Webová virtuální realita: nový způsob prezentace geoprostorových dat

Diplomová práce

Jan Horák

Vedoucí práce: RNDr. Lukáš Herman, Ph.D.

Geografický ústav

**BRNO 202?(3)**



Bibliografický záznam

|  |  |
| --- | --- |
| Autor/Autorka: | Bc. Jan Horák  Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita  Geografický ústav |
| Název práce: | Webová virtuální realita: nový způsob prezentace geoprostorových dat |
| Studijní program: | Geografická kartografie a geoinformatika |
| Studijní obor: | Geografická kartografie a geoinformatika |
| Vedoucí práce: | RNDr. Lukáš Herman, Ph.D. |
| Akademický rok: | 2022/2023 |
| Počet stran: | xx |
| Klíčová slova: | Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo, Klíčové slovo |

Bibliografický entry

|  |  |
| --- | --- |
| Author: | Bc. Jan Horák  Faculty of Science, Masaryk University  Department of Geography |
| Title of Thesis: | Web virtual reality: a new way of presenting geospatial data |
| Degree Programme: | Cartography and geoinformatics |
| Field of Study: | Cartography and geoinformatics |
| Supervisor: | RNDr. Lukáš Herman, Ph.D. |
| Academic Year: | 2022/2023 |
| Number of Pages: | xx |
| Keywords: | Keyword, Keyword, Keyword, Keyword, Keyword, Keyword, Keyword, Keyword |

Abstrakt

Tato práce se zabývá..

Abstract

Bachelor thesis..

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Masarykova univerzita** |  |
|  |
| **Přírodovědecká fakulta** |

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**Student: Bc. Jan Horák**

**Studijní program: Geografická kartografie a geoinformatika**

**Studijní obor: Geografická kartografie a geoinformatika**

Ředitel Geografického ústavu Přírodovědecké fakulty MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

**Nazev**

Nazev -en

**Zásady pro vypracování:**

Práce bude zaměřena na technologie pro tvorbu virtuální reality v rámci webového prostředí (např. WebXR, Three.js). Tyto technologie jsou podporovány na různých hardwarových a softwarových platformách, jejich funkcionalita se může v různých podmínkách lišit. Na základě srovnání dostupných technologiích bude vybrána technologie pro vytvoření vlastní vizualizace prostorových dat z vybrané aplikační oblasti. Vytvořená vizualizace bude následně uživatelsky evaluována a zhodnocena tak její funkcionalita.

Pro naplnění hlavního cíle diplomové práce postupujte přes následující dílčí cíle:

1. Popis a analýza technologií pro tvorbu virtuální reality v rámci webového prostředí

2. Praktické porovnání konkrétních technologií na různých hardwarových a softwarových platformách

3. Návrh a implementace vlastní aplikace na principech virtuální reality

4. Uživatelské ověření vytvořené aplikace

5. Diskuse zjištěných výsledků a závěr

Rozsah grafických prací: ?

Rozsah průvodní zprávy: ?

Seznam odborné literatury:

BUTCHER, P. W. S., JOHN, N. W., RITSOS, P. D. (2021): VRIA: A Web-Based Framework for Creating Immersive Analytics Experiences. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, roč. 27, č. 7, s. 3213–3225. http://doi.org/10.1109/TVCG.2020.2965109

LAKONSO, D., ADITYA, T. (2019): Utilizing A Game Engine for Interactive 3D Topographic Data Visualization. ISPRS International Journal of Geo-Information, roč. 8, č. 8. https://doi.org/10.3390/ijgi8080361

RZESZEWSKI, M., ORYLSKI, M. (2021): Usability of WebXR Visualizations in Urban Planning. ISPRS International Journal of Geo-Information, roč. 10, č. 11. https://doi.org/10.3390/ijgi10110721

STACHOŇ, Z., KUBÍČEK, P. HERMAN, L. (2020): Virtual and Immersive Environments. Wilson, J. P.: The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge. Ithaca, New York, UCGIS. https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/virtual-and-immersive-environments

SEO, D., YOO, B. (2020): Interoperable information model for geovisualization and interaction in XR environments, International Journal of Geographical Information Science, roč. 34, č. 1. s. 1–30. https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1706739

ŠTĚRBA, Z., ŠAŠINKA, Č., STACHOŇ, Z., ŠTAMPACH, R., MORONG, K. (2015): Selected Issues of Experimental Testing in Cartography. Masaryk University, Brno, 107 s., ISBN 978-80-210-7909-0.

*Jazyk závěrečné práce:* čeština

*Vedoucí bakalářské práce*: RNDr. Lukáš Herman, Ph.D.

|  |  |
| --- | --- |
| *Datum zadání diplomové práce*: | ? |
| *Datum odevzdání bakalářské práce*: | podle harmonogramu |

RNDr. Vladimír Herber, CSc.

pedagogický zástupce ředitele ústavu

Poděkování

Lukáš Herman, … atd.

Prohlášení (dodelat odsazení podle délky poděkování)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou/diplomovou práci vypracoval(-a) samostatně pod vedením RNDr. Lukáše Hermana, Ph.D. a s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno … 2023 Jan Horák

|  |
| --- |
| Jméno Příjmení |

OBSAH

--- obsah až bude ---

# Úvod

Legenda

Text – Rozpracovaný text – nutno dodělat předělat atd.

