:	Ateliér Tvarůžek - průmyslový design
Téma diplomové práce - český název:	AR edukační vybavení
Téma diplomové práce - anglický název:	AR education environment
Autor:	BcA. Štěpán Strnad

Praha 2019 Ak.r. 2018/19, semestr letní

Poděkování

Úvodem bych chtěl poděkovat odbornému vedení mé práce panu MgA. Martinu Tvarůžkovi za věcné rady a připomínky. Dále bych rád poděkoval všem, kteří mi během práce radili a pomáhali. Zejména pak panu MgA. Janu Petrmichlovi, který mi pomohl proniknout do problematiky technologií VR a slečně Bc. Markétě Lhoťanové, která se mnou ochotně konzultovala pedagogické aspekty mé práce. A zároveň děkuji za podboru ze strany rodiny a přátel.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ARCHITEKTURY

AUTOR, DIPLOMANT:

AR 2018/2019, LS

NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE:

(ČJ) EDUKAČNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ROZŠÍŘENOU REALITU

(AJ) EDUCATION ENVIRONMENT FOR AUGMENTED REALITY

JAZYK PRÁCE:

Vedoucí práce:

MgA. Martin Tvarůžek

Ústav: 15150 / Ústav průmyslového designu

Oponent práce:

Klíčová slova
(česká):

Rozšířená realita, vzdělávání

Anotace
(česká):

ArOn je sestava nástrojů určených pro zobrazování a práci s rozšířenou realitou v edukačním prostředí. Sestavu tvoří headset, ovladač, tracker, lighthouse a pracovní lavice.

Anotace (anglická):

ArOn is a working and viewing set for augmented reality in an education environment. Set is consisting of a headset, controller, tracker, lighthouse and a working desk.

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury

2/ ZADÁNÍ diplomové práce

Mgr. program navazující

jméno a příjmení:

Štěpán Strnad

datum narození:

12.05.1995

akademický rok / semestr:

2018/2019 letní semestr

obor:

Průmyslový design

ústav:

15150

vedoucí diplomové práce:

MgA. Martin Tvarůžek

téma diplomové práce:

Edukační zařízení

viz přihláška na DP

zadání diplomové práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Tématem diplomové práce je návrh designu brýlí pro rozšířenou realitu a jejich příslušenství s primární využitelností pro vzdělávací účely. Návrh bude vytvářen s ohledem na současné tendence v segmentu vzdělávání a s využitím moderních technologií. Cílem projektu je vytvoření produktu s adekvátní estetickou hodnotou a plně vyhovujícím nárokům na uživatelský komfort jednotlivých cílových skupin.

2/

Pro AU/ součástí zadání bude jasně a konkrétně specifikovaný stavební program

Pro D/ součástí zadání budou jasně a konkrétně specifikované jednotlivé fáze projektu, které jsou nezbytnou součástí řešení


- 1) analytická část
- 2) tvorba koncepčních návrhů
- 3) rozpracování vybraného konceptu
- 4) výroba modelu a doprovodných materiálů

3/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítka zpracování

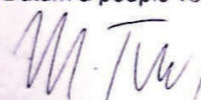
- 1) Brýle pro rozšířenou realitu (AR) a příslušenství v měřítku M 1:1
- 2) 3D počítačové vizualizace
- 3) Portfolio a plakát

4/ seznam dalších dohodnutých částí projektu (model)

Datum a podpis studenta

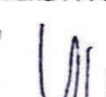
28.2.2019 

Datum a podpis vedoucího DP




27.2.2019

Datum a podpis děkana FA ČVUT

6.3.2019 

registrováno studijním oddělením dne

29.2.2019 

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

podpis autora-diplomanta

1. Obsah

1. Obsah
2. Úvod
 - Úvodní rozvaha a výběr tématu
 - Zadání
 - Vytyčené cíle
3. Analytická část
 - Co je to VR, AR, MR?
 - Základní dělení virtuálního prostředí
 - Historie
 - Průzkum trhu
 - Základní parametry
 - Inside-out nebo Outside-In?
 - Lighthousy a laserové pulsy
 - Ovladače
 - Google Glass
 - Intel Vaunt
 - Meta 2
 - Magic Leap One
 - Hololens a Hololens 2
 - Mix
 - Virtuplex
4. Formulace vize
 - Hledání prvků vybavení učebny
 - 2D a 3D pracovní prostor
5. Prvotní návrhy a koncepty
 - Skicovací fáze
 - První rendery
6. Finální návrh
 - AR Pen
 - AR Tracker
 - AR Lighthouse
 - AR Desk
 - AR Headset
 - Tlačítko synchronizace
7. Výkresová dokumentace
8. Závěr
9. Zdroje

2. Úvod

Úvodní rozvaha a výběr tématu

Při výběru tématu jsem se zaměřil na nové technologie. V současné době se jich objevuje stále více. Existuje spousta produktů a nápadů, které mohou značně přispět k rozvoji celé populace. Bohužel většinový názor na nové technologie do značné míry zbrzdí jejich rozvoj. Když mluvím o skepsi ze strany většinové veřejnosti, nechci vzbuzovat dojem, že lidé se prostě bojí nových vynálezů a technologií. Lidé se zpravidla bojí neznáma, a proto je třeba se snažit jim tyto nové produkty lidské vynalézavosti přiblížovat a seznamovat je s nimi.

Proto jsem hledal takovou technologii, která by v současné době byla na vzestupu. Zároveň jsem se zabíral různými směry, kterými by daná technologie mohla přispět k rozvoji lidské společnosti.

Minulý rok se mi do ruky dostala kniha Ready Player One od Ernesta Clina. Kniha se zabývá blízkou budoucností roku 2045. Svět se nachází v globální krizi a jediný možný únik je do virtuálního světa Oasis. Svět Oasis funguje na principu MMORPG (massively multiplayer online role-playing game).

V knize je mimo jiné ukázáno, jak velký vliv má tento virtuální svět na ten reálný. Mimo hraní se totiž v tomto světě odehrávají obchodní schůze, prodeje a nákupy, ale také je zde možné a v mnoha případech nutné chodit i do virtuální školy. To vše z pohodlí domova.

Tato kniha zvedla můj zájem o technologii virtuální reality a jejího současného rozvoje. V knize se mi nejvíce líbil koncept virtuální školy, kam žák dochází s pomocí domácí konzole a brýlí, které je možné získat na základě přijetí žáka do školy. Každý má tak možnost studia.

Dalším důležitým aspektem mého rozhodování byl můj zájem o tvorbu hologramů. V jedné ze svých semestrálních prací jsem se zabýval zhmotněním světla a došel k závěru, že je fyzikálně nemožné vytvořit světelný objekt v prostoru bez pomoci dalšího materiálu nebo difúze.

Ruku v ruce s vývojem VR technologií se objevily technologie AR, které dokážou mnohem více než pouhé promítání hologramů v prostoru. Obě dvě technologie mají spoustu možností svého využití a bylo jenom na mě, kterou cestu si zvolím.

Nakonec jsem si vybral uplatnění těchto technologií právě ve školách, tak aby se s nimi člověk měl šanci seznámit již během studia.

Rozhodujícím pro mě byla pak série rozhovorů s lidmi, kteří aktivně učí. Dnes už je na všech školách minimálně jedna učebna vybavená projektorem a interaktivní tabulí.

Virtuální realita mě zaujala již dříve, ale nikdy jsem nepřemýšlel nad tím, že bych se mohl podílet na možných řešeních a využitích této technologie.

Zadání

Jako téma své diplomové práce jsem si zvolil využití rozšířené reality v edukačním prostředí. Výstupem mají být brýle s příslušenstvím pro AR s primární využitelností pro vzdělávací účely. Návrh bude vytvářen s ohledem na současné tendence v segmentu vzdělávání a s využitím moderních technologií. Cílem projektu je vytvoření produktu s adekvátní estetickou hodnotou a plně vyhovujícím nárokům na uživatelský komfort jednotlivých cílových skupin.

Vytyčené cíle

- 1) Návrh konceptu výuky v AR
- 2) Navrhnout AR vybavení učebny
- 3) Zpracovat tvarové a estetické řešení



[1]

3. Analytická část

Co je to VR, AR, MR?

VR (virtual reality) neboli virtuální realita je technologie, která umožňuje pozorovateli vstup do simulovaného prostředí. Součástí simulace může být i možnost interakce s prostředím. Jedná se zejména o vizuální prožitek, který může být doplněn zvukovým, hmatovým nebo jiným segmentem.

Ke zobrazování virtuální reality se používají dnes už poměrně rozšířené headsety, které je možné propojit s počítačem nebo herní konzolí.



[2]

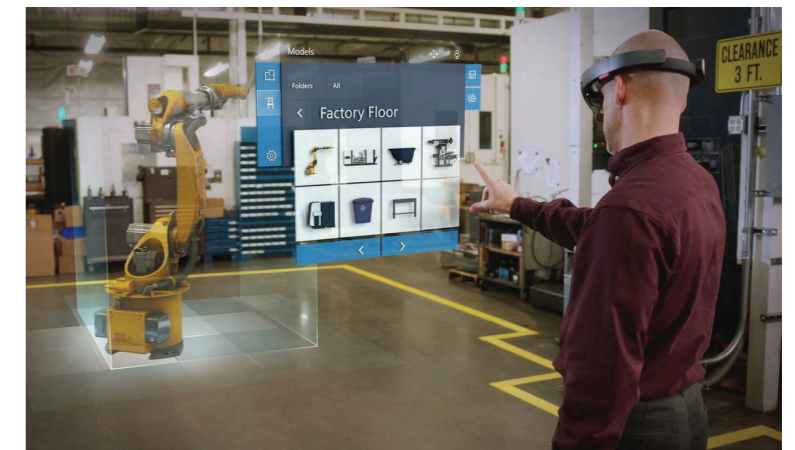
AR (augmented reality) neboli rozšířená realita. Jedná se o technologii, která doplňuje reálné prostředí o simulované prvky. Existuje několik možností zobrazení rozšířené reality. Například přes telefony a tablety, které s pomocí kamer snímají reálné prostředí a na displeji se pak objeví obraz doplněný o virtuální prvky. Dalším zprostředkovatelem jsou speciální brýle nebo headsety určené právě pro AR. V takovém případě divák vidí prostředí kolem sebe s již vloženými virtuálními prvky.



[3]

MR (merged/mixed reality) propojená nebo mixovaná realita znamená, že s prostředím rozšířené reality je možné provádět interakci pomocí displeje (v případě mobilních zařízení), různých ovladačů (podobně jako u VR) a v současné době i pomocí gest, které snímají kamery zabudované přímo v brýlích. Jedná se o jakýsi hybrid mezi AR a VR.

Technologie AR a MR jsou si velmi blízké a často propojené. Výraz AR se občas používá i pro MR a naopak.



[4]

Základní dělení virtuálního prostředí

Základem pro zobrazení 3D virtuálního prostoru je stereoskopické zobrazování, tzn. vytvoření dvou různých optických vjemů pro každé oko. Je několik způsobů jak toho docílit.

Asi každý dnes už zná brýle s modrým a červeným sklíčkem, které dokáží zobrazit speciálně upravený obrázek ve 3D. Dalším způsobem jsou tzv. shutter glasses, které fungují na principu střídavého zobrazování sudého a lichého snímku na obrazovce. Pravé oko vidí pouze sudé snímky a levé oko pouze liché snímky. Při dostatečné rychlosti přepínání snímků vzniká iluze. Zajímavý je také způsob, který používají 3D kina. Brýle, které si tam divák nasadí, mají na každém oku jinou polarizační fólii. Podobně



[5]

jako u shutter glass pak stačí mít pouze liché a sudé snímky s různou polarizací.

Speciální VR brýle mají pro každé oko jiný obraz. V tomto případě není třeba mít speciální fólie nebo skla. Další možností je pak náhlavní souprava bez displeje, do které se vloží chytrý telefon. Telefon má zobrazení displeje rozdělený na dvě části stejně jako u VR brýlí.

Rozhraní virtuálního prostředí je možné rozdělit podle několika faktorů.

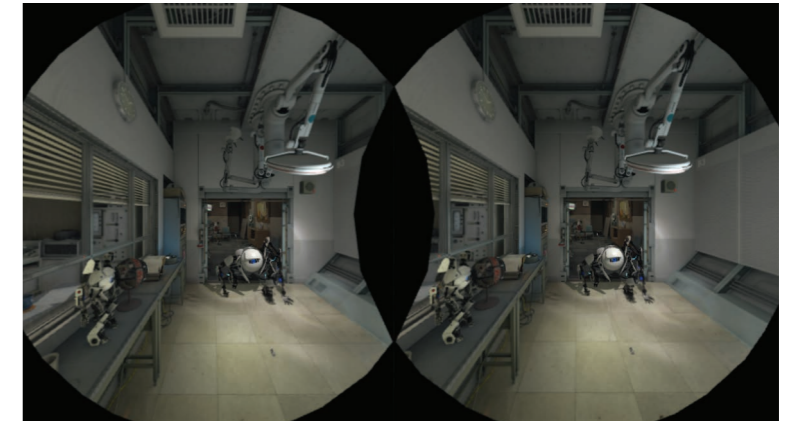
Prvním je zobrazení. Za základní se považuje zobrazení 180°, kdy je možné vidět obraz pouze před sebou. Zobrazení 360° umožňuje rozhlížení se a otáčení po osách XYZ.

Druhým je pak měřítko možnosti pohybu ve VR. Dalo by se rozdělit na:

1) Mobile VR - Ve VR se nedá pohybovat a je možné si jej prohlížet pouze z jednoho místa. Výjimkou jsou například videa, ve kterých je pohled součástí výhledu z okénka auta nebo kokpitu stíhačky.

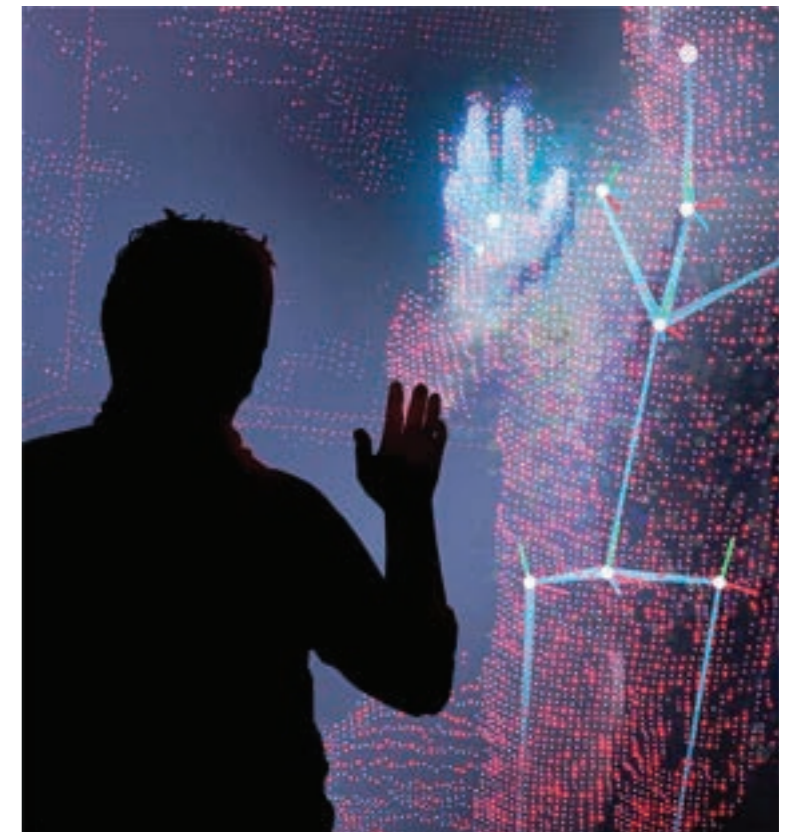
2) Desk Scale - Ve VR je možné se pohupovat ze strany na stranu a vykonávat pohyby rukou popřípadě nohou. Toto měřítko používají optické technologie, které používají zařízení jako např. Nintendo Wii, Xbox 360 nebo PlayStation 4.

3) Room Scale - Za pomoci laserové stanice a fotosenzorů je možné se pohybovat po místnosti. Tento systém se nazývá Outside-In.



[7]

4) World Scale - Zařízení umožňuje volný pohyb bez omezení. Toto měřítko je umožněno pomocí systémů Inside-out.



[6]

Historie

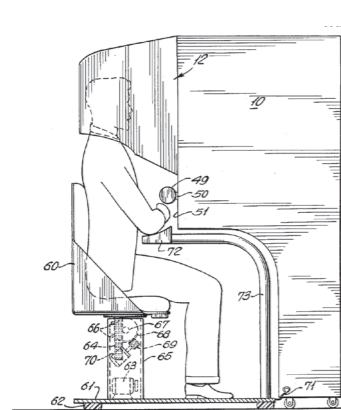
1960

1962

Sensorama byl přístroj, který se dá považovat za jeden z prvních pokusů o virtuální realitu. Sestrojený byl Mortonem Heiligem, který byl uznávaný jako multimediální specialista.

Společně s přístrojem vytvořil Heilig i pět krátkých filmů, které se v něm promítaly. Jedním z nich byla například jízda městem na motocyklu. Mezitím, co se divák díval na stereoskopický barevný display, jeho zážitek byl násoben poskakováním motocyklu v podobě pohyblivé židle, zvuky ze stereofonního zvukového systému, větrem ze zabudovaných větráků, a vůněmi i zápachy. To vše bylo synchronizováno s děním na obrazovce.

Heiligův projekt ztroskotal na nedostatku financí, které by mu zajistily patent a podporu dalšího vývoje.



[8]



[9]



1970

1968

Ivan Sutherland s výpomocí svého studenta Boba Sproullera vytvořil projekt **The Sword of Damocles** (Damoklův meč). Projekt byl pokusem o virtuální realitu s HMD (head-mounted display) systémem, tzn. displejem posazeným na hlavě.

Jednalo se o jednoduché zařízení jak z hlediska zobrazení reality, tak i uživatelského rozhraní. Zobrazovalo drátěnou místnost, která se vytvářela v počítači a promítala se do stereoskopického zobrazení. Bylo nutné sledování lidské hlavy, protože na pozici divákovy obličeje záleželo správné zobrazení perspektivy.

Přístroj byl zavěšený od stropu na mechanickém rameni, od čehož byl odvozený

80. léta

V osmdesátých letech se koncept VR školení začal používat ve více státech pro vojenské školení, nejčastěji pak pro piloty.

Thomas A. Furness III. v roce 1982 představil letectvu fungující prototyp virtuálního letového simulátoru (VCASS - Vizuálně Spojený Výsadkový Systémový Simulátor). Ve druhé fázi svého projektu nazvaném "Super Cockpit" zdokonalil grafiku (vysoké rozlišení) a přidal dotykový displej.

1980

1977

Na Massachusettském technologickém institutu (MIT) byl vyrobený **Apsen Movie Map**. Program byl založený na simulaci města Aspen v Coloradu. Ulicemi města mohl pozorovatel volně procházet a na výběr měl ze třech možných módů: léto, zima, a nebo síť polygonů. Léto a zima byla kompilace fotografií, kdy tvůrci museli nafotit každý možný pohyb po městě v předem vybraných ročních obdobích. Polygony byly trojrozměrný počítačový model města.



[10]



[11]

1985

Jaron Lanier v tomto roce založil v Silicon Valley společnost **VPL Research** (Virtual Programming Language - virtuální programovací jazyk), která se stala vůdčí firmou pro aplikace virtuální reality.

Na obrázku jsou tři z produktů firmy VPL Research a to DataSuit, The DataGlove a The EyePhone. Oblek pokrytý senzory pro monitorování paží nohou a trupu. Rukavice obsahují 6502 mikroovladačů. A brýle byly navrženy pro pozorování virtuálního prostředí. Oblek byl vyroben kolem roku 1989.

2010

Po tomto roce se začínají objevovat komerční VR a AR produkty, které jsou na takové úrovni, aby si získali větší uživatelskou základnu mezi širokou veřejností.

Palmer Luckey navrhl první prototyp Oculus Rift.

2000

2010

2019

90. léta

V devadesátých letech se objevily první herní konzole s VR. Brýle pro virtuální realitu (HMD) začaly vyvíjet firmy jako Nintendo (Virtual Boy), Virtual I-O (i-Glasses) nebo Forte Technologies (Victormaxx, VFX1 Headgear).



