

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

**Vizualizace rozsáhlých datových souborů v systémech virtuální
reality**

Diplomová práce

Autor: Ondřej, Šimeček
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Bruno Ježek, Ph.D.

Hradec Králové

srpen 2022

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.



V Hradci Králové dne 15.8.2022

.....
Ondřej Šimeček

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Bruno Ježkovi, Ph.D. za metodické vedení, technickou i znalostní podporu, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Anotace

Systémy firem i vládních organizací produkují mnoho komplexních dat. Aby byly tyto informace kvalitně využity, je nutné je efektivně vizualizovat. Pouze tehdy lze provádět podložená, cílená rozhodnutí a predikce. Tato práce se zaměřuje na prozkoumání technologie rozsáhlých datových souborů i možnosti její vizualizace ve virtuální realitě. Trojrozměrná neomezená scéna, vnímání perspektivy, volnost pohybu a interakce pomocí přirozených gest jsou unikátní vlastnosti virtuální reality, které mohou výrazně změnit způsob přijímání, ovládání a vyhodnocování vizualizace. Jednotlivé prvky jsou v práci detailně rozebrány a jsou popsána jejich pozitiva, negativa a možnosti využití. Poznatky ze zkoumání rozsáhlých datových souborů a virtuální reality jsou použity pro vývoj dvou interaktivních ukázek. První virtuální scéna se zabývá vizualizací dat z chytrého města Aarhus. Druhá ukázka pracuje se statistikami České republiky. Přínosy a zjištěné poznatky jsou poté vyhodnoceny a shrnuty. Práce také popisuje další možnosti využití technologie i směry, jakými by mohla být dále vyvíjena a zkoumána.

Annotation

Title: Visualisation of large datasets in Virtual Reality systems

Corporate and government systems generate a lot of complex data. In order to make good use of this information, it must be visualised effectively. Only then informed, targeted decisions and predictions can be made. This thesis aims to explore the technology of large-scale datasets as well as the possibility of its visualisation in virtual reality. The three-dimensional unlimited scene, perspective perception, freedom of movement and interaction through natural gestures are unique features of virtual reality that can significantly change the way visualisation is received, controlled and evaluated. Each feature is described and discussed in detail, including its advantages, disadvantages, and possible applications. Insights from exploring large-scale datasets and virtual reality are used to develop two interactive demonstrations. The first virtual scene deals with the visualisation of data from the smart city of Aarhus. The second demonstration works with statistics from the Czech Republic. The contributions and findings are then

evaluated and summarized. This thesis also describes further possible applications of the technology as well as directions in which it could be further developed and explored.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rozsáhlé datové soubory	3
2.1	Vytváření a sběr	3
2.1.1	Časový rámec dat.....	3
2.1.2	Velikost dat	4
2.1.3	Různorodost dat.....	4
2.2	Filtrace a třídění.....	4
2.2.1	Fúze dat	5
2.2.2	Omezení filtrace	5
2.3	Ukládání a zpracování	6
2.3.1	Software	6
2.3.2	Hardware	7
2.4	Analýza	9
2.4.1	Statistická analýza	9
2.4.2	Strojové učení.....	9
2.4.3	Analytický software	10
3	Vizualizační nástroje pro rozsáhlé datové soubory	12
3.1	Principy vizualizace.....	12
3.1.1	Obecné zásady	12
3.1.2	Principy vizualizace pro rozsáhlé datové soubory	13
3.1.3	Metody vizualizace.....	15
3.2	Nástroje	16
3.2.1	Tableau	17
3.2.2	SAS.....	17
3.2.3	Microsoft Power BI	18

4	Vizualizace ve virtuální realitě.....	19
4.1	Přínos virtuální reality	19
4.1.1	Vnímání prostoru	19
4.1.2	Vnímání pohybu.....	20
4.1.3	Interakce	21
4.1.4	Schopnost vtažení uživatele	21
4.1.5	Ostatní přínosy	22
4.2	Omezení a nedostatky zobrazování	23
4.2.1	Technologická omezení.....	23
4.2.2	Nevolnost a psychologická omezení	24
4.3	Možné oblasti využití vizualizace ve virtuální realitě	25
4.3.1	Architektura a design.....	26
4.3.2	Výzkum lidského chování a vnímání.....	27
4.3.3	Trénink a školení	28
4.3.4	Vzdělávání	29
4.4	Provedené studie.....	31
4.4.1	Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality [36]	31
4.4.2	Virtual Reality: Beyond Visualization [37]	33
4.4.3	Exploring Data in Virtual Reality: Comparisons with 2D Data Visualization [33]	34
4.4.4	DataHop: Spatial Data Exploration in Virtual Reality [38]	35
4.5	Vývoj vizualizace rozsáhlých datových souborů ve VR.....	37
5	Cíl práce.....	39
6	Metody a technologie pro implementaci vizualizace ve virtuální realitě.....	40
6.1	Nástroje pro vývoj.....	40

6.1.1	Engine Unity	41
6.1.2	Modelovací nástroj Blender.....	42
6.2	Použitá VR technologie	43
6.3	Sestavení virtuální scény	44
7	Návrhy vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě	47
7.1	Interaktivní ukázka Smart City	49
7.1.1	Motivace, původ myšlenky.....	49
7.1.2	Získávání použitých dat	50
7.1.3	Proces tvorby	50
7.1.4	Získané poznatky	57
7.2	Interaktivní ukázka Česká republika	58
7.2.1	Motivace, původ myšlenky.....	58
7.2.2	Získávání použitých dat	58
7.2.3	Proces tvorby	59
7.2.4	Získané