## Cíle práce

Hlavním cílem této práce je vytvoření a následná uživatelská evaluace funkcionality webové aplikace využívající prostředků virtuální reality, jakožto nástroje k prezentaci geografických dat. Sekundárním cílem práce je analýza a následné zhodnocení soudobých technologií, a to jak hardwarových (HMD, mobilní telefony, stolní počítače) tak softwarových (webové prohlížeče, knihovny, frameworky) a jejich propojení, umožňujících tvorbu virtuálních prostředí s geografickou konotací v rámci webového prostředí. Mimo výslednou vizualizační aplikaci by výstupem práce bude i odborné doporučení, jaké technologie jsou vhodné s ohledem na zvolený účel.

Práce bude rozdělena do dílčích výstupů

* Popis analýza a porovnání technologií umožňujících publikaci geografických dat na základě konceptů virtuální reality ve webovém prostředí.
* Návrh a implementace vizualizace (čeho!!)
* Uživatelské testování použitelnosti vytvořené aplikace.

### Výzkumné otázky

#TODO – jak správně formulovat

Je virtuální realita ve webovém prostředí vhodným prostředkem pro prezentaci geografických dat?

Jsou současné technologie umožňující tvorbu virtuální reality ve webovém prostředí vhodné pro prezentaci geografických dat?

* Jak dostat klasická geo data do VR prostředí
  + Jaká jsou klasická geo data
  + Jak dostat tato prostředí na web
    - Jaké jsou technologie

# Metodika

Vlastní vizualizace bude vytvořena na základě podrobného průzkumu technologií v kontextu geografické vizualizace. Není možné vytvořit funkční mapu / vizualizaci / aplikaci, bez důkladného promyšlení příčin, které předurčují splnění účelu dané práce (Sterba et al. 2015). Z tohoto důvodu je nutné identifkovat geoprostorová témata pro která je vhodné využit vizualizace v rámci virtuální reality. Na základě těchto témat je nutné určit, jaká využívají geografická data a jaké dopady mají formy[[1]](#footnote-1) těchto dat na volbu postupů a technologií při jejich vizualizaci. Právě tyto prerekvizity a další specifické jako je aktuálnost, standardizace otevřenost aj. je nutné mít na paměti při analýze a následném výběru technologií pro vizualizaci. Za účelem úspěšného vývoje aplikace byla vytvořena sada požadavků a omezení.

Možná vynechat – bude podrobně v textu – podle počtu stránek

# Rešerše – Současný stav řešené problematiky

Za účelem získání obecného přehledu o problematice je vhodný průzkum obecných publikací jednak z oblastí počítačové grafiky (Žára, Beneš, Felkel 2005; Marschner et al. 2021), geoinformační vědy (Guo, Goodchild, Annoni 2020; Bolstad 2019; Kresse, Danko 2012; Longley et al. 2015), kartografické geo-vizualizace (Slocum 2014; Çöltekin et al. 2020a; Christophe 2020; Dykes, MacEachren, Kraak 2005), webových technologií (Dorman 2020) a virtuální / rozšířené reality (Milgram, Kishino 1994; LaValle 2020; Sherman, Craig 2019; Mazuryk, Gervautz 1999).

Koncept virtuální reality obecně představují výše uvedené publikace. Z hlediska geoinformatiky a geografie je vhodnější koncept virtuálních geografických prostředí, tedy VGE (*virtual geographic environment*) tento způsob pohledu představují (Stachon, Kubicek, Herman 2020; Çöltekin et al. 2020b; Batty 1997; Lin, Batty 2011; MacEachren et al. 1999; Blokdyk 2018; Lin et al. 2013).

Prerekvizitou úspěšné geoprostorové vizualizace, jak tradiční, tak v rámci virtuálních prostředí, je podrobné porozumění vstupním datům tedy datovým modelům, metodám zpracování a výměny mezi technologiemi (Keil et al. 2021). Jelikož předností virtuální reality je prezentace více rozměrných dat (šířka, délka, výška, popř. jiná veličina). Základy modelování takových to dat řeší (Abdul-Rahman, Pilouk 2008). Problematiku převodu 2D do 3D dat rozebírá (Halik 2018). Kompletní postup od získání geoprostorových dat přes integraci po jejich vizualizaci představují (Zhao et al. 2019; Laksono, Aditya 2019; Herman 2011; 2014; Buyuksalih et al. 2017; Keil et al. 2021). (Cibula 2021) řeší vývoj webového informačního systému pro publikaci 2D a 3D dat. Mimo samotná data je také nutné mít na paměti kartografická pravidla a principy při vizualizaci především 3D dat (Pegg 2008).

Proto aby vizualizace plnila svůj účel je nutné, aby byla přístupná uživatelům. Přístupnost v kontextu této práce představuje publikace vizualizace ve webovém prostředí. Problematikou rozšířené reality ve webovém prostředí se zabývá (Maclntyre, Smith 2018). Podrobný návod tvorby VR prostředí na webu představuje (Baruah 2021). (Butcher, John, Ritsos 2021) představuje webový framework pro tvorbu obecných vizualizací dat ve VR na webu. V případě VGE je často řešena problematika distribuovaných *kolaborativních* prostředí v rámci rozšířené reality. Obecně tuto problematiku řeší í (Lee, Yoo 2021; Šašinka et al. 2019), v geoinformačním kontextu pak (Sermet, Demir 2021). #TODO Mozila Hubs aj.