[12]

2013

Meta
Meta

2018

Magic Leap

2019

HoloLens 2

 Microsoft HoloLens

2015

Oculus Rift

 **Oculus**
 **oculus**

2015

HTC Vive

 **VIVE**

2016

Playstation VR

 **PlayStation.VR**

2016

HoloLens

 Microsoft HoloLens

Průzkum trhu

Současný trh obsahuje více produktů zabývajících se VR. Je to hlavně proto, že VR má velké uplatnění mezi hráčskou komunitou. Tyto produkty se začaly na trhu objevovat po roce 2015 a jejich počet stále narůstá. Produkty se dají rozdělit do tří skupin podle cílových uživatelů. První zahrnuje produkty jako HTC Vive nebo Oculus Rift, které patří mezi špičku produktů, které jsou v současnosti k dostání. Druhá skupina cílí na masový prodej. Do této skupiny spadají produkty jako PlayStation VR od firmy Sony. Do třetí skupiny spadá například produkt od společnosti Sulon. Nevyžaduje samostatný hardware a stačí mu vlastní integrovaná výbava. Cílí na vývojáře a uživatele, kteří hledají zábavu, hratelnost a alternativní pojetí.

AR produkty se ovšem vyskytují ve formě mobilních aplikací podobně dlouhou dobu, ačkoliv na úroveň VR headsetů dospívají až během posledních dvou let. Dobrým příkladem je mobilní hra Pokemon Go, která si získala masovou fanouškovskou základnu.

Produkty MR jsou úplnou novinkou a k prodeji jsou pouze jako development kit.

Základní parametry

Rozlišení obrazu je prvním důležitým parametrem. Čím vyšší, tím lepší je propracovanost detailů a barev celého obrazu. V současnosti je možné mít brýle s rozlišením přes 2K (2048×1080 bodů). Vývojáři už ale pracují na verzích pro 4K.

Dalším důležitým parametrem je frekvence snímků za sekundu. Pro plynulý obraz se uvádí hranice 60Hz. Většina headsetů uvádí obnovovací frekvenci 90Hz, ale k prodeji jsou i headsety se 144Hz. Čím lepší odezva, tím méně obrazových chyb vzniká během přenosu.

A třetím stěžejním parametrem je úhel zorného pole neboli FoV (Field of View). Zorný úhel lidského oka je 140° a s periferním viděním 180°. VR headsety nabízejí škálu FoV od 90° až po 120°.



Inside-out nebo Outside-in?

Inside-out a outside-in jsou dva způsoby mapování prostředí a trackování neboli zaměřování předmětů v prostoru.

Outside-in je způsob, ve kterém jsou po místnosti rozmístěná trackovací zařízení (kamery nebo lighthousy) a ty zaměřují ovladače a další vybavení nebo přímo uživatele pomocí speciálních senzorů a trackerů. Nevýhoda této metody spočívá v omezení prostorem.

V případě outside-in metody je výhodnější použít síť lighthousů. Výhodou této metody je cena (v porovnání s optickým mapováním), možnost rozšiřování trackovacího pole a přesnost trackování jednoduchým přidáním další stanice.

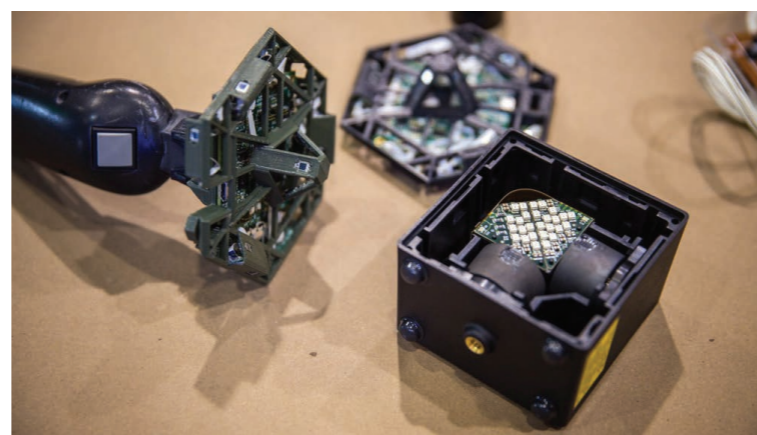
Dvě basestation jsou součástí balení pro HTC Vive.

Inside-out je varianta, ve které je kamera snímající prostředí umístěna přímo na headsetu nebo na brýlích. Toto řešení umožňuje volný pohyb i mimo místnost. Ještě nedávno se jednalo o méně efektivní variantu trackování. Sensory byly zachycovány, jen pokud je viděla kamera, tzn. že ovladač za zády v simulovaném prostředí zmizel.

Lighthousy a laserové pulsy

Basestation, lighthouse, dotprojektor to vše jsou označení pro speciální stanice nebo "maják" produkující v pulsech laserové body. Tyto body se rozprostírají po celé místnosti. Každý bod má svůj unikátní datový kód. Každý kód si s sebou nese informaci o tom, která stanice jej vyslala, číslo diody jež ho vyslala a číslo pulsu, ve kterém se objevila. Pokud bod dopadne na některý z fotodiódových senzorů, počítač dostane informaci o jeho poloze. Pro určení přesné pozice předmětu je třeba dostat signál od minimálně tří senzorů. Čím více senzorů má daný předmět na sobě, tím přesnější bude jeho zaměření.

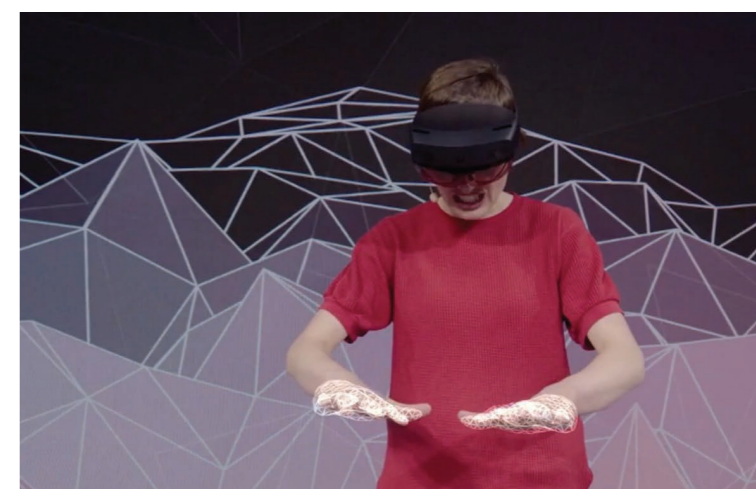
Stanice umějí komunikovat mezi sebou a správným rozmístěním se jimi dá vyhradit prostor, ve kterém se uživatel pohybuje. To je první možnost. Druhou možností je zaměřit místnost nebo prostor pro pohyb manuálně, a to tak, že pomocí headsetu nebo některého z ovladačů uživatel obejde místnost a ukáže stanici rohy prostoru.



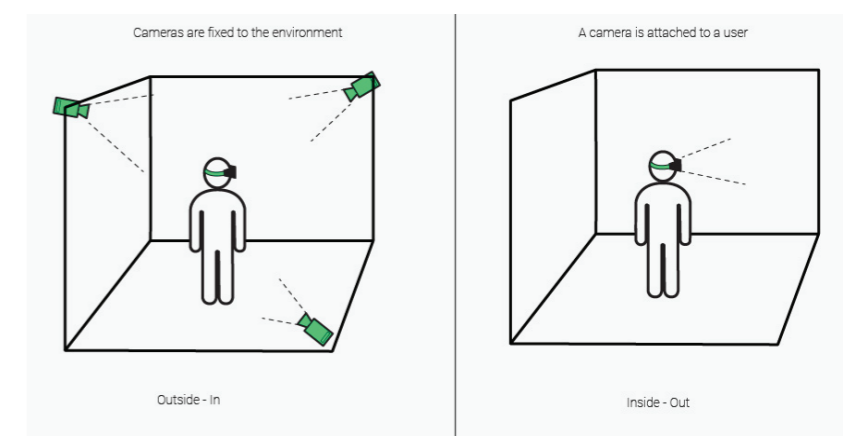
[17]



[15]



[16]



[14]

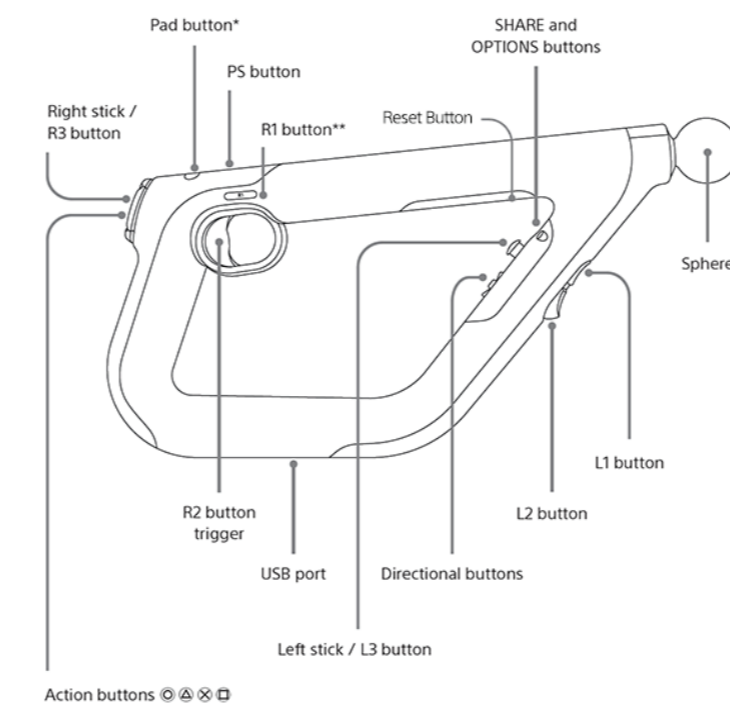
Ovladače

Ovladače jsou nezbytnou součástí každého VR setu. Jejich vzhled a možnosti se liší podle výrobce a podle zamýšleného použití.

Ovladače přenášejí pohyby uživatele do virtuálního prostředí.

Při hraní her je ovladač s větším počtem ovládacích prvků nutností, oproti tomu pracovní ovladače jsou ve své podstatě jednodušší a mnohdy i menší.

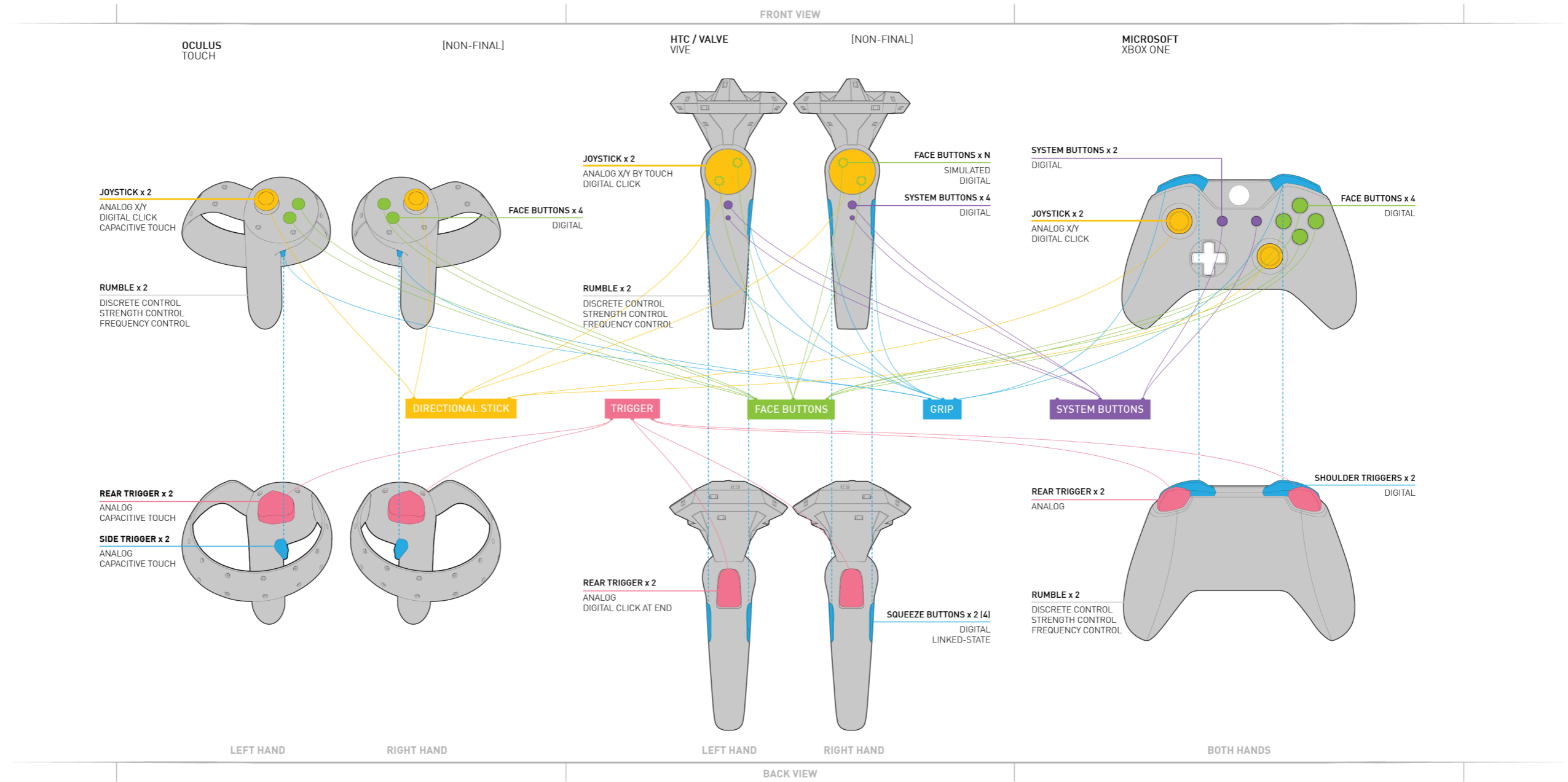
Ovladače mohou poskytovat uživateli zpětnou vazbu v podobě vibrací, které dodávají celému zážitku více autenticity.



[19]



[18]



The controls are colour-coded by their common functionality shared across the three types of controllers. The number count of each input type depicts the number of unique inputs provided by the buttons.

METANAUT VR Andrew Yao-An Lee | utypedesign.com | utypedesign@gmail.com
 Peter Kao | peterkao.com | peter@peterkao.com
 Jean Marais | moshang.net | moshangmusic@yahoo.com
 Dilun Ho | ditunho.com | dilun@ditunho.com

Google Glass

Brýle jsou produktem projektu Glass firmy Google a mají sloužit jako nositelný počítač, který zobrazuje informace komunikující s internetem. Informace se zobrazují pomocí laseru na malém displeji nad pravým okem. Toto řešení nebrání výhledu. Mimo jiné brýle disponují také HD kamerou s rozlišením 720p. Uživatel s nimi komunikuje pomocí povelů v přirozeném jazyce nebo pohyby po touchpadu na boku brýlí.

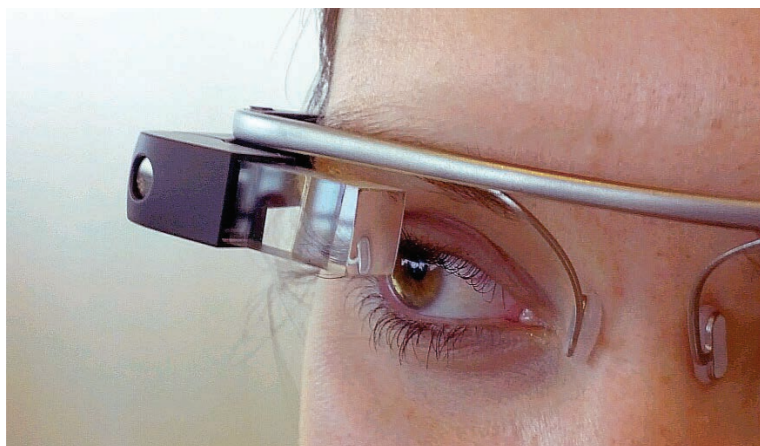
Pohyby:

Přejetí prstem po straně- tzv. swipe - posun v časové ose Timeline Glass (zobrazuje historii akcí, aplikace)

Poklepání, klepnutí- tzv. tap - potvrzení, probuzení Glass ze stand-by režimu

Přejetí prstem dolů- funguje jako tlačítko zpět na smartphonech s OS Android

Cena brýlí je 1 500 dolarů (cca 30 000 Kč), ale očekává se její postupné snižování. I když jsou brýle malé, uživatelé varují, že po jejich koupi se nevyhnete zvědavým pohledům svého okolí.



[21]

Intel Vaunt

Tento projekt od světové chipové firmy měl tvořit konkurenci Google Glass. Narozdíl od Glass byly brýle Vaunt nenápadnější a informace zobrazovaly slabým laserem přímo na sklo brýlí. Okno, které se zobrazovalo bylo monochromní, ale i tak se jednalo o promyšlený přístroj.

Bohužel vývoj brýlí Vaunt byl ukončen samotnou firmou Intel, která svůj postoj obhajovala tím, že firma se věnuje vývoji nových technologií, za kterými projekt Superlight (kódové označení pro Vaunt) bohužel zaostává.



[22]

Meta 2

Meta 2 je druhá generace brýlí pro rozšířenou realitu od firmy Meta spadající pod Silicon Valley. Jedná se o headset, který je třeba mít připojený k počítači. Byl vynalezen Meronem Gribetzem v roce 2013. Headset je volně prodejný a stojí okolo 950 USD (22 000,- Kč).

Narozdíl od HoloLens má Meta 290° zorné pole. Hologramy je v tomto případě příjemně vidět celé, i když se pozorovatel nedívá přímo před sebe. Meta 2 je poměrně velké zařízení a jeho ambice směřují spíše do sektoru vzdělávání.

Prostředí se ovládá pomocí rukou, i když interakce brýlí s uživatelem není ještě příliš kvalitní, a je proto těžké občas předmět uchopit. Ačkoliv na prohlížení 3D modelů jsou ideální, textová nebo multimediální okna jsou v nich těžko čitelná. Výhodou je, že pokud se sejde více uživatelů, mohou společně upravovat stejnou simulaci.

Nízká cena z nich dělá dobrou první zkušenost s AR prostředím, ale jejich funkce je spíše prohlížecké.



[23]

Magic Leap One

Jsou brýle určené pro AR prostředí s prvky MR. Jejich utajovaný vývoj začal roku 2010. Hlavním vývojářem je Rony Abovitz. Magic Leap, Inc. začala jako startupová firma, která během svého působení získala velmi vlivné sponzory, jako je například společnost Google, Alibaba Group nebo AT&T. V roce 2016 uvedl časopis Forbes svůj odhad na vývoj Magic Leap, který podle něj přišel na 4.5 billionu USD. Souprava obsahující brýle, počítač a ovladač vyšla na trh 8. srpna 2018 za cenu 2300 USD (50 000,- Kč) a jedná se o vývojářský balíček.

Počítač má kulatý tvar a s brýlemi je propojený fixními kabely. Krabička počítače má dvě části a to baterii a počítač samotný. Díky promyšlenému designu je možné si počítač upevnit na opasek nebo kapsu kalhot díky mezeře mezi zmíněnými dvěma částmi. Počítač je nejtěžší částí a tímto řešením se velmi snížila váha brýlí na cca. 500 gramů.

Simulovaný prostor se ovládá pomocí jednoduchého ovladače. Ovladač má čtyři prvky pro komunikaci s prostředím: dotykový kruh a tlačítko hlavní nabídky na vrchní straně ovladače, trigger a bumper vpředu. Velikou výhodou je trackování ovladače, které je pravděpodobně prováděno elektromagnetickými senzory v podobě malých černých kostiček na bocích brýlí. Znamená to, že ovladač reaguje, i pokud ho brýle nevidí.

Vývojáři si při navrhování brýlí dali záležet na pohodlí a snadné manipulaci. Brýle mají vzadu na temeni speciální mechanismus, který brýle automaticky jemně dotahuje. Nosní opěrku je možné snadno vyměnit za jinak tvarovanou. Sada nosních opěrek je součástí balení. Stejně tak se dá vyměnit polstrovaná opěrka čela. Uvnitř brýlí je vložený rám,

do kterého je možné si nechat vyrobit optické brýle pro lidi s oční vadou.

Magic Leap tvoří konkurenci první generaci HoloLens, které v mnohém předčily. Umi skenovat prostor, který si převádí do polygonové architektury, takže je možné přichytávat virtuální prvky na ty reálné a pohyblivé animace reagují na předměty v místnosti. Problém je se zorným polem, které je o něco větší než u HoloLens, ale i tak jsou větší simulace „useklé“. To samé se děje při přílišném přiblížení se k některému z hologramů, který v blízkosti cca 30 centimetrů od pozorovatele náhle zmizí. Magic Leap se snažily vytvořit systém ostření prostoru, aby když se člověk přiblíží k hologramu, se hologram zaostřil a okolí se rozostřilo. Použili dvě vrstvy ostření. Uživatelé a testeři se shodují na tom, že pro splnění účelu by bylo zapotřebí minimálně šesti vrstev.

Ergonomickou a funkční stránku celého setu hodnotím velmi kladně, ale po stránce estetické se mi brýle nelíbí. Myslím si, že by si zasloužily futurističtější design. Samotný projekt mě velmi příjemně překvapil, obzvláště pak když jsem se dočetl, že vývojáři pokračují ve své práci a odstraňují chyby na první verzi. Zároveň považuji Magic Leap za nejlépe uživatelské AR brýle současnosti.



[24]

HoloLens a HoloLens 2

HoloLens je produktem firmy Microsoft. Poprvé se objevil na konferenci Build v San Franciscu na jaře roku 2015, ale vydání developerské verze do prodeje proběhlo 30. března 2016. Jedná se o jeden z prvních počítačů se systémem Windows Holographic.

I přes mnohé nevýhody se jedná o velký pokrok v AR technologii. Je třeba podotknout, že firma Microsoft navrhla produkt HoloLens do průmyslového prostředí.

HoloLens 2 představila firma Microsoft na jaře tohoto roku (2019). Brýle jsou v mnoha ohledech



[25]

dotaznější než jejich předchůdce. Opět se jedná o formu headsetu.

Brýle mají vlastní počítač s připojením k wifi, takže z headsetu nečouhají žádné dráty. Výpočetní jednotka se nachází společně s kolečkem pro regulaci velikosti na temenní straně headsetu, čímž se přesouvá těžiště na střed hlavy a nepřevažuje ji dopředu, jako tomu bylo u první generace HoloLens.

Microsoft investoval hodně prostředků do ergonomie brýlí. Posazení headsetu testoval na hlavách jednoho tisíce subjektů. Výsledkem je systém čelního a temenního měkčeného lůžka. Obě je možné

snadno vyměnit. Díky takovému posazení firma slibuje pohodlí i během dlouhodobějšího nošení. Toto tvrzení potvrzují i první recenze produktu.

Brýle je možné jednoduchým pohybem odklopit bez nutnosti sundání celého headsetu. Takováto možnost je výhodou ve chvíli, kdy projekce překáží pracovnímu výkonu uživatele a nebo třeba při komunikaci s jinou osobou.

Brýle používají mapování inside-out. V praxi to znamená to, že se na přední straně brýlí nachází řada kamer a senzorů, které snímají okolní prostředí a dokáží jej zmapovat pomocí laserové sítě. Tato síť je generována senzorem uprostřed brýlí. HoloLens tedy umožňuje volně se pohybovat (i mimo místnost) a počítač brýlí v reálném čase mapuje okolní prostor a dokonce rozpoznává předměty kolem pozorovatele.

Uživatel ovládá hologramy pomocí gest, jako tomu bylo u prvních HoloLens, kde se hologramy ovládaly několika málo gesty, která nebyla příliš přirozená. Oproti tomu HoloLens 2 nabízí mnohem přirozenější interakce, ať už se jedná o úchop, zvětšení, přesunutí nebo stisknutí tlačítka.

U první řady byl velkou nevýhodou malý zobrazovací prostor. Hologramy byly tak často nepříjemně useknuté a nebyly vidět, pokud se uživatel nedíval rovně před sebe. U druhé řady se firma snažila tento problém eliminovat a zvětšila obě holografické čočky, takže se zvětšilo celé zorné pole. Navíc obraz je upravován podle vzdálenosti sítnic uživatele, kterou snímají dvě malé kamery na kořenu nosu.

Oproti jiným typům AR brýlí se u HoloLens používá speciální MEMS (microelectromechanical systems) displej. Laserové vlny jsou vedeny



[26]

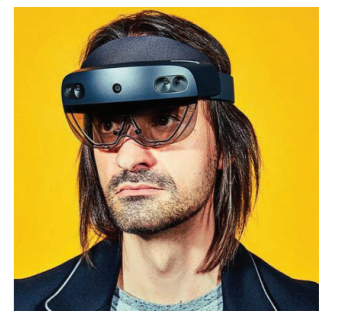
speciálně upraveným sklíčkem a laserové paprsky tak nedopadají přímo na sítnici.

HoloLens mají rozlišení obrazu 2K a stojí 3 500 dolarů, což je v přepočtu necelých 90 000 Kč.

První generaci brýlí HoloLens jsem měl možnost si vyzkoušet. Překvapilo mě základní mapování prostoru a rukou, i když gesta, kterými se rozšířené prostředí ovládalo, nebyla úplně přirozená. Usazení brýlí na hlavě bylo poměrně pohodlné až na nepříjemné převažování způsobené velkou vahou brýlí. Mezi holografickými sklíčky a tváří je poměrně málo místa a lidé s brýlemi mohou mít potíže si je nasadit. Chvilku mi trvalo si seřídít brýle tak, abych viděl obraz a ten byl i poté poměrně malý a nepříjemně „useknutý“.

Nicméně co se týče samotného zobrazování a práce v rozšířené realitě, brýle naplnily má očekávání a ještě mnohem víc. Je poměrně jednoduché se naučit asi tři základní gesta, a pak už je to celé o prohlížení a hraní si s hologramy. V současnosti je pro windows rozšířenou realitu poměrně málo aplikací, ale jejich počet stále stoupá.

Jak už jsem napsal dříve Microsoft se zaměřil na chyby a nedostatky, které spáchal u první generace a u nových HoloLens 2 se je pokusil eliminovat, což považuji za velmi kladný přístup a těším se, až si je vyzkouším na vlastní kůži.



Alex Kipman
vedoucí vývoje
projektu HoloLens

MIX

Firma ANTVR uvedla na stránkách www.kickstarter.com svůj nejnovější projekt a to brýle, které kombinují AR i VR. Odhadované vypuštění na trh mělo být v prosinci roku 2018.

ANTVR slibuje brýle o velikosti klasických slunečních brýlí. Brýle budou vyžadovat propojení s pc. Výsledkem bude nižší váha brýlí, ale při pohybu mimo místnost bude uživatel potřebovat batoh s počítačem na zádech. Brýle mimo jiné míří na hráčskou komunitu a kompatibilita s herní knihovnou Steam VR je tedy samozřejmostí.

Zajímavou vlastností brýlí bude 96° zorné pole, jak slibují vývojáři. Znamenalo by to AR zařízení se zatím největším zorným polem na trhu. Vývojáři dále slibují trackování rukou a očí.

MIX glasses mají velký předpoklad na získání si místa na trhu. Ať už je to nabídka VR her v reálném prostředí, nízká hmotnost a nebo jednoduše dobrá cena, která činí 1350 USD (cca 31 000- Kč) za kompletní balíček, který obsahuje: MIX Glasses, 3-DoF ovladač, modul na trackování rukou, Inside-out trackovací modul, Outside-in trackovací balíček a modul na trackování očí.

Vzhledem k tomu, že produkt ještě nevstoupil na trh, je těžké určit, jestli se jedná o krok vpřed či vzad. Ambice vývojářů jsou veliké, ale zatím to vypadá, že AR rozměr budou mít na úrovni Meta 2, to znamená spíše prohlížecí než pracovní rozměr. Nicméně svou cenou jsou přijatelné pro širší a především hráčskou komunitu.





Je největší VR laboratoří nejen v České Republice, ale i v Evropě. Komplex nabízí VR plochu o rozloze 600 metrů čtverečních, na které se může pohybovat až 5 lidí současně. Dalších 300 metrů plochy komplexu pak zabírá zázemí.

USE CASE



Design & Evaluace

- návrhy a designové iterace
- kolaborativní prostředí
- prototypování, vnímání prostoru
- brzké ověření konceptů



Výzkum & Testování

- pohyb v prostoru
- eyetracking a sledování emocí
- produktové kliniky
- A/B testing



Produktové Prezentace

- prezentace produktů / prototypů
- neomezené možnosti variací
- interiéry / exteriéry / různá prostředí
- storytelling

www.virtuplex.cz



[28]



Trénink & Vzdělávání

- simulace nebezpečných situací
- výcvik personálu
- před instalací
- rychlé a levné vstupy



Eventy & Workshopy

- teambuilding
- inspirativní workshopy
- výstavy exponátů a relikvií



Relaxace & Zábava

- neomezené možnosti cestování
- hry
- simulace

www.virtuplex.cz



[29]

4. Formulace vize

Hledání prvků vybavení učebny

Důležitou částí mé práce bylo vyhrazení jednotlivých zařízení, které jsou nutné pro chod AR simulace v prostoru. Inspiroval jsem se sadami, které jsou v současnosti volně prodejné.

Po návštěvě několika přednášek o využití VR a AR v praxi, konzultaci s lidmi zabývajícími se problematikou VR a AR, a na základě vlastní rešerše, jsem se rozhodl pro trackovací systém outside-in. I když jsou v současné době velké tendence ze strany vývojářů vytvořit zařízení s dobrým inside-out systémem, pro vzdělávání v učebně to není nezbytné. Systém mapování prostoru pomocí lighthousů a fotosenzorů je v mém případě levnější, přesnější a méně náročný pro výpočet a zobrazení rozšířené reality. Zároveň se tím zjednodušuje vybavení headsetů.

Jedním z bodů mé práce je tedy návrh stanice vysílající laserové pulsy neboli „lighthouse“ či „basestation“. Hledal jsem tedy nejlepší řešení mapování celé učebny. V závislosti na mé volbě způsobu trackování jsou dalšími prvky sestavy ovladač, tracker pro mapování plochy a pracovní lavice.

U brýlí jsem hledal možnosti, jak oprostit zařízení od napájecích kabelů, aby je bylo možné používat bezdrátově. Vzhledem k současným tendencím ve vývoji bezdrátových technologií jsem měl širokou základnu možností, jak s touto myšlenkou naložit. Zároveň jsem musel uvažovat v širokém měřítku potencionálních uživatelů. Oproti tomu jsem se nemusel bát jít do robustnějšího tvaru, protože se jedná o školní zařízení a není určené pro přílišný pohyb.

Ovladač měl být jednoduchým nástrojem, který má jasně daný způsob svého použití. Při práci se vzdělávacími materiály není nutné složitě interreagovat, navíc je možné si v rozšířené realitě pomoci akčními tlačítky nebo okny s ovládacími prvky, které budou součástí simulace.

Lavice musela propojit všechny prvky tak, aby když student přistoupí, měl všechna zařízení dobře přístupná a nemusel s lavicí složitě manipulovat. Neustále jsem hledal řešení pro začlenění fyzických tiskových materiálů do práce v rozšířené realitě a snažil jsem se hledat řešení, jak jimi nemuset zabírat místo na pracovní desce, a přesto umožnit jejich čtení.

2D a 3D pracovní prostor

Tyto dva způsoby zobrazení materiálů byly dalším stěžejním bodem v mém rozhodování a hledání správného řešení. Jedním z prvních bodů ještě před samotným navrhováním bylo rozepsání funkcí a možností, které mi nabízí 2D a 3D zobrazení.

2D prostor je určený pro psaní, kreslení, prohlížení a tvorbu tiskových a multimediálních souborů. Je do něj možné promítnout elektronické verze učebnic.

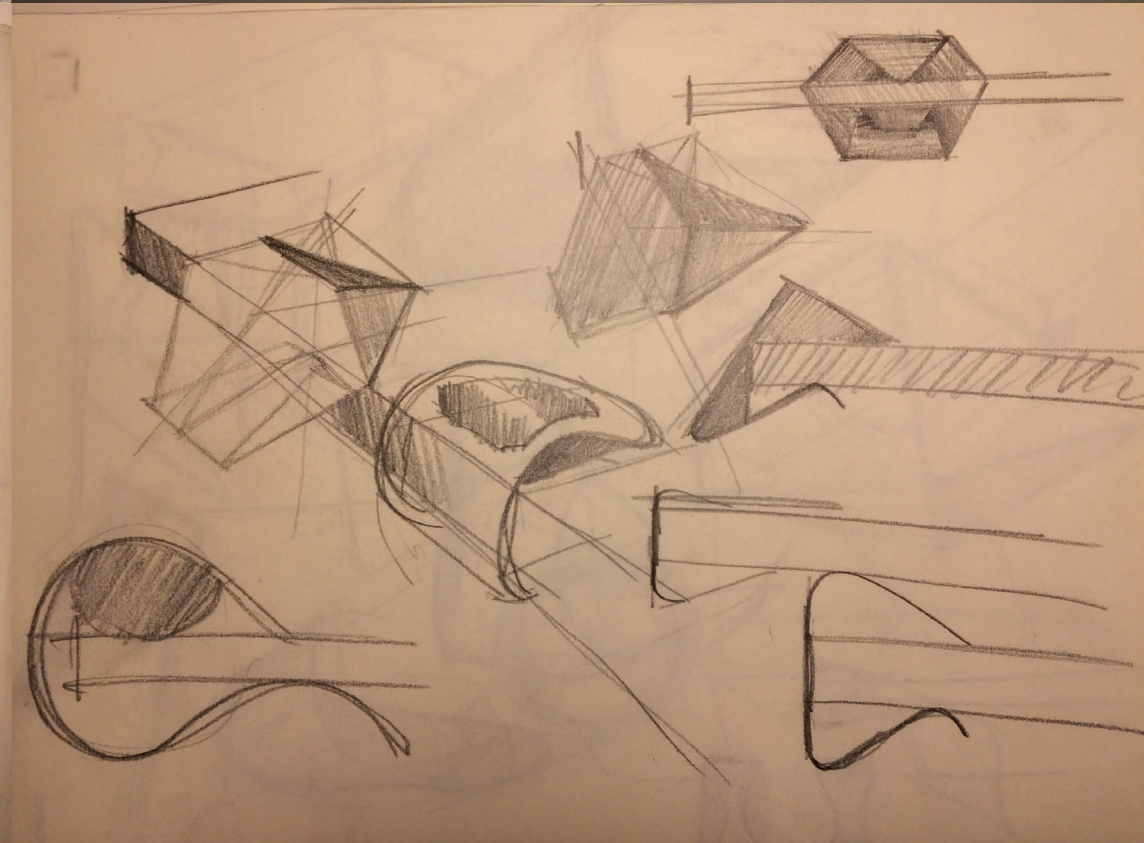
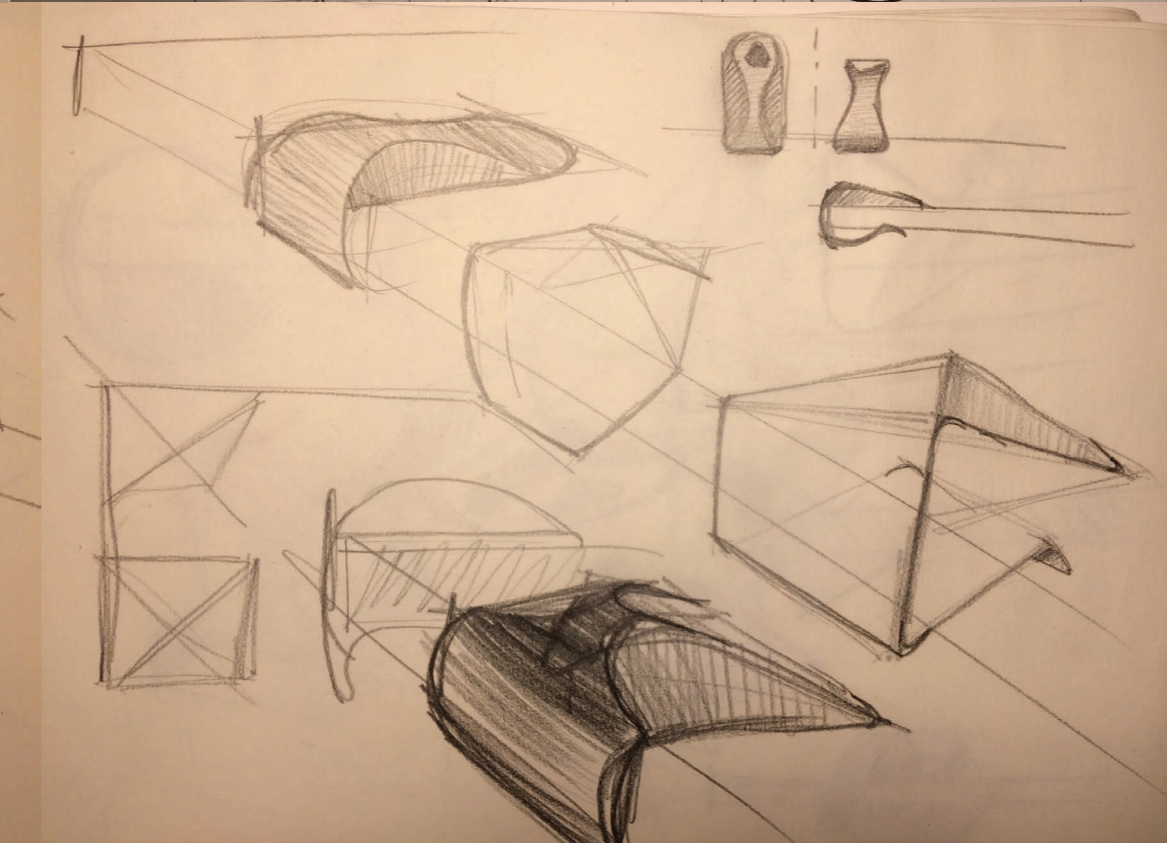
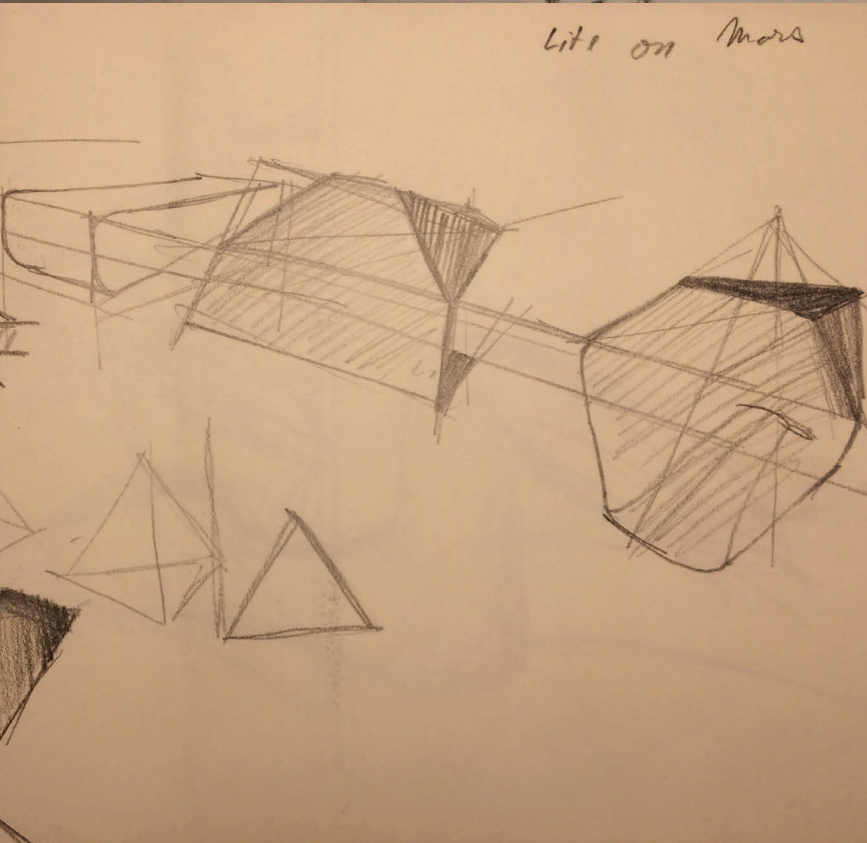
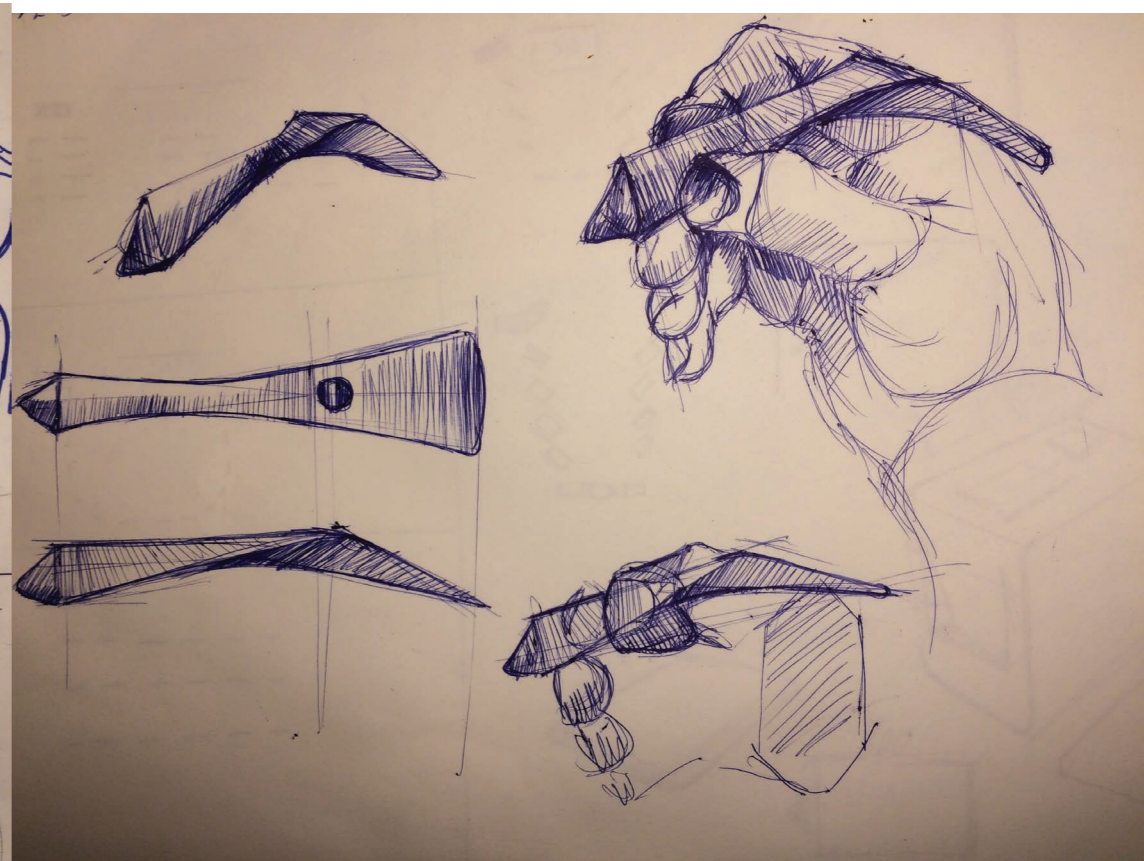
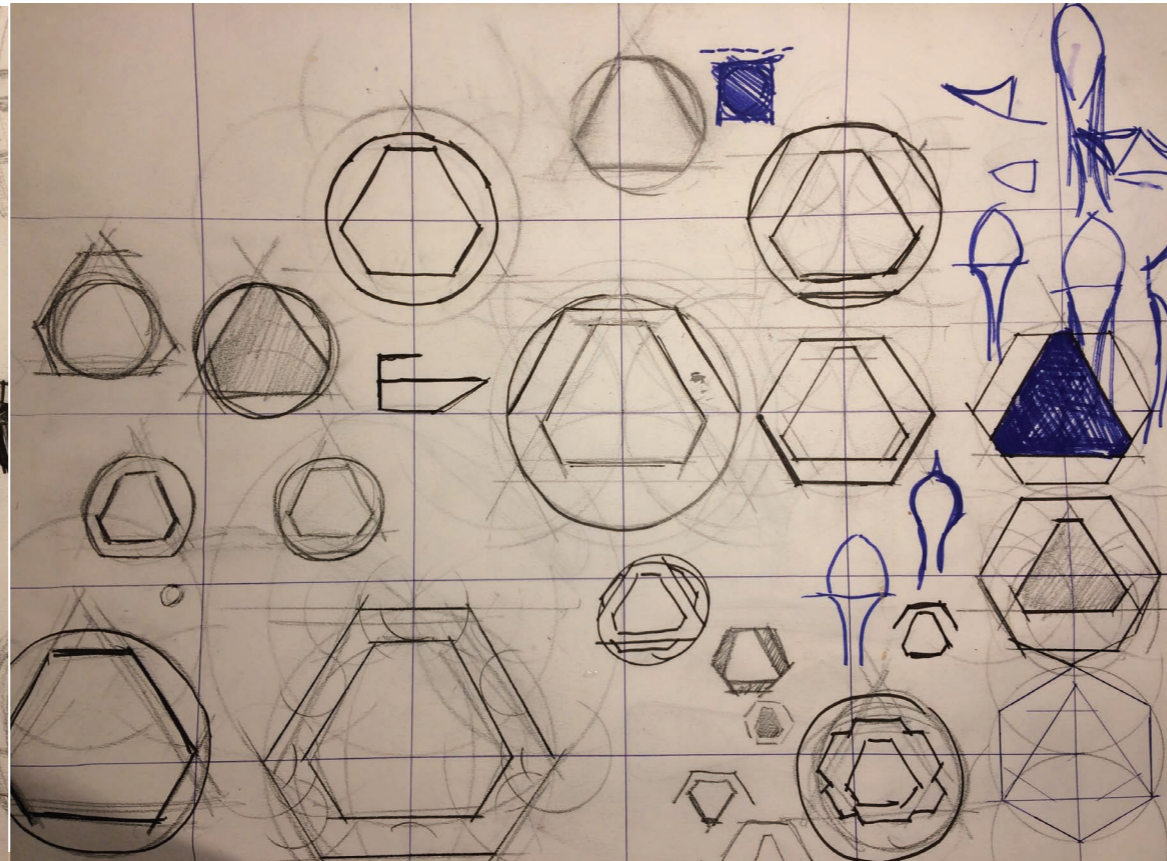
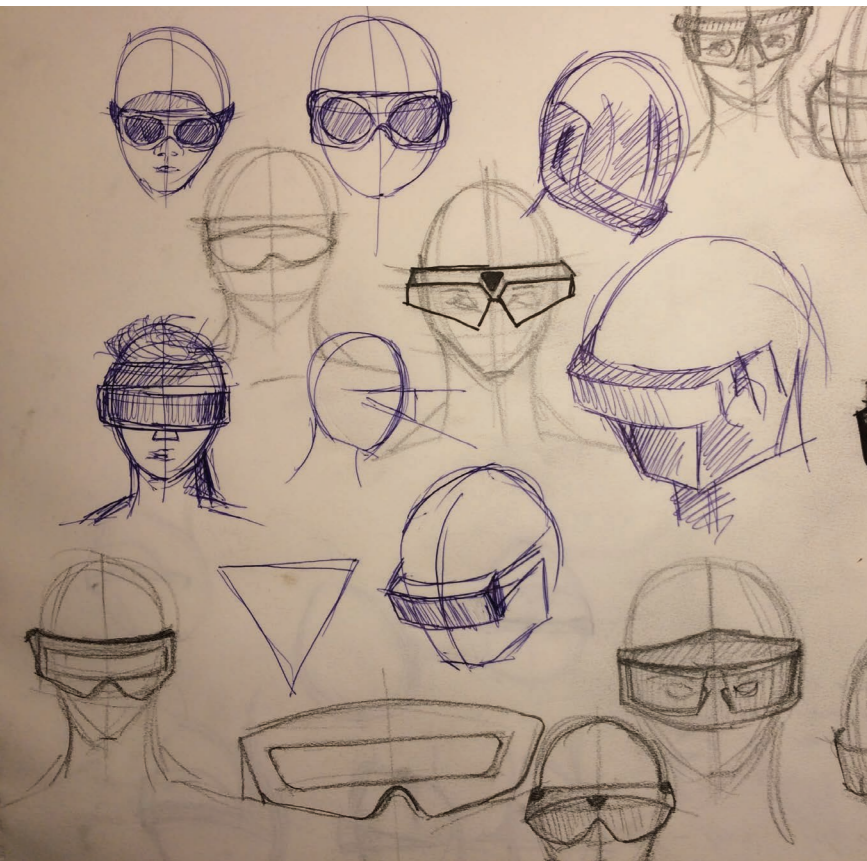
3D prostor má velkou škálu možných využití. Dají se v něm prezentovat modely různého charakteru, ať už jde o anatomickou stavbu člověka, mapu města, rozmístění sluneční soustavy nebo třeba simulovaný let helikoptérou. Do 3D prostoru je zároveň možné umisťovat 2D prvky v podobě multimediálních oken.