Za účelem vhodného výběru technologie pro vývoj XR aplikace pro prezentaci geoprostorových dat je vhodný široký průzkum případových studií a jejich následná typologie na základě tematického zaměření, ale i využité technologie. Vizualizaci terénu pomocí herních enginů řeší (Mat et al. 2014). Komplexnější scény za pomocí herních enginů pak představují (Ugwitz, Stachoň, Kubicek 2021; Laksono, Aditya 2019; Keil et al. 2021). Vizualizace terénu je řešena pomocí webových technologií v (Herman, Řezník 2015) #TODO – víc

Široké využití nachází 3D vizualizace a XR v urbánních prostředích a to v různých odvětvích např. urbánní plánování, architektura, meteorologie aj. Vizualizaci 3D city modelů napříč projekty shrnuje (Julin et al. 2018; Herman 2014). Koncept AR aplikace pro terénní urbánní plánování shrnuje (Cirulis, Brigmanis 2013). V oblasti meteorologie využívá 3D vizualizace (Gautier, Christophe, Brédif 2020; Gautier, Brédif, Christophe 2020), v kontextu plánování umístění větrných elektráren pak (Rafiee et al. 2018). V případě územního plánování se využitím 3D vizualizace zabývá (Judge, Harrie 2020). – Dodělat až bude větší přehled – vybrat jen relevantní !!

V rámci územního plánování je 3D vizualizace často zmiňována v kontextu zvýšení participace veřejnosti na vývoji územního plánu. Autoři (rozdělit na 3D a XR) (Judge, Harrie 2020; Onyimbi, Koeva, Flacke 2018; Rzeszewski, Orylski 2021) považují 3D vizualizace za přínosné v tomto ohledu.

#TODO 3D data

#TODO Webdev

#TODO Usability and user testing

# Teoretické základy

## Virtuální realita

Definovat koncept virtuální reality je obtížný úkol, převážně z důvodu, že se jedná o široký a z pohledu specifických technologií rychle měnící se pojem. Definice je navíc rozdílně interpretována napříč. obory, které se jí zabývají. Sherman a Craig definují virtuální realitu následovně:

Virtual reality: a medium composed of interactive computer simulations that sense the participant’s position and actions and replace or augment the feedback to one or more senses, giving the feeling of being mentally immersed or present in the simulation (a virtual world). (Sherman, Craig 2019)

Důležitým konceptem je pak také chápání virtuální reality jako zážitku (*experience*), jelikož virtuální realita je reálná až v případě, kdy jí někdo (Účastník) zažívá / vnímá. Jakožto zážitek definuje virtuální realitu i LaValle následovně:

Inducing targeted behavior in an organism by using artificial sensory stimulation while the organism has little or no awareness of the interference. (LaValle 2020)

V oblasti kartografie pak virutální realitu popř. virtualitu v návaznosti na virtuální geografická prostředí (VGE) definuje MacEachren pomocí 4 I virtuální reality (MacEachren et al. 1999) a to:

1. **Imerze**
2. **Interaktivita**
3. **Informační intenzita**
4. **Inteligence objektů**

Definice Shermana a Craiga pohlížející na virtuální realitu více z pohledu zážitku stejně jako LaValle, je založena na 5 klíčových elementech:

1. **Účastník**
2. **Tvůrce**
3. **Virtuální svět / prostředí**
4. **Imerze**
5. **Interaktivita**

**Virtuálním světem** Sherman a Craig chápou kolekci objektů, pravidel a vztahů mezi objekty v prostoru. Jedná se tedy o jakýkoliv virtuální svět, který je prezentování **účastníkovi** skrze médium virtuální reality. V případě, že virtuální svět je vytvořen na základě reálného / geografického, je možné mluvit o virtuálním geografickém prostředí (VGE). **Imerzi** Sherman a Craig rozdělují na **mentální** a (stav zapojení do virtuální reality) **fyzickou** (stimulace senzorů). Dohromady imerzi pak definují jakožto: pocit bytí ve virtuálním prostředí. LaValle definuje stejný koncept pomocí termínu *Awarness:* tedy míru do jaké je uživatel oklamán, že je součástí virtuální reality. **Interaktivita** je podle Shermana a Craiga klíčovým prvkem k autenticitě virtuální reality. LaValle interakci konkretizuje pomocí toho, zdali **účastník** má vliv na virtuální realitu, a to na *open-loop* (nemá vliv) a *closed-loop* (má vliv). Míra interakce se liší na základě zvoleného média (technologie) pomocí které je virtuální realita vytvořena. Výše zmíněné koncepty je možné přímo překrýt s MacEachrenovy, kromě konceptu **informační intenzity** a **inteligence objektů,** a to především protože se tyto koncepty vztahují více k VGE nežli k obecnému konceptu virtuální reality. **Informační intenzitou** je myšlena míra abstrakce vytvořeného virtuálního prostředí od prostředí reálného (viz dále LOD a LOA). Inteligencí objektů se pak chápe míra do jaké jsou objekty ve virtuálním prostředí schopny interakce na základě různých vjemů (např. vzdálenost od účastníka aj.) (Stachon, Kubicek, Herman 2020).