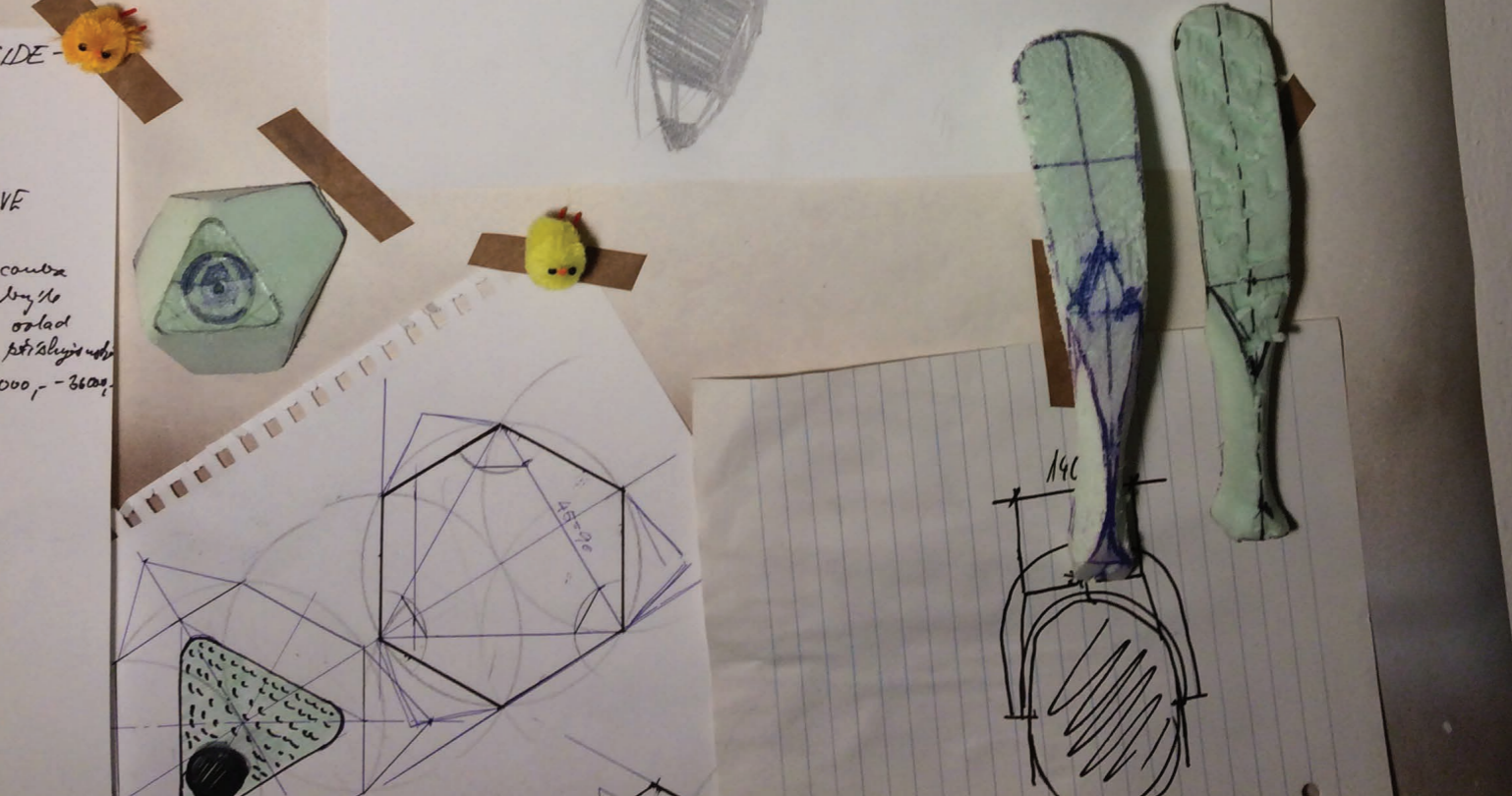
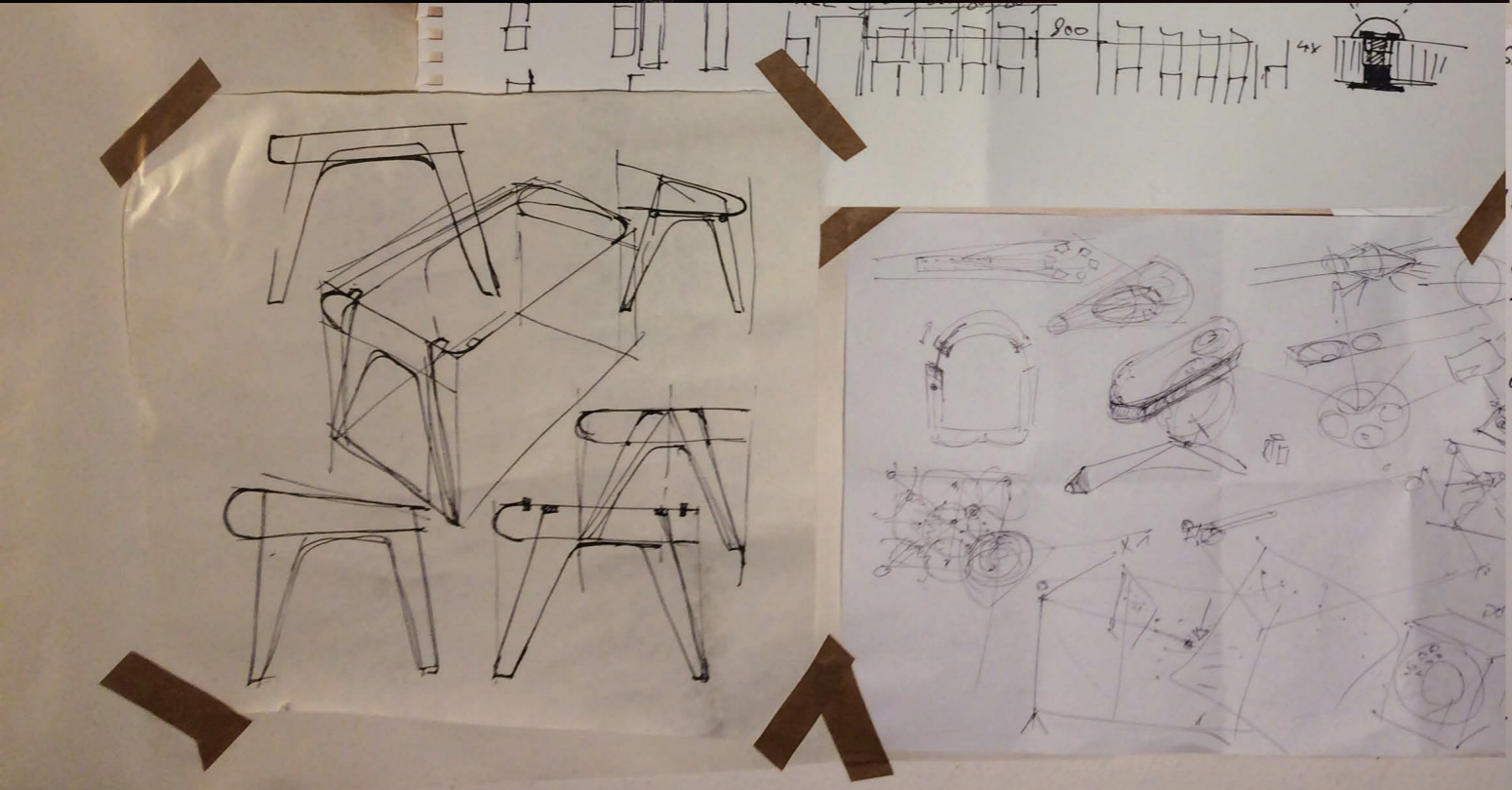
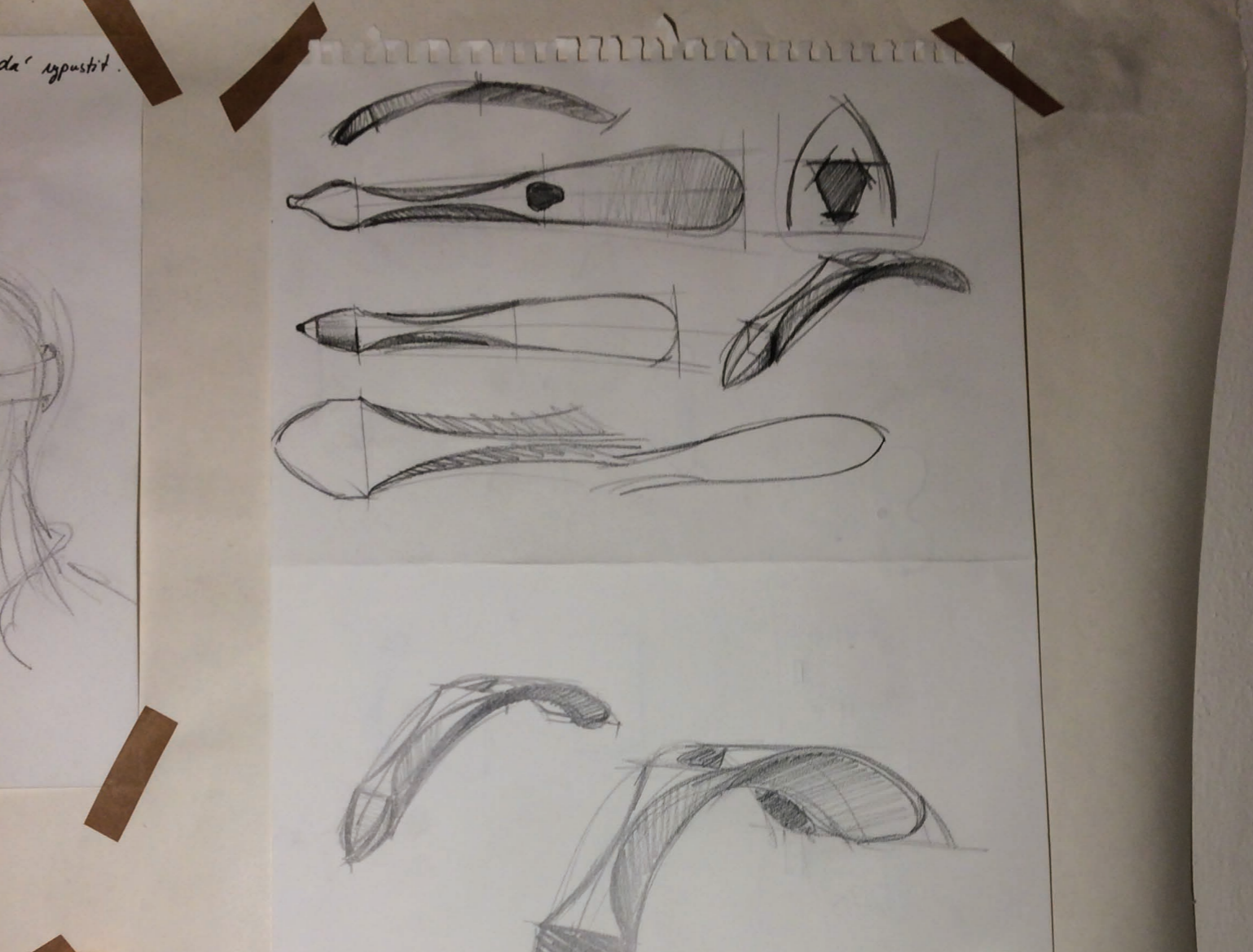
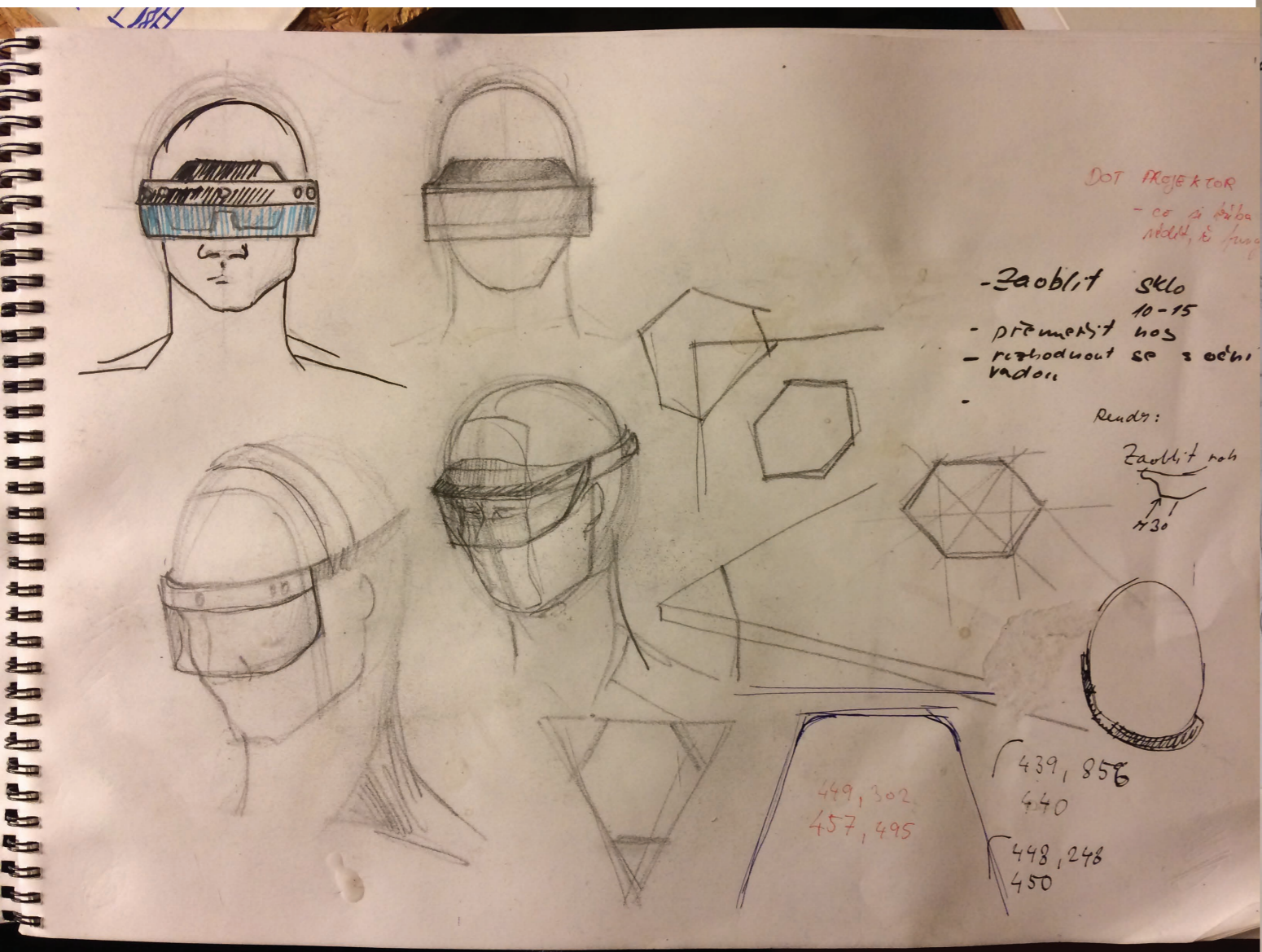
Propojením těchto dvou prostorů mohou vznikat situace, ve kterých například konstruktér, architekt nebo designér pracuje ve 2D prostoru v programu CADovského typu a v reálném čase se mu v 3D prostoru zobrazuje model propojený s výkresy.

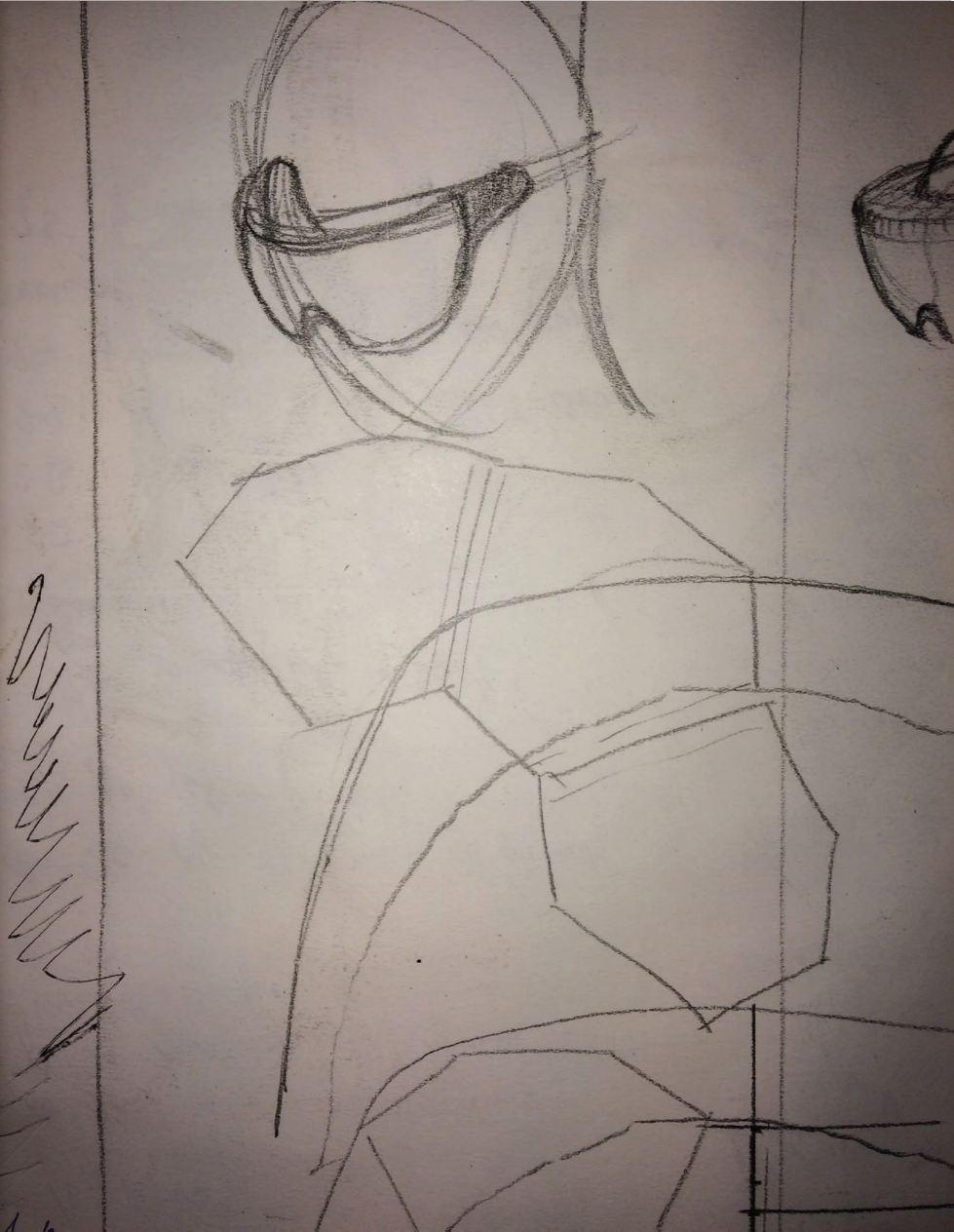
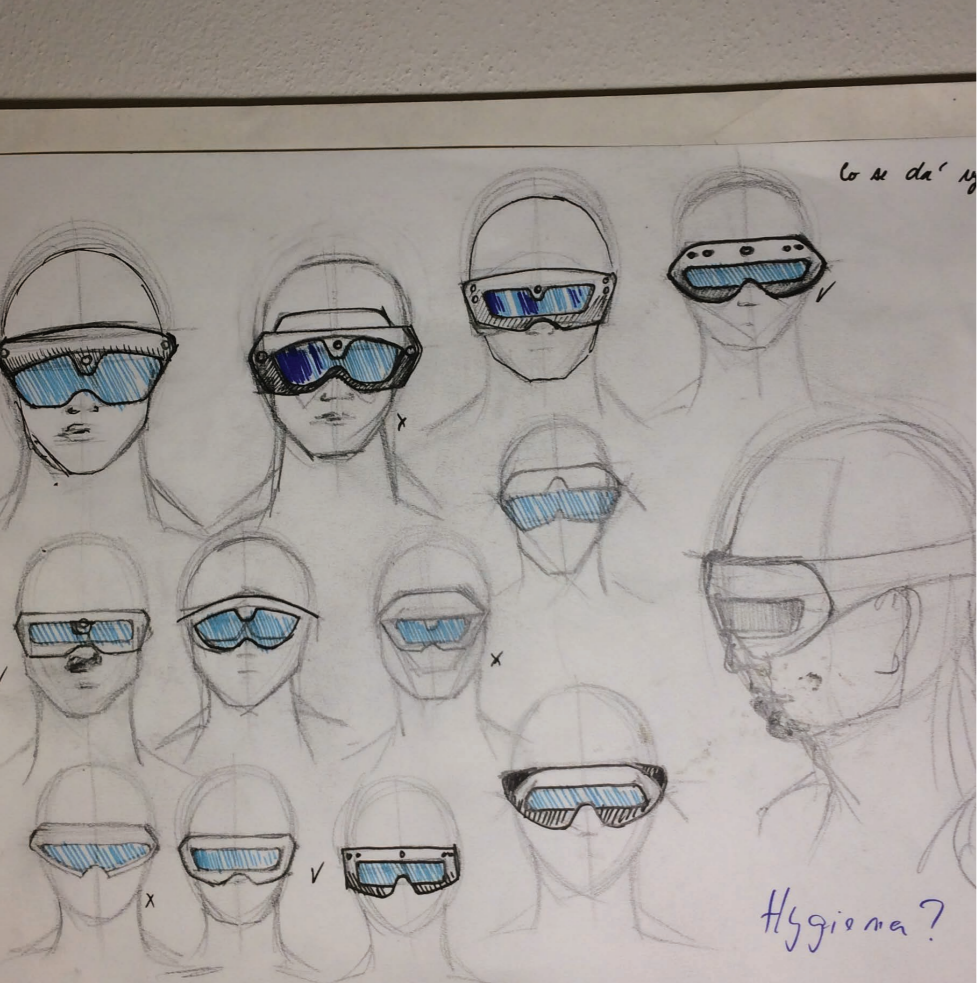
Pro využití AR prostoru se najde využití v každé profesi. Například pro jazykovou třídu je zde možné nasimulovat průchod ulicemi města a studenti si tak vyzkouší své navigační schopnosti.

5. Prvotní návrhy a koncepty

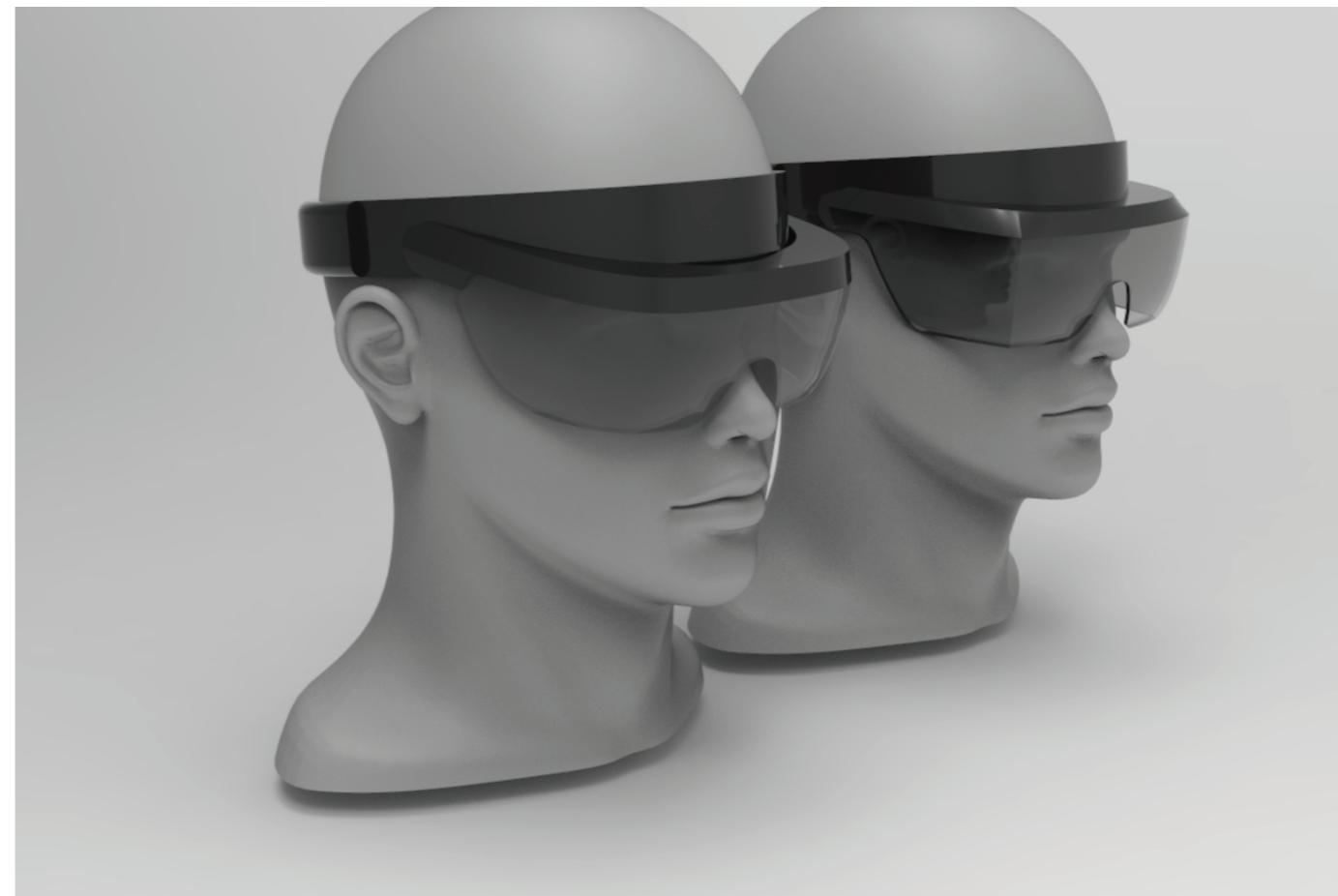
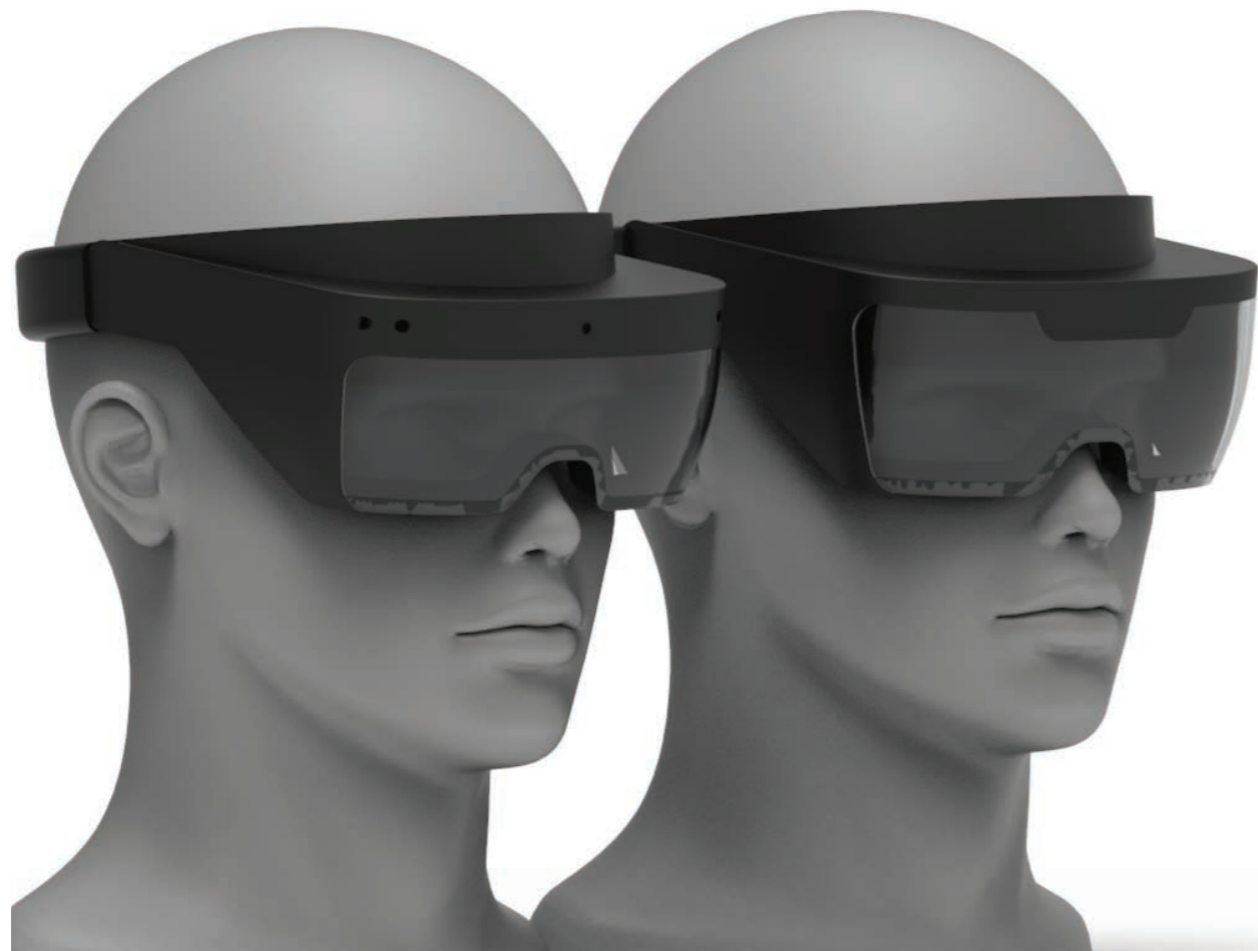
Skicovací fáze

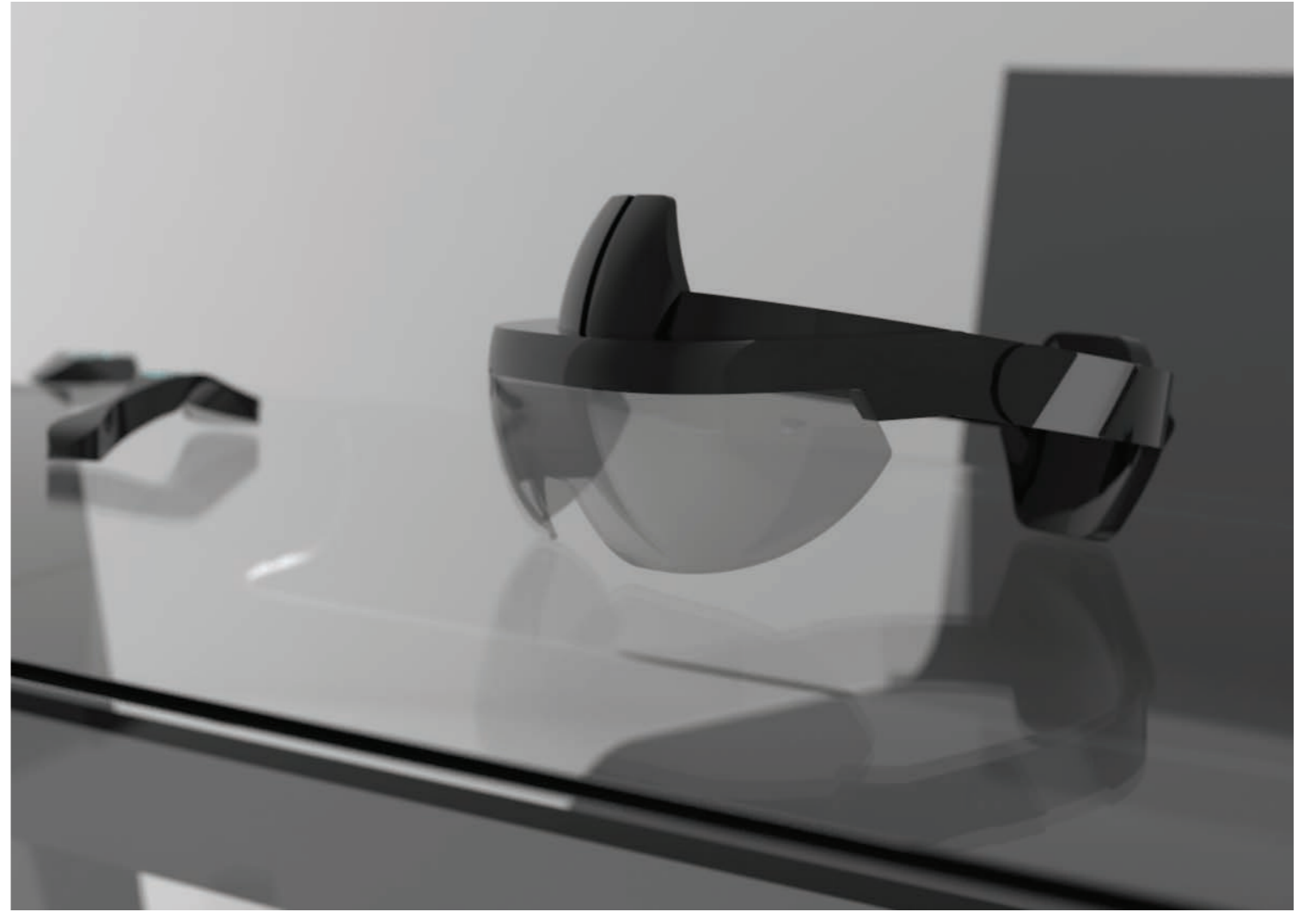












6. Finální návrh



ArOn Pen

Pro interakci s AR prostorem jsem navrhl AR pero. Je to jednoduchý nástroj, který je určený především k prohlížení a základním interakcím. Je navrženo pro dvojí uchopení.