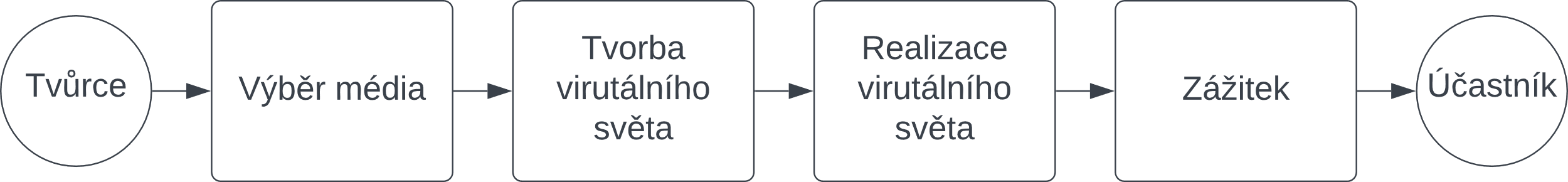
Důležité je objasnit mimo definice i zužívanou terminologii. LaValle pod termín virtuální reality řadí termíny AR (*Augmented reality*), MR (*Mixed reality*) a XR (*Extended reality*). Tyto termíny jsou obecně vnímány jako distinktivní body na *virtuálním kontinuu* (Milgram, Kishino 1994). MR a XR jsou pak považovány za generalizace VR, AR a jiných termínů nacházejících se na virtuálním kontinuu. XR je považován za novější termín, který zaštiťuje ostatní více z pohledu technologického než koncepčního. Na konkrétní definice se názory napříč literaturou různí. Do termínu virtuální reality LaValle zahrnuje i termín *virtual environments,* který je preferován v akademickém prostředí, v geografii tedy pak VGE. Při tvorbě virtuální reality však klade více důraz na termín *perception engeneering*, tedy na korektní tvorbu samotného zážitku, více nežli na tvorbu virtuálního prostředí.

Z hlediska této práce budou využívány termíny virtuálních prostředí, popř. virtuálních geografických prostředí (viz. pozdějí), jelikož zaměřením této práce je vizualizace reálných dat v rámci virtuálních prostředích. Z technologického hlediska pak bude využíván i termín XR, ale to více ve smyslu konkrétní technologie např. WebXR API (viz. později).

(Sherman, Craig 2019; Milgram, Kishino 1994; Mazuryk, Gervautz 1999).

## Virtuální realita a mapy jako komunikační médium

Virtuální realita je médium, tudíž je možné ji chápat jako formu mezilidské komunikace a dále zkoumat její vztah k dalším formám komunikace (Sherman, Craig 2019). V rámci kartografie je možné obdobné definice najít ve dvou teoretických koncepcích kartografie, a to v informační a komunikační teorii mapy, které byly rozpracovány již 60. letech minulého století (Kubíček, Stachoň 2009). Teorie kartografické komunikace představuje mapu jako prostředek komunikace, kdy tvůrce je „odesílatelem“ informace a čtenář příjemce (Kubíček, Stachoň 2009). Sherman a Craig tuto myšlenku představují obecněji na různých formách medií. Společný je však fakt, že se jedná o lineární proces (Koláčný 1969), kdy tvůrce myšlenky si vybere médium (film, mapa, virtuální realita atd. ), následně vytvoří virtuální svět (příběh, reprezentace prostoru na mapě, reprezentace prostoru v počítači), který nás ledě realizuje pomocí technologií příslušící danému médiu, čímž vytváří pro účastníka jedinečný zážitek (Sherman, Craig 2019).



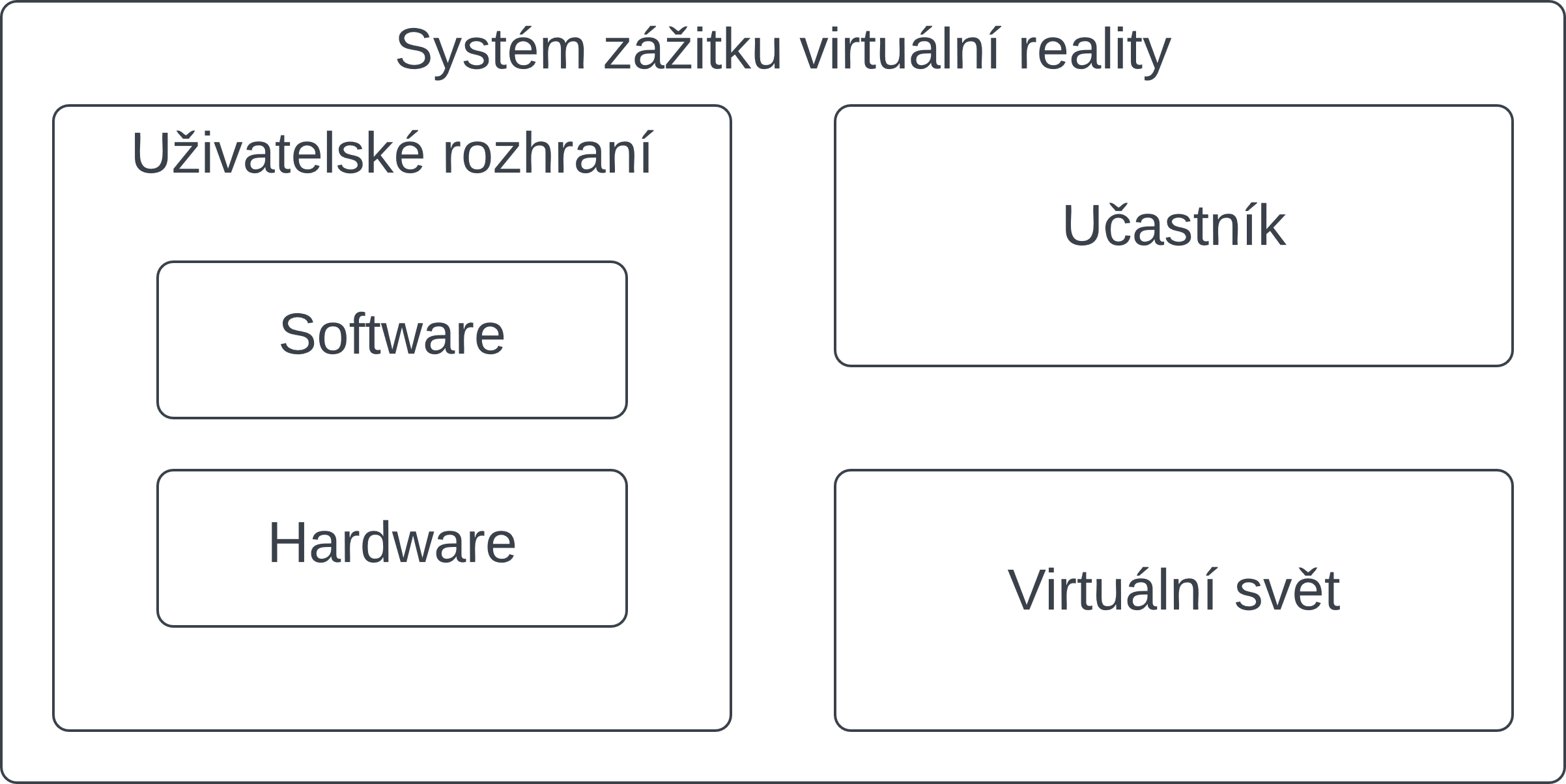
Obr. 1 Základní model komunikace skrze médium. (vytvořeno podle: Sherman, Craig 2019)

Výše zmíněný model, však není možné zcela aplikovat v případě přidání konceptu interaktivity a vlivu účastníka na tvorbu zážitku. Stejná problematika se vyskytuje i v dalších názorech na teorii kartografické komunikace (Slocum 2014; MacEachren 2004).

Kubíček a Stachoň představují myšlenku rozšíření komunikačních možností mapy skrze nové technologie (web, aj.), pomocí tohoto rozšíření pak představují skutečnost, kdy účastník má mnohem větší vliv na tvorbu mapy (komunikačního média) (Kubíček, Stachoň 2009). V tomto případě autoři zkoumají interaktivní kartografické vizualizace ve webovém prostředí, skrze prizmat využití map podle (MacEachren, Taylor 1994). V případě této práce se jedná o obdobné zhodnocení, kdy je však medium mapy, jakožto medium komunikace prostorové informace, „nahrazeno“ médiem virtuální reality popř. virtuálním geografickým prostředím.

## Systém virtuální reality -

Systém vytvářející virutální realitu je možné rozdělit na komponenty. Sherman a Craig jej dělí na:



Obr. 2 …

#TODO

LaValle rozděluje system virtuální reality na obodbné komponenty a to: hardware, software a účastník – ve smyslu psychologie a percepce. Dále pak popisuje system pomocí pseudo komponentového diagramu, kde vjemy z reálného světa jsou nahrazeny tzv. *virutal world generator,* tedy komponentou která vytváří alternativní prostředí (může být VGE). Následně pak pomocí komponenty displeje, který je specifický pro daný smyslový orgán je percepce reálného světa nahrazena světem alternativním.

Diagram

Description automatically generated

Diagram

Description automatically generated

#TODO – upravit na česky

POZN.: 6 DOFs Každý smyslový orgán tzv. *configuration space,* což jsou všechny způsoby, jakými se může být transformován nebo konfigurován. Smyslový orgán má vůči vnějšímu světu 6 (degrees of freedom).

Zmíněný VWG (*virutal world generator*) je tedy softwarová komponenta, která vytváří „jiný svět“, jímž může být kompletně syntetický svět, záznam existujícího světa a vše mezi tím. Člověk pak vnímá daný svět skrze jednotlivé smyslové orgány, které přejímají informaci z jednotlivých displayů (v tomto případě myšleno v obecném slova smyslu, tedy i sluchátka jsou displayem pro sluch). Proces převodu VWG na display se pak nazývá *rendering.* Úspěšným VR systémem se pak rozumí takový systém, který je schopný do určité míry nahradit reálný svět světem vytvořeným. (LaValle 2020)

### Hardware

LaValle dělí hardware na 3 kategorie a to: displaye (výstup), sensory (vstup) a výpočetní jednotky (*processing unit*). Specifický displej pro každý smyslový orgán, na který se daný systém soustředí. Nejdůležtějším je zrak, způsoby, jakými je tento smysl ovládán se liší na základě samotného hw zařízení. V případě HMD se jedná o LED obrazovky s vysokým rozlišením nastavené blízko očí a zaostřeny skrze čočky.

V případě HMD sensorů je nutné sledovat (track) pozici a orientaci daného smyslového orgánu, aby bylo možné vhodně upravit stimulus. Orientace je měřena pomocí IMU (*intertial measurement unit*), podrobněji pomocí gyroskopu a akcelometru. Další z klíčových vstupů sensorů je snímání okolí, části lidského těla nebo i celé postavy pomocí digitálních kamer a tzv. *depth* kamer využívající infračerveného záření. Mimo kamery pak součástí VR hardwaru jsou i mechanické vstupy jako klasické klávesnice, myš a jiné kontrolery.