Nejdůležitější částí pera je jeho hrot. V něm jsou ukryté trackovací čipy, které určují polohu pera v prostoru. Hrot má ve špičce tlakové čidlo, které reaguje při doteku s povrchem pracovní plochy.

Pro interakci s 3D prostorem je na hřbetě těla pera umístěné tlačítko. Při akci ve 3D prostoru ovladač odpoví odezvou v podobě jemné krátké vibrace.

Pero je ergonomicky tvarované a navrženo pro dvojí uchopení. Pro pohodlný úchop jako u klasického pera či tužky a zároveň pro uchopení do dlaně.

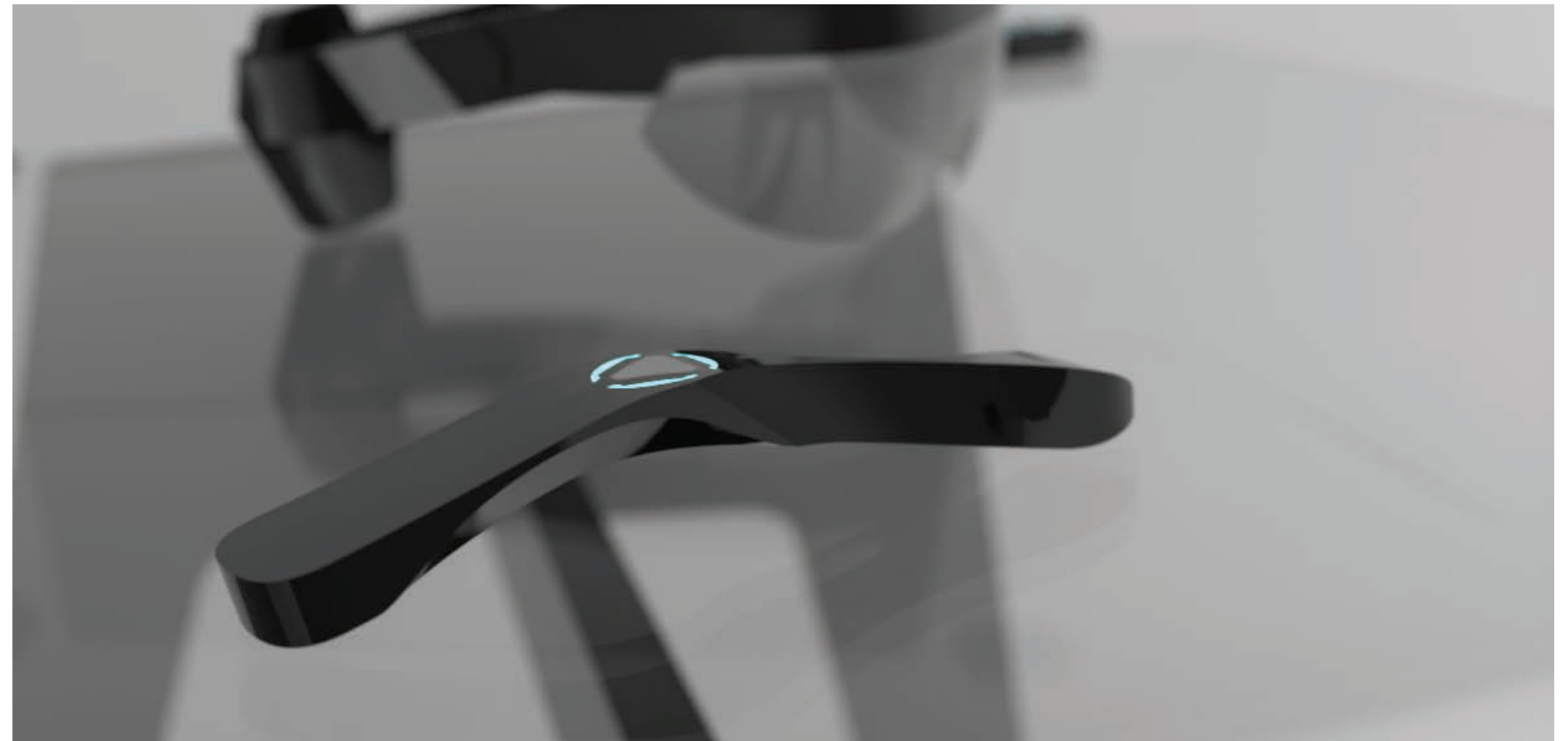
Kolem tlačítka jsou rozmístěné tři světelné ukazatele. Ty ukazují úroveň nabití baterie ovladače. Zároveň je na nich možné sledovat proces úkonů, jako je například synchronizace s AR prostorem.

Dobíjení pera se provádí položením na indukční plochu nebo připojením k ArOn lavici pomocí konektoru zabudovaným přímo v lavici.

Pero má dva způsoby použití:

Prvním je použití na ovládání a interakci s deskou lavice. Jedná se tedy o ovládání 2D prostoru. Pro tento účel je ve špičce hrotu pera umístěné tlakové čidlo, které reaguje při kontaktu hrotu s povrchem lavice.

Druhým je ovládání 3D prostoru pomocí tlačítka na hřbetu ovladače.

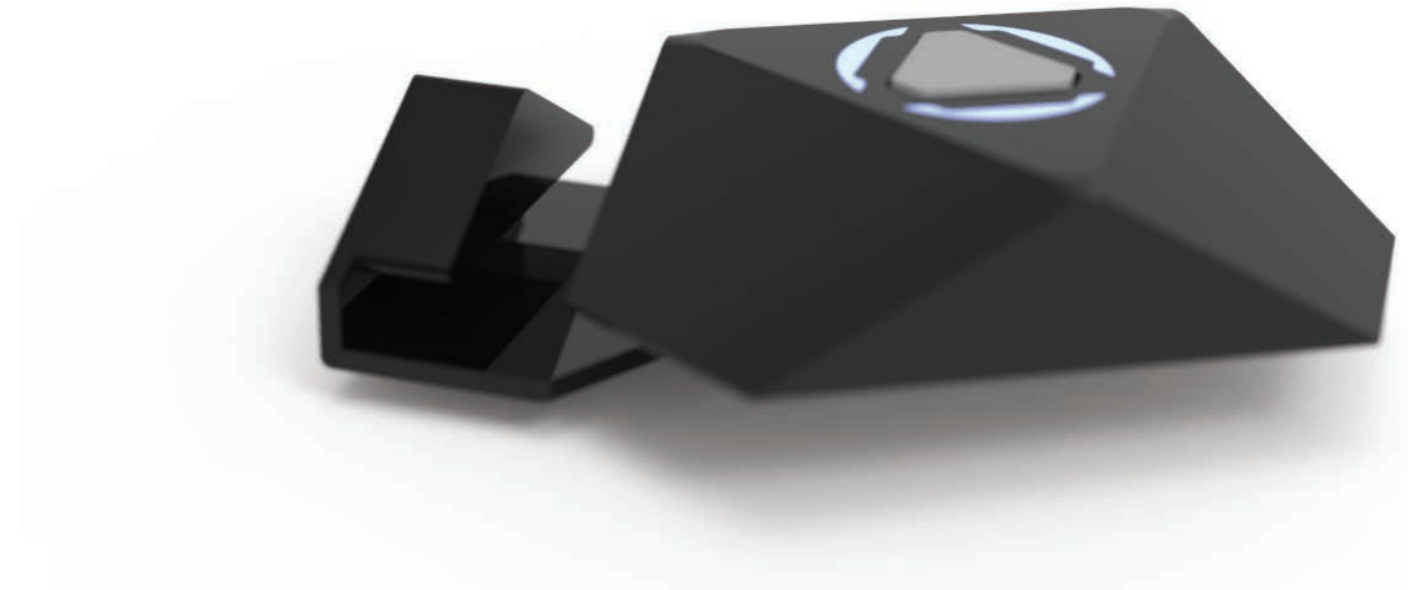
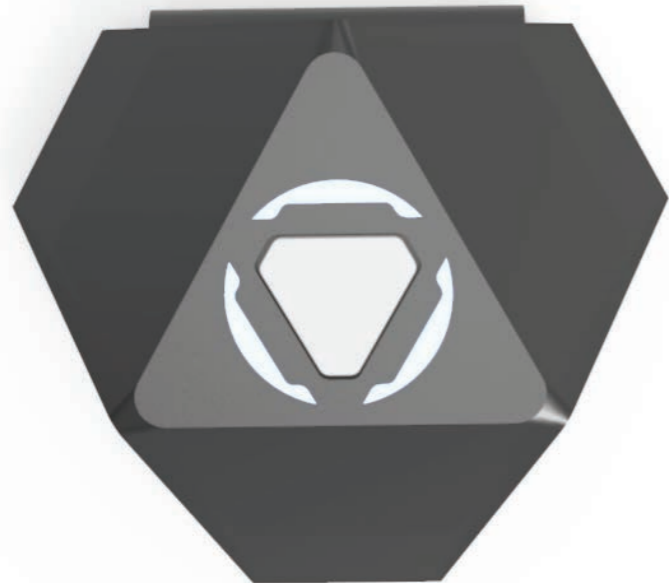


ArOn Tracker

Trackery jsou důležitou součástí hlavně při mapování jednotlivých pracovních ploch. Mezi čtyřmi trackery vzniká základní plocha pro zobrazování virtuálních simulací. Díky trackerům není potřeba mít brýle opatřené senzorem pro mapování okolního prostředí a ulehčí se tím celý výpočet simulace.

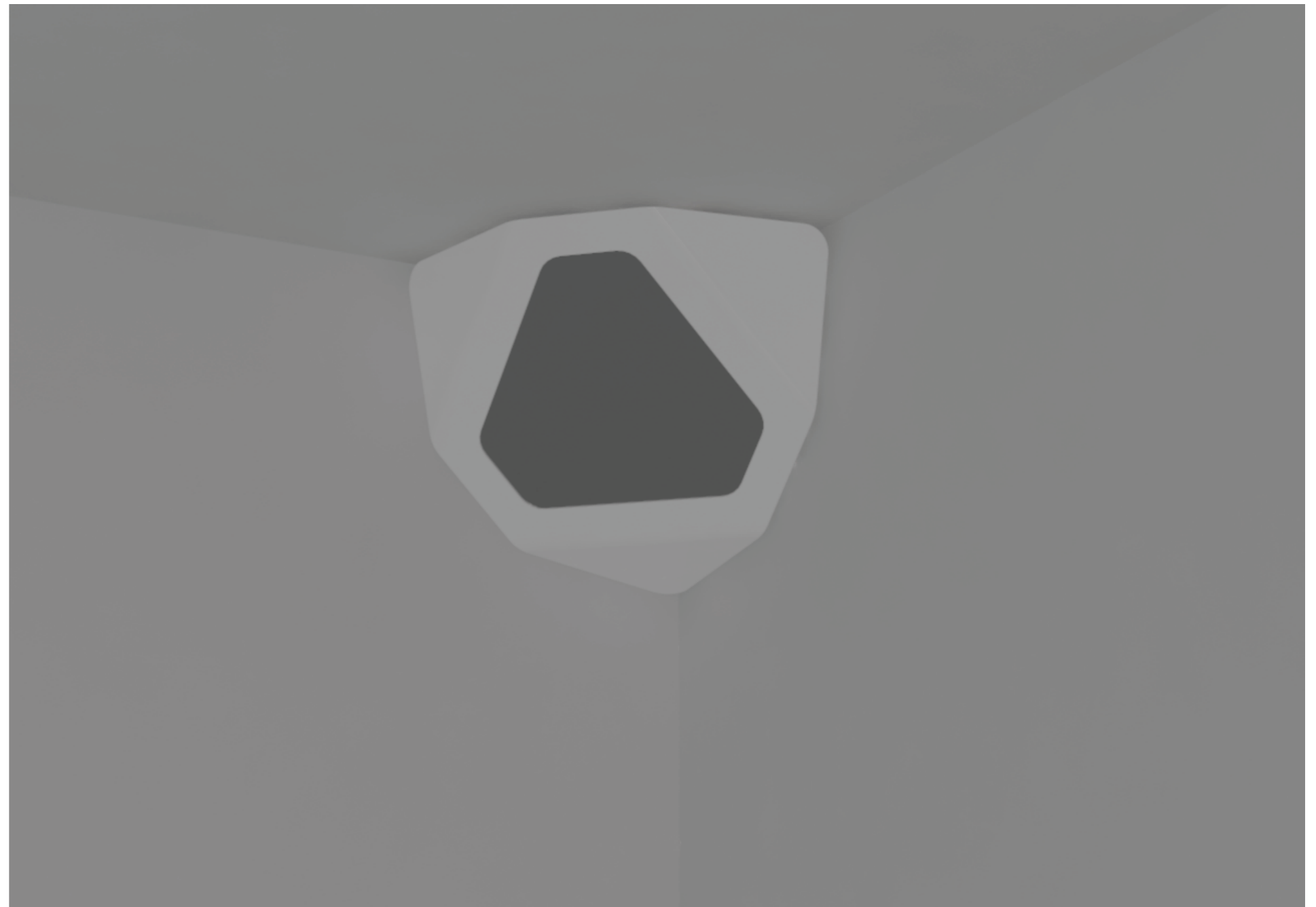
Každý tracker má dvě části: dobijecí dok a část opatřenou senzory a synchronizačním tlačítkem. Dobíjecí dok funguje zároveň jako nasouvací klips, který se upevňuje na desku stolu. Dok má v sobě zabudovanou baterii, kterou je možné nabíjet jak přes indukční napájení, tak přes konektor.

Tělo trackeru má tři nakloněné strany, aby se vytvořil lepší úhel mezi ním a laserovou stanicí na stropě nebo v rohu místnosti. Světelné kontrolky kolem tlačítka opět zobrazují stav baterie a světelně interagují při synchronizaci zařízení.



ArOn Lighthouse

Laserová stanice je navržena pro rohovou montáž, ale v případě nutnosti vyššího pokrytí ji lze instalovat na rovnou plochu stropu nebo stěny. Hustota stanic je závislá na možnostech počítače, ale pro učebnu 8x8 metrů je ideálních osm stanic. Čtyři v rozích místnosti a čtyři tvořící vnitřní kruh. Tím se zajistí dokonalé pokrytí laserovou sítí celé učebny a tak i správné reagování ovladačů.

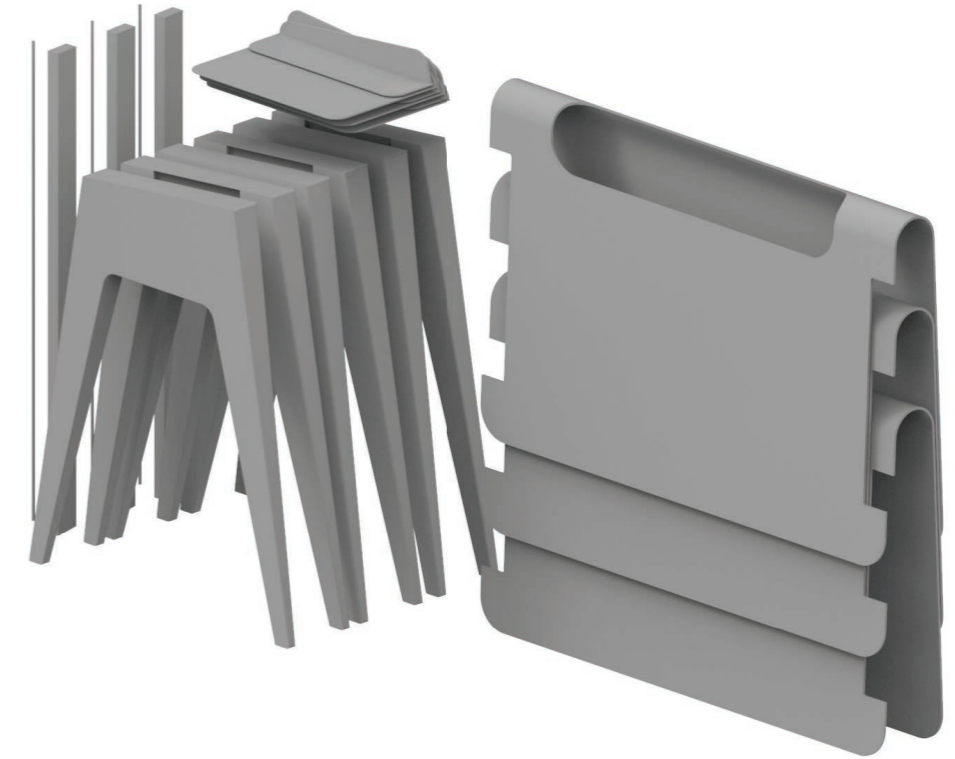


ArOn Desk

Lavice je navržena jako pracovní prostor pro jednoho studenta. Je plně rozebiratelná a deska stolu je stohovatelná. Nohy jsou vyrobeny z bukového masivu se zabudovanou elektronikou v horní části. Elektronika je izolována hliníkovým krytem.

Veškerá dobíjecí elektronika je soustředěna do podstavy lavice. V učebně se počítá se zásuvkami zabudovanými v podlaze, proto mají lavice ve všech nohách je prostor pro vedení napájecích kabelů se zástrčkou. Kabel se pak vede tou nohou, která je nejvhodnější v daném rozmístění a pozici.

Deska je navržena z ohýbaného čirého plexiskla pro autentičtější zobrazování hologramů. Zároveň se do nižší police mohou vkládat fyzické tiskoviny a nezabírají tak místo na pracovní ploše. Horní deska je nakloňená pro pohodlnější práci, navíc jsou na ní umístěny dvě indukčně dobíjecí plochy pro odložení brýlí a pera.



ArOn Headset

Brýle jsou nejdůležitější částí celé sestavy. Jsou navrženy pro co možná nejširší škálu uživatelů. Vzhledem k tomu jsou navrženy robustnější, tak aby je mohl nosit i uživatel nosící optické brýle.

Přední sklo se dá odklopit jednoduchým pohybem směrem vzhůru. Uživatel tak učiní v případě potřeby komunikace s jiným studentem nebo pedagogem. Sklo je poměrně velké a zároveň zasahuje i do periferního vidění. Větší plocha skla je zde z důvodu rozšíření zorného pole. Uživatel nemusí strnule koukat přímo před sebe, což by při delším pracovním nasazení mělo za následek oční problémy. V brýlích je tak možné se rozhlížet bez nutnosti otočení hlavy. Camery na čelní straně mají čistě podpůrnou funkci, protože celý systém běží na bázi outside-in trackingu, což znamená, že důležitější jsou fotosenzory umístěné na headsetu. Díky sensorům je možné vypočítat pozici pozorovatele a zobrazit mu tak správné rozmístění virtuálních prvků.