Výpočetní jednotka, je klíčová v případě *body-fixed* hw. Hlavní dělení je tedy v tom, kde je výčetní jednotka, na které je VWG spouštěn, jestli v rámci displaye (HMD) či na externím počítači.

### Software

LaValle zmiňuje, že v ideálním případě by bylo vhodné, aby existoval nějaký specializovaný *VR engine*, díky němuž by vývoj VR systémů nemusel obsahovat nízko-úrovňové problémy (integrace HMD, aj.). Právě odhalení vhodné kombinace softwarových technologií pro tvorbu VR systému ve webovém prostředí je jedním z cílů této práce. Více viz. porovnání SW.

Diagram

Description automatically generated

### Účastník – percepce a fyziologie

Percepce se uskutečňuje po převodu podnětů smyslovými orgány (a jejich receptory) na nervové impulzy.

Table

Description automatically generated with medium confidence

#TODO – dát to tam vůbec / upravit ?

#TODO – monokulární-binokulární vodítka

# TODO – doplnit o info z jiných knih nejen LaValle

## Zobrazovací zařízení - HMD

Sherman a Craig dělí virtual experience na 3 paradigmata, podle hardwaru, který zážitek zprostředkovává na: *hand based*, *stacionary* a *head mounted*. Tato práce bude primárně zaměřena na *head mounted* paradigma. Nejrozšířenější terminologií pro tento hardware je *head mounted display* termín. HMD jsou konstruovány tak aby úplně zaplnily vizuální pole uživatele. Dosaženo je to položením obrazovky velice blízko k očím. Lidské oko však není schopno ostřit na potřebně blízkou vzdálenost (cca 5-10cm). HMD tedy využívají convexní čočky položené do jejich fokální vzdálenosti. Díky tomuto se pak obrazovka jeví jako obrovský virutální obraz, který je nekonečně daleko. (LaValle 2020) HMD systémy také musí počítat s různou délkou mezi zornicemi (interpupillary distance - IPD). Dalším z problémů je pak rozlišení obrazovky, které je potřeba aby nebylo možné rozeznat jednotlivé pixely? Na základě výpočtů založených na fyziologii lidského oka bylo zjištěno, že display by musel mít 16 000 x 16 000 pix rozlišení na to aby nebylo možné rozeznat pixely. Tento přístup je však velice výpočetně náročný tudíž, se aplikuje proces, kdy vysoké rozlišení je pouze tam kde je lidské oko aktuálně zaostřeno.

### Tracking

Získávání kontinuální informace o poloze a pohybu v rámci reálného světa je klíčovou součástí VR systému. Díky vývoji mobilních telefonů a zmenšení a vylepšení IMUs byl umožněn vývoj přesných metod pro snímání polohy. LaValle uvádí 3 hlavní kteogorie toho co VR systém potřebuje snímat:

1. Smyslové orgány uživatele – převážně sledování pozice hlavy popř. očí
2. Ostatní části těla – obličej, ruce aj.
3. Okolní prostředí – reálné objekty v okolí uživatele

## Percepce

Za účelem tvorby VR prostředí / zážitku je nutné znát způsob jakým lidský mozek interpretuje předanou informaci skrze smyslové orgány (LaValle 2020). V případě percepce je možné hovořit o počitcích, které jsou inicializované podněty ze smyslových orgánů. Více počitků pak tvoří vjem. (Chloupková 2007) Pro VR je klíčová percepce (vnímání) vzdálenosti a měřítka, pohybu, barvy a následně jejich kombinace (LaValle 2020).

### Percepce vzdálenosti

Percepce vzdálenosti má za úkol dle (Mather 2016) vyřešit 4 hlavní problémy jimiž jsou:

1. Stanovení pořadí objektů v prostoru
2. Stanovení intervalů mezi objekty
3. Stanovení absolutní vzdálenosti objektu od pozorovatele
4. Stanovení odhadu trojrozměrného povrchu a jeho tvaru

Za účelem dosažení těchto cílů využívá určitá vodítka, jelikož obraz na sítnici je dvojrozměrný. Vodítka je možné dělit na monokulární a binokulární na základě toho, zda jsou vnímána jedním či oběma očima. Dále je pak možné vodítka rozdělit na statická a dynamická. Při vnímání jsou tato vodítka kombinována. (Mather 2016; Chloupková 2007).

Diagram, shape

Description automatically generated

# TODO – monokulární a binokulární vodítka text z 3D vizualizace – předělat do češtiny- má to vůbec cenu sem vypisovat jednotlivé vodítka?

Znalost těchto procesů je klíčová pro tvorbu VR prostředí, jelikož může snadno dojít k neshodám v reálné velikosti či vzdálenosti objektů, tedy špatnému vnímání měřítka, kvůli špatné interpretaci prostorových vodítek. Příkladem neshody může být (vergence accomodation mismatch). Dalšími příčinami neshod je pak nedokonalý tracking hlavy uživatele, kdy výrazná latence působí opoždění zobrazení. Problematické je i když tracking sleduje pouze orientaci hlavy a tím pádem znemožňuje použití paralaxy pohybu. (LaValle 2020) zmiňuje fakt, že monokulárních vodítek by mělo při tvorbě virutální prostředí být využíváno co nejvíce.

### Percepce pohybu

…

Problém pro VR systémy tvoří iluze vlastního pohybu z důvodu vnímání pohybu vizuálně. Jedná se tedy o konflikt visuálního a rovnovážného aparátu. **Vection**

Problém se vyskytuje často v případě akcelerace pohybu avatara ve virtuálním prostředí. V případě, kdy akcelerace je postupná dochází v mozku k detekování neshody ve vizuálních a rovnovážných (střední ucho) vjemech. Absolutní akcelerace / teleportace v transpozici i v rotaci je řešením pro tento problém, jelikož mozek vyhodnotí nárůst rychlosti jako extrémní případ a nestihne spustit reakci na něj (bolest hlavy, nevolnost).

# TODO – zbytečné??

*Retinal image slip* aneb problém kolik FPS (frame per second) je dostatečné pro VR display. VR display vyžaduje vyšší hodnoty FPS, jelikož je nutné vhodně upravit pohyb pozorovaného objektu ve virtuálním světě tak aby zůstal zaostřený i při pohybu hlavy. Je nutné zachovat tento objekt v jednom bodě na sítnici (VOR), tudíž v rámci virtuálního světa je nutné aby se tento fixovaný objekt posunul po obrazovce opačně od pohybu hlavy. Z důvodu nedostatečné hodnoty FPS je obraz objektu na obrazovce příliš dlouho a uživateli se pak jeví jako přeskakující („*judder) “*namísto plynule se pohybujícího. Jelikož vysoké FPS hodnoty jsou výrobní problém je *retinal image slip* řešen skrze *low persistence* přístup. Kdy je obraz objektu zobrazen jen v dané intervaly, které stačí očním receptorům na zaznamenání obrazu. Pro příklad moderní HMD Oculus Quest 2 umožňuje hodnoty FPS až 120Hz. (LaValle 2020)

### Percepce Barvy

…

### Význam pro tvorbu VR prostředí

V případě, že nejsou všechny smyslové vjemy nahrazeny virtuálními vstupy nebo pokud vstupy nejsou dokonalé (nejsou v konfliktu s lidskou fyziologií) dochází ke konfliktům vnímání. Nejvíce problematickým se dlouhodobě jeví vekce a to konflikt mezi vizuálními a rovnovážnými vjemy. Dalším z častých problémů je konflikt ve výšce uživatele (např. v sedě) a avatara v rámci virtuálního světa. Navíc k nesouladům mezi smysly přispívají i nedokonalosti v hardware, software, obsahu a rozhraních VR, což způsobuje nesoulad s reálnými zkušenostmi. Tyto konflikty pak vedou k špatným či nechtěným interpretacím popř. k nevolnosti a únavě. (LaValle 2020)

## VGE a Metaverse

<https://alan-smithson.medium.com/the-metaverse-manifesto-2206d893a3bb>

Kvarda - VGE

Výpis větišny dostupných zaříze a zařízení ke kterým budu mít přístup – na kterých budu moci testovat.

(Keil et al. 2021) uvádí, že důležitým vlivem na míru imerze, a tedy úspěšnost VR aplikace má nejen kvalita zobrazovaných dat, ale také ve velké míře technologické aspekty popř. limitace zobrazovacích zařízení, představuje proto porovnání HMD na základě rozlišení, FOV, FPS a *trackingu* aktuálně populárních HMD – předělat tabulku + přidat non HMD zařízení?

## Principy 3D modelování

DOFs, transformace, LOD aj.

Datové modely – GIS => 3D web

### Geometrie #moc low level – nedavat sem

Za účelem úspěšné tvorby virtuálních prostředí je nezbytné znát geometrické základy, které umožňují tvorbu obsahu daných prostředí. Klíčovými koncepty je translace (změna pozice) a rotace (změna orientace). #TODO – maybe not důležitý to sem psát

Jak vytvořit 3D svět v počítači a jak do něj dát obsah, kterým je možné pohybovat.

Translace

Rotace

Yaw, pitch, roll

Quaternions

Transformations – combination of rotation and translation

Jakým způsobem vzít tento 3D svět a převézt ho na obrazovku, tedy rastr o X pixelech?

Viewing frustum.

# TODO visual rendering

# Téma případové studie

Možnosti využití 3D webové vizualizace ve virtuálním prostředí jsou mnohé. Citace: Herman aj. kdo to vypisují jaké jsou možnosti viz.

# Analýza technologií

Způsob výběru technologií vhodných pro prezentaci geografických dat na webu ve virtuálních prostředích je možné rozdělit podle oboru v jakém daná technologie primárně figuruje. Logické je začít průzkumem exitujících GIS řešení, které tuto funkcionalitu splňují. Dalším oborem je následně herní vývojářství (tedy technologie herních enginů), následně pak čistě webová řešení tedy zpravidla javasrciptové knihovny nad WebGL. Nutno zmínit, že výše zmíněné rozřazení není exaktní, ale v mnoha případech se překrývá (např. export dat z QGIS do Three.js scény, export Unity WebGL scény). V případě této práce je rozdělení uvedeno za účelem určení struktury v průběhu průzkumu existujících technologií.

Za účelem výběru technologie je nutné popsat charakteristiky existujících technologií, aby bylo možné je kategorizovat a následně vybrat správnou konfiguraci technologií pro daný účel.