V zadní části se nachází menší výpočetní jednotka společně se spouštěcím a synchronizačním tlačítkem. V případě headsetu mají světelné ukazatele rozmístěné kolem tlačítka spíše estetickou funkci, protože stav baterie a průběhu synchronizace se ukazuje přímo v rozšířené realitě. V zadní části se nachází i kolečko pro regulaci velikosti brýlí.

Po stranách jsou v odklápěcí části brýlí zabudované reproduktory. Pro indukční napájení brýlí je na pracovní desce vyhrazena plocha, ale brýle se dají napájet i pomocí konektoru.



Tlačítko synchronizace

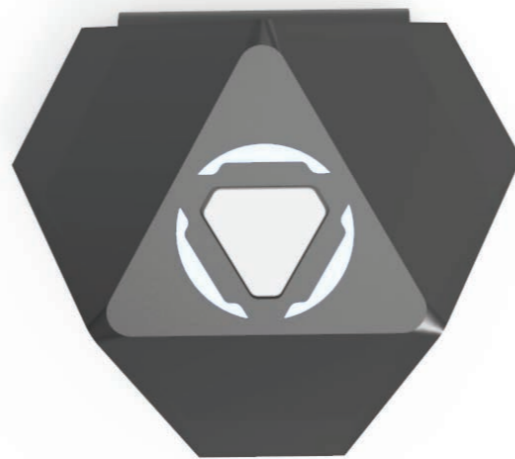
Důvodem toho, proč jsem začal řešit problematiku synchronizace, byla nutnost izolace jednotlivých ploch od sebe. Pokud by studenti dostali jako zadání samostatnou práci, učitel by měl možnost rozdělit simulaci na jednotlivé pracovní pozice. Student vidí pouze svou projekci a může ji ovládat pouze on a pedagog. Počítač tudíž musí rozeznat jednotlivé pracovní plochy a správně k nim přiřazovat další zařízení.

Samozřejmě všechny pracovní plochy jsou synchronizovány již během instalace, ale tato počáteční synchronizace by fungovala pouze do chvíle, než by se nějakou náhodou například prohodily dva ovladače. Následné hledání správné pracovní plochy by pak znamenalo ztrátu času určeného výuce. Další potíže by mohly nastat při vybití nebo poničení některého ze zařízení.

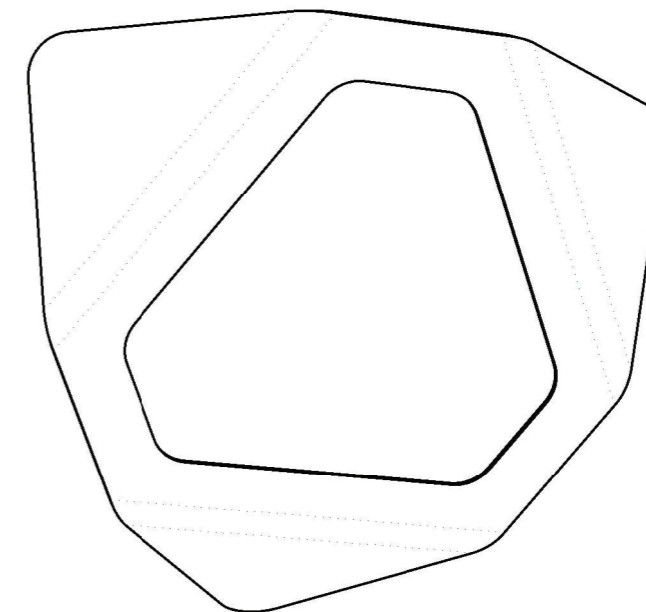
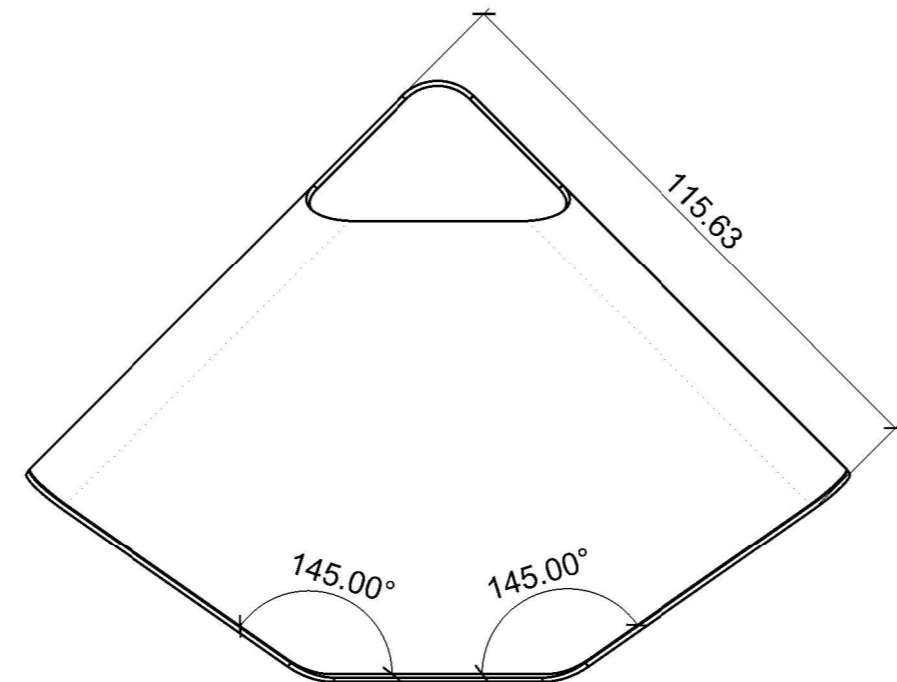
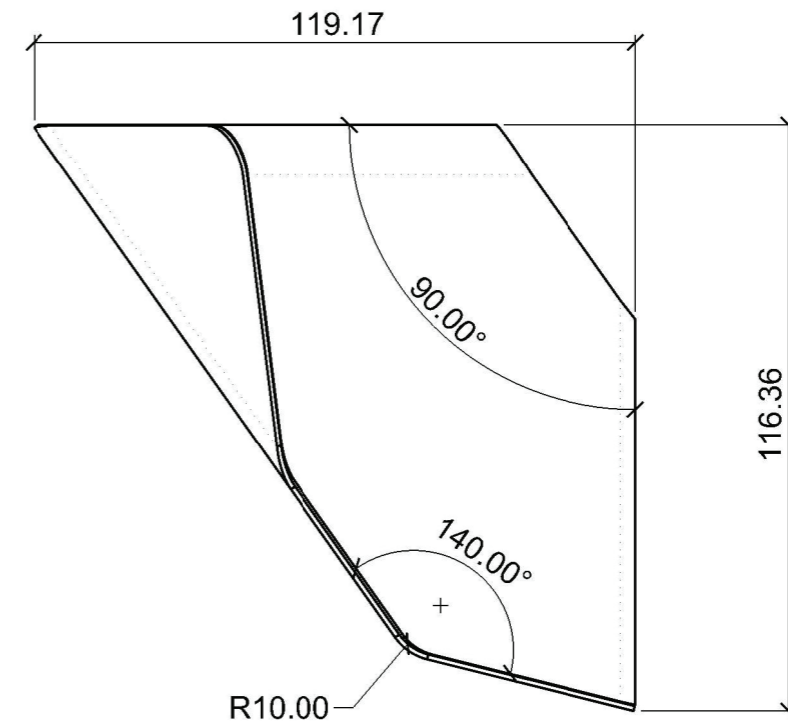
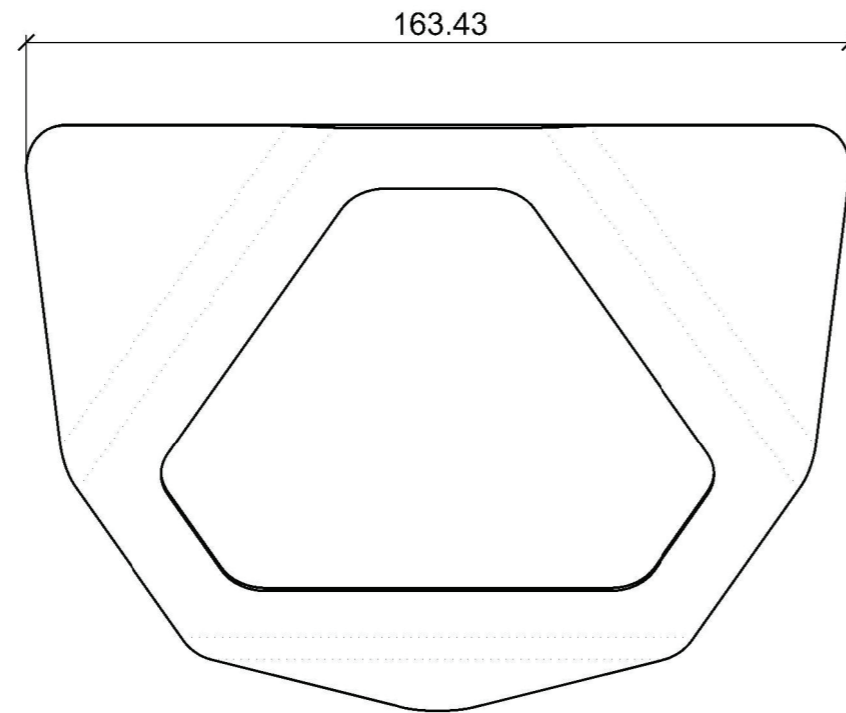
Proto jsem na každé zařízení přidal tlačítko synchronizace, kterým je možné propojit jednotlivá zařízení během několika málo vteřin.

Proces synchronizace je doprovázen světelným efektem tří kontrolkek rozmístěných kolem tlačítka. Při podržení tlačítka na dvou zařízeních, která jsou od sebe vzdálena méně než 30 centimetrů, se začnou kontrolky jednotlivě střídavě rozsvěcet po směru hodinových ručiček a při zdařilé synchronizaci se rozsvítí všechny najednou. Barvou synchronizace je fialová barva.

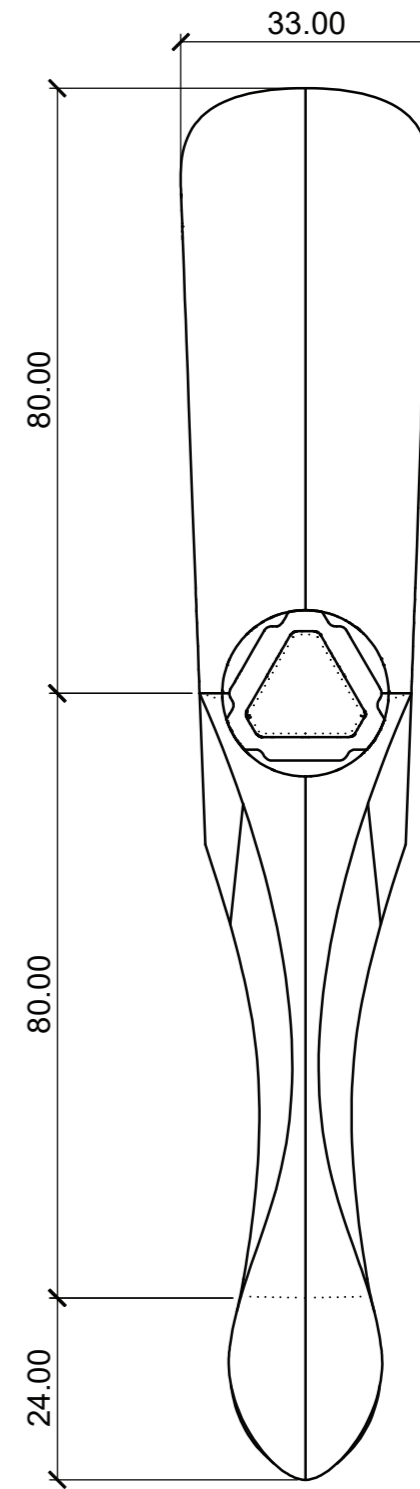
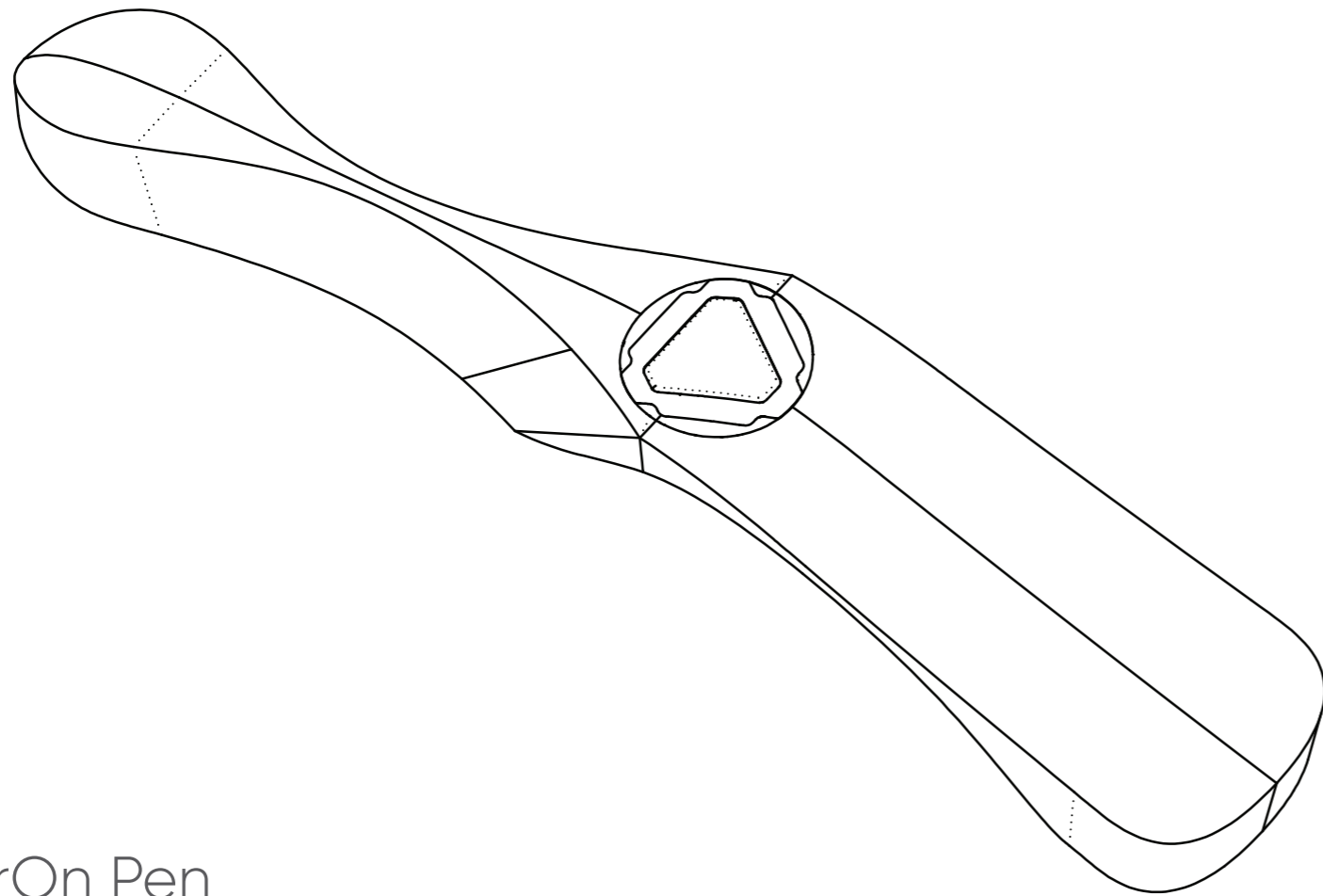
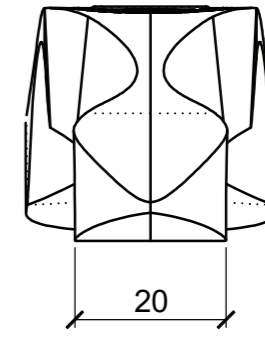
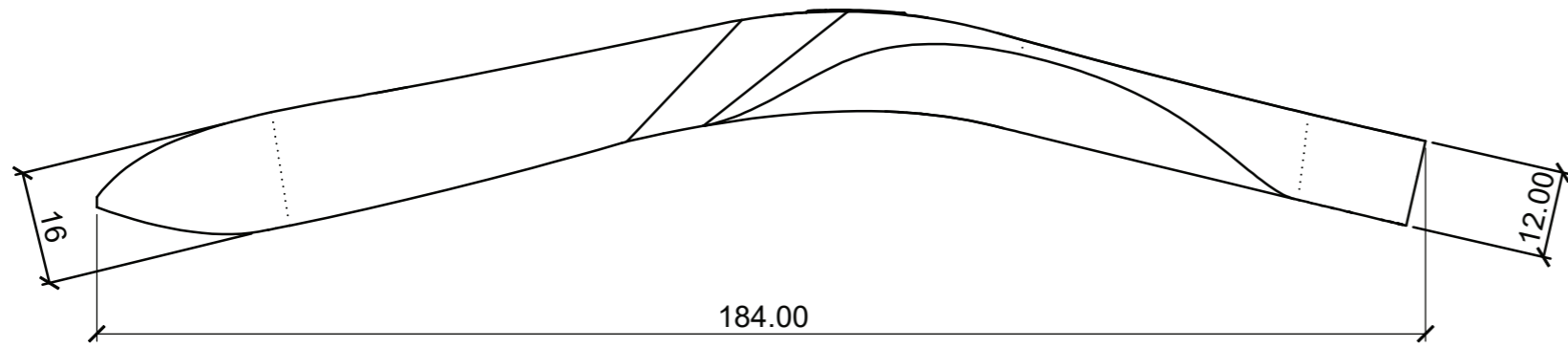
Během práce světelné kontrolky ukazují stav baterie jednotlivých zařízení. Modrá barva znamená kladnou hodnotu a červená zápornou. Kontrolky zhasnou pokud je prostředí rozšířené reality neaktivní.



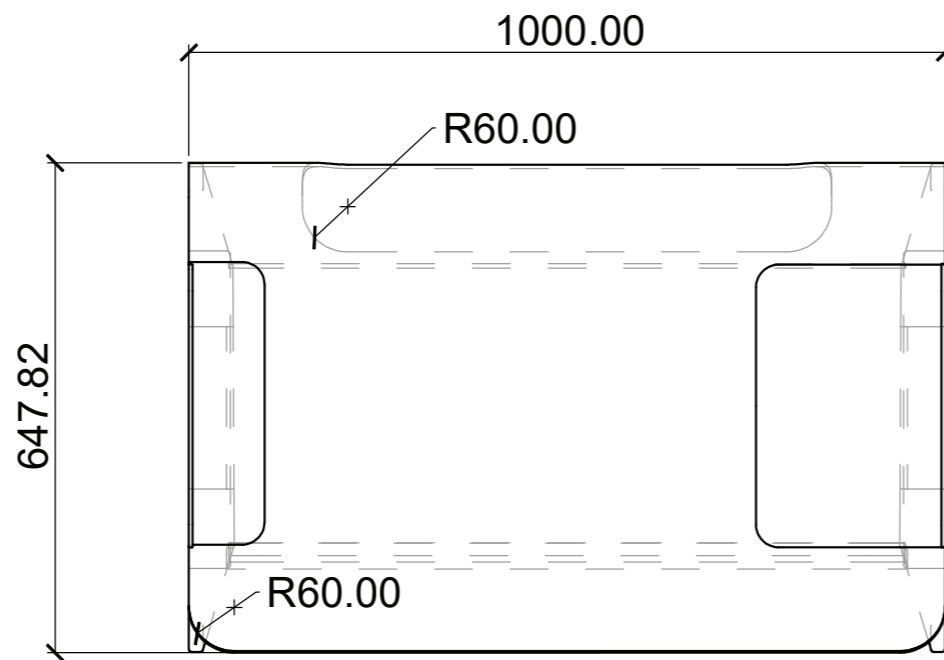
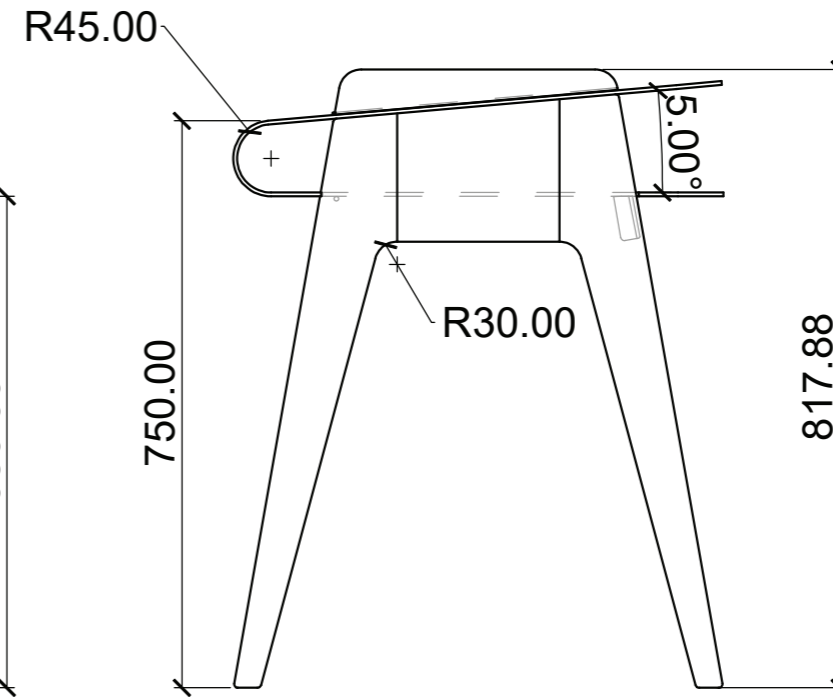
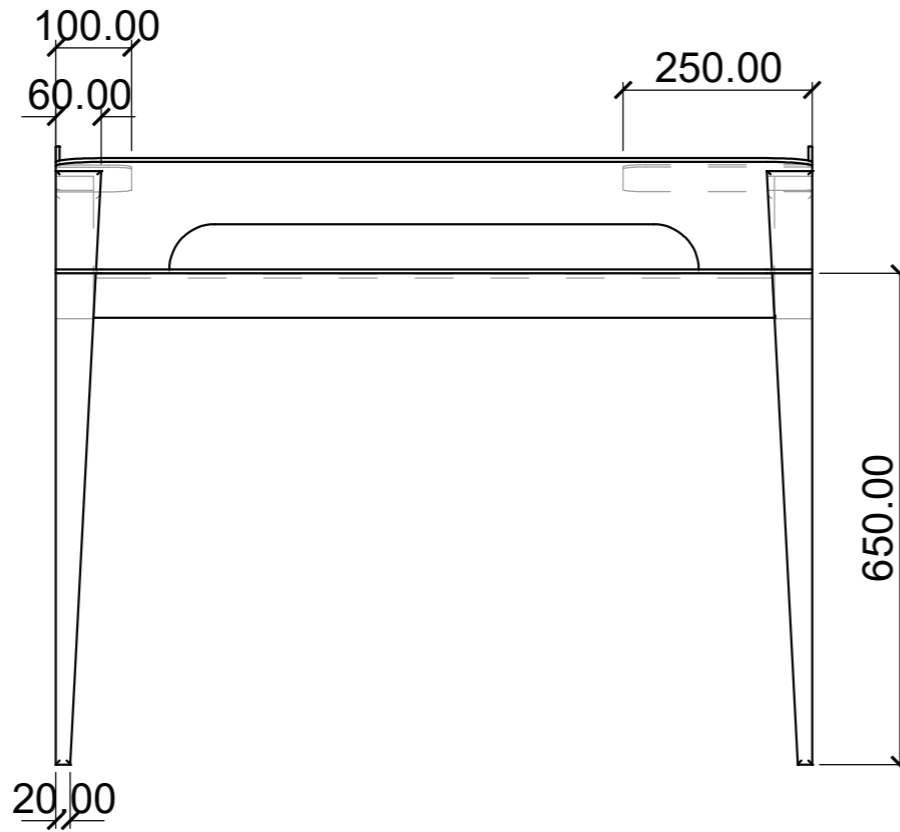
7. Výkresová dokumentace



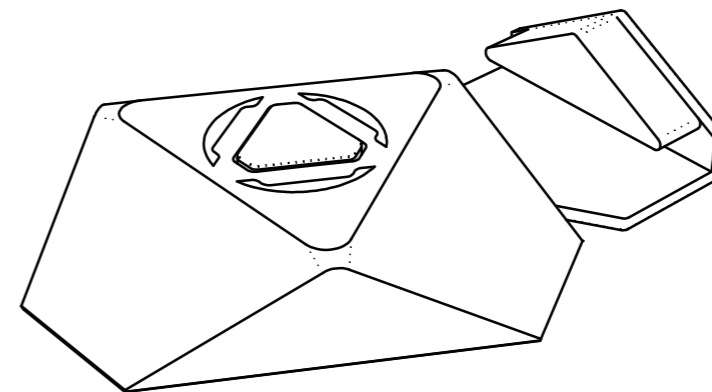
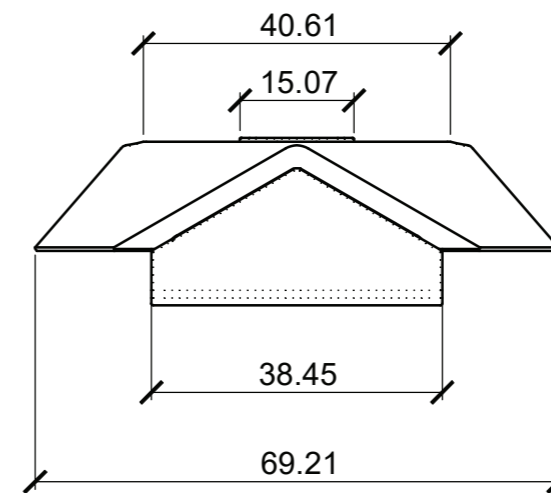
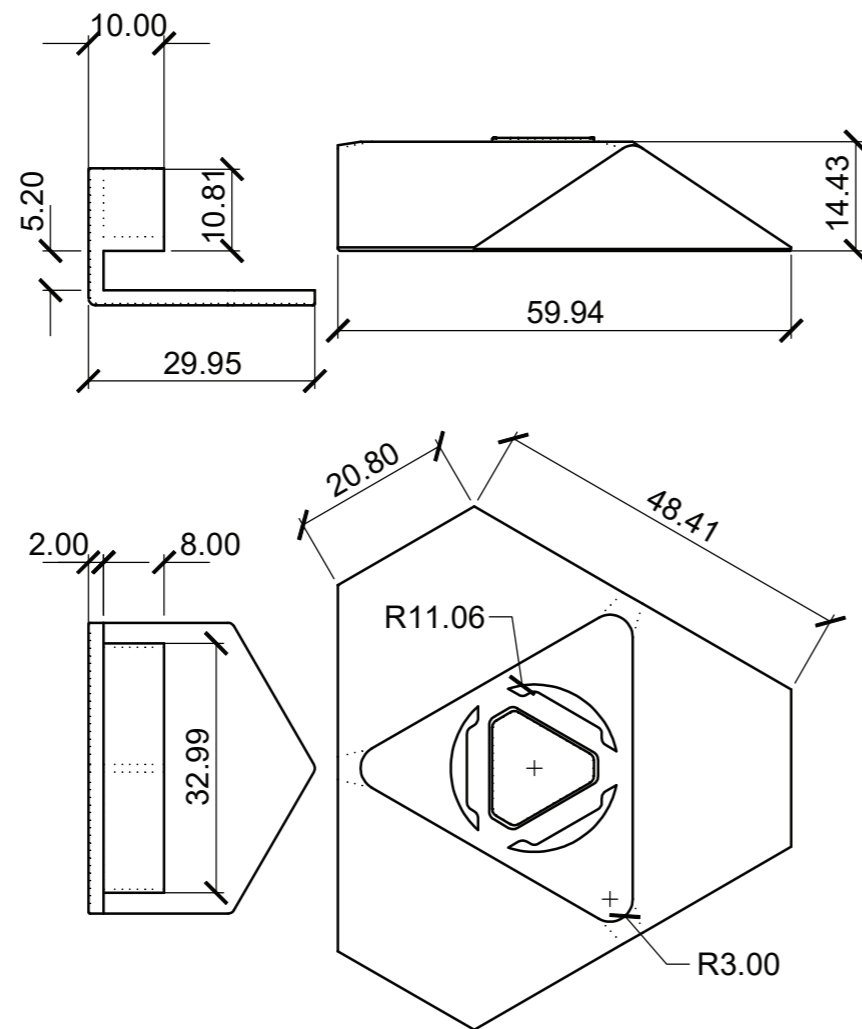
ArOn Lighthouse
M 1 : 1.5



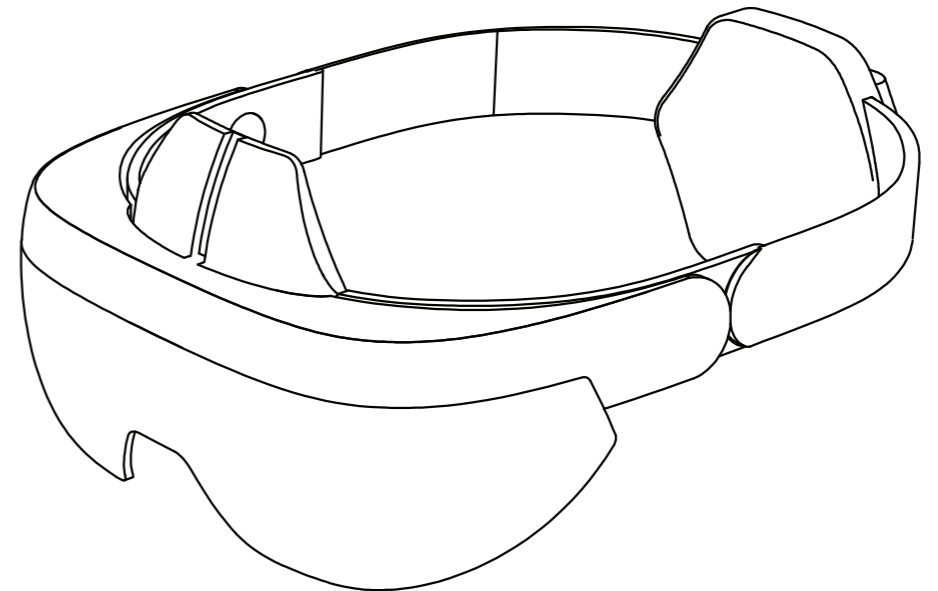
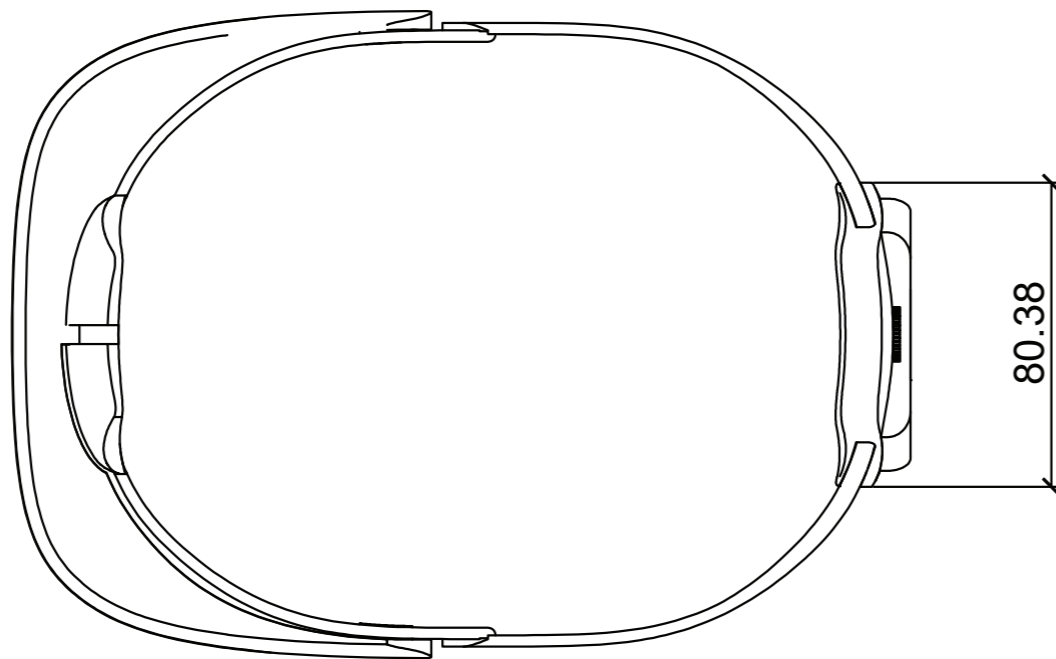
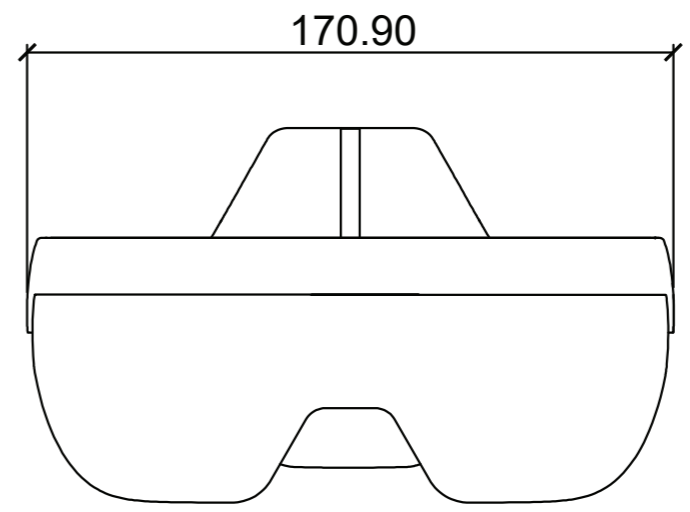
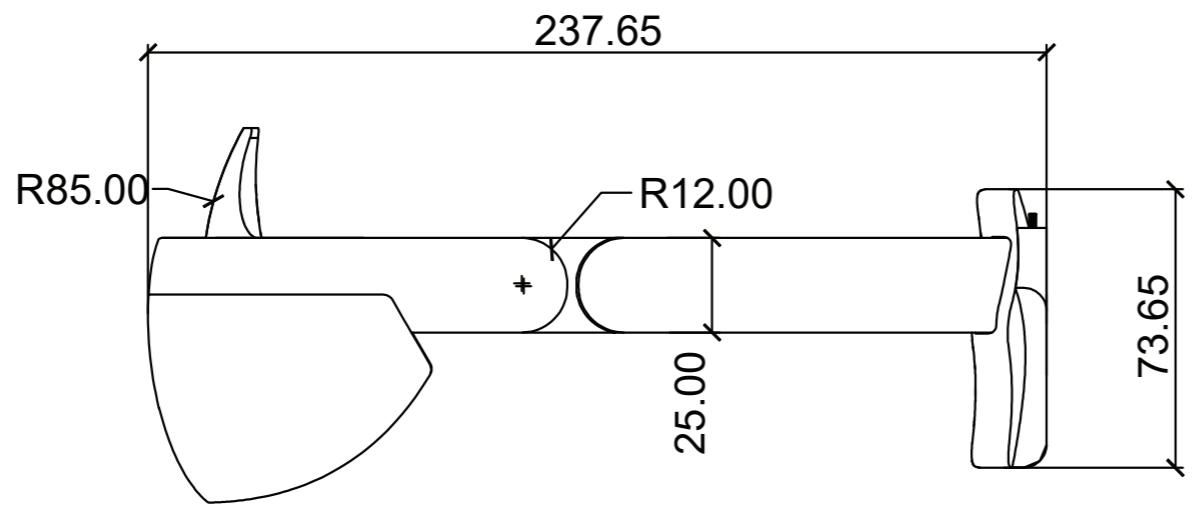
ArOn Pen
M 1:1



ArOn Desk
M 1 : 10



ArOn Tracker
M 1:1



ArOn Headset
M1:2

8. Závěr

Během vypracování mé práce jsem se seznámil se základní problematikou spojenou s VR, AR a MR technologií. Měl jsem možnost vyzkoušet si některé ze současných produktů na vlastní kůži. Tato zkušenost mi pomáhala v průběhu celé diplomové práce.

V úvodních krocích jsem uvažoval o návrhu kompletní učebny, ale po následném rozpracování a proměření jsem od návrhu učebny upustil, protože se nejednalo o řešení, které by neslo přílišné změny oproti současnému vzhledu učeben.

Dále jsem se zaměřil na podrobnější rozpracování prvků sestavy. Problém nastal u headsetu, kdy jsem si musel vytvořit odlitek hlavy, abych mohl headset upravovat do jemnějších detailů podle reálné tváře a docílit tak správné ergonomie.

Lavici jsem navrhoval podle ergonomických zásad a snažil jsem se u ní dosáhnout jednoduché a rezebiratelné konstrukce. Tento záměr se mi nakonec vydařil.

Zpočátku jsem měl problémy s návrhem trackeru a jeho uchycení na desku stolu. Mé konečné řešení je navrženo pro tloušťku stolní desky 5mm. V praxi bych tento problém řešil různými typy nasouvacího dílu.

Problematika VR technologií se ukázala komplexnější a proto jsem se nezabýval elektronickými částmi zařízení. Každý rok se totiž zmenšují a upravují a současná technologie bude v tomto oboru za tři roky zastaralá.

Zdroje:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Virtuální_realita
https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality
<https://www.youtube.com/channel/UCiDJtJKMICpb9B1qf7qjEOA>
<https://uploadvr.com>
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>

CLINE, Ernest, 2018. Ready Player One. Vyd. Libri GmbH

Obrázky:

- 1 <https://www.cnews.cz/ready-player-one-hra-zacina-recenze-film>
- 2 <https://i1.wp.com/sabervr.com/wp-content/uploads/2018/04/Virtual-Reality-Games.png?ssl=1https://jelvix.com/blog/vr-vs-ar-vs-mr>
- 3 <https://jelvix.com/blog/vr-vs-ar-vs-mr>
- 4 <https://www.windowscentral.com/dynamics-365-remote-assist-and-layout-mixed-reality-apps-hit-general-availability>
- 5 <https://d.ibtimes.co.uk/en/full/1492559/htc-vive-vr-test.png>
- 6 <https://www.wired.com/magazine/wp-content/imag>
- 7 https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama#/media/File:Sensorama_patent_fig5.png
- 8 <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama#/media/File:Sensorama-morton-heilig-virtual-reality-headset.jpg>
- 9 https://www.researchgate.net/figure/The-Sword-of-Damocles-circa-1968-Reprinted-from-Sherman-and-Craig-2003-with_fig6_260761455
- 10 https://en.wikipedia.org/wiki/VPL_Research#/media/File:VPL_DataSuit_1.jpg
- 11 https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Boy#/media/File:Virtual-Boy-Set.jpg
- 12 <https://vrroom.buzz/vr-news/guide-vr/ar-vs-vr-vs-mr-introductory-gui>
- 13 <https://delight-vr.com/xr-glossary/e>
- 14 <http://l3apq3bncl82o596k2d1ydn1-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/01/vive-tracker-ces5.jpg>
- 15 https://www.slashgear.com/wp-content/uploads/2019/02/Fullscreen_2_24_19__9_28_AM8.jpg
- 16 <https://www.roadtovr.com/analysis-of-valves-lighthouse-tracking-system-reveals-accuracy/>
- 17 <https://c.na25.content.force.com/servlet/servlet>
- 18 <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/418KA62AZML.jpg>
- 19 <http://metanautvr.com/wp-content/uploads/2017/07VRControllersBaselineComparison2C.png>
- 20 https://cs.wikipedia.org/wiki/Google_Glass#/media/File:Google_Glass_detail.jpg
- 21 <https://internetofbusiness.com/wp-content/uploads/2018/04/vaunt-640x353.jpg>
- 22 <http://media.bestofmicro.com/V/G/563596/original/Meta-Meta-2-Being-Worn-B.jpg>
- 23 <https://www.wired.com/story/magic-leap-one-creator-augmented-reality-inside-story/>
- 24 <https://www.theverge.com/2018/6/13/17458168/microsoft-hololens-2-details-rumors>
- 25 <https://planoinformativo.com/stock12/image/2019/FEBRERO/26/Microsoft%20gafas.jpg>
- 26 <https://www.kickstarter.com/projects/805968217/mix-the-smallest-ar-glasses-with-immersive-96fov>
- 27 <https://i.iinfo.cz/images/367/virtuplex-perex-1-prev.jpg>
- 28 <https://www.chip.cz/obrazky/fotoalbum/2019-02-virtuplex-by-etnetera/virtuplex-05.jpeg>
- 29