## Úrovně abstrakce – taxonomie technologií

Jedním z možných pohledů na klasifikaci vizualizačních technologií poskytli (Bostock, Heer 2009). V rámci své práce hodnotí vizualizační technologie na základě tří charakteristik, jimiž jsou

1. Expresivita – Jaké možné vizualizace daná technologie umožňuje?
2. Účinnost – Jak dlouho zabere vytvoření vizualizace?
3. Přístupnost – Jak náročné je vytvořit vizualizaci bez předchozí znalosti dané technologie?

Ačkoliv autoři hodnotí pouze 2D technologie, charakteristiky pro výběr jsou aplikovatelné obecně.

Dalším z kategorizačních kritérií pro popis technologií je úrovně podrobnosti, do jaké umožňují uživateli tvořit danou vizualizaci. V tomto případě je vhodné rozlišit termíny softwarové *knihovny* a *frameworky.*  V případě knihoven se jedná o hotové implementace pro řešení konkrétních problémů, kdežto frameworky jsou sadou knihoven nástrojů a vývojových vzorů / přepisů pro usnadnění vývoje aplikace.

Za dalším kritériem klasifikace je pak možné považovat pozici dané technologie na spektru vysoko – nízko úrovňovýho softwaru. …

Graphical user interface, application

Description automatically generated with medium confidence

Diagram

Description automatically generated

### TechStack

Problematickým aspektem při hodnocení a výběru technologie je fakt, že hodnocení jednotlivých technologií samostatně je zavádějící. V případě implementace se nejedná o jednotlivou technologii, ale souhru více tzv. *tech stack*. Na základě této skutečnosti je tedy nutné hodnotit i vzájemnou kompatibilitu jednotlivých technologií, což může přinést výraznou míru komplexity, jelikož je možné technologie na různých úrovních (zmínit výše – úrovně abstrakce) kombinovat. Za účelem získání reprezentativních výsledků je nutné hodnotit vhodnost jednotlivých technologií v *tech stacku* v kontextu specifického využití. V případě této studie se jedná o využití v rámci územního plánování.

Vypsat jednotlivé tech stacky z literatury

### WebXR

Viz. discord

### WASM

### Webový vývoj

Tvorba klasických webových aplikací je umožněna pomocí kombinace technologií tzv. *web-standard technologies* (Řeháček 2020) jimiž jsou:

1. HTML – značkovací jazyk určující strukturu a obsah webové stránky
2. CSS – kaskádový stylovací jazyk určující vzhled obsahu stránky
3. SVG – značkovací jazyk umožňující 2 D vektorovou grafiku na webu
4. JavaScript – vysokoúrovňový jazyk umožňující interakci s obsahem a vzhledem

#TODO – doplnit 3D technologie – WebGL API, WebXR API

Benefity volby webových technologií pro 3D geografickou vizualizaci. Primárním benefitem webové vizualizace je dostupnost (*availability*) a přístupnost (*accesability)* oproti desktopovým aplikacím. Jelikož web je platformě a hardwarově agnostický, tedy je možné k němu přistupovat takřka skrze veškerý běžně užívaný hardware a software. V případě 3D vizualizace a virutální reality je dostuponost a přístupnost v posledních letech umožněna díky výraznému vývoji v WebGL a WebXR technologií. Dalším z benefitů je fakt, že většina globálně užívaných aplikací se postupně přesouvá z desktopových řešení do webového prohlížeče (Microsoft Office Suite aj.) (Řeháček 2020).

Pomocí standardních webových technologií a API je možné vytvářet vlastní vizualizace. Za účelem zefektivnění tvorby takovýchto vizualizací je však možné použít různé nástroje, knihovny a frameworky.

DOM

Při zpracování HTML dokumentu prohlížečem se vytvoří abstraktní stromová datová struktura, která se používá k vykreslení stránky. Tato struktura je poté přístupná prostřednictvím rozhraní, nazvaného DOM (*Document Object Model*) (Řeháček 2020). Reprezentuje daný HTML dokument tak aby se dalo manipulovat s jeho strukturou, stylem a obsahem, pomocí skriptovacího jazyka např. JavaScript.

(MDN Contributors 2022)

### A - Frame

Aframe a DOM

Při renderování scény A-Frame knihovna vytváří hierarchii DOM prvků, které představují různé objekty ve scéně. Tyto prvky mohou být vybírány a manipulovány pomocí JavaScriptu, stejně jako jakékoliv jiné HTML prvky. Například lze pomocí JavaScriptu měnit pozici, rotaci nebo vzhled objektu ve scéně.

A-Frame také poskytuje sadu vestavěných komponent, které lze přidávat k DOM prvkům, aby jim byly poskytnuty VR specifické vlastnosti, jako například schopnost reagovat na sledování hlavy, sledování ruky nebo dotykové události. Navíc mohou vývojáři vytvářet vlastní vlastní komponenty pro rozšíření funkčnosti A-Frame.

V závěru, A-Frame využívá DOM jako základ pro vytváření a manipulaci s prvky VR na webové stránce a poskytuje snadný způsob pro vývojáře, jak vytvářet zážitky z VR pomocí webových technologií.

## Specifikace požadavků

### Funkční

### Nefunkční

**Data –** typy geografických dat - geometrií

### Výběr technologií

# Implementace

# UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ

# dISKUZE

# zÁVĚR

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha č

1. Formou dat je myšlen jejich datový model a následně výměnný formát. [↑](#footnote-ref-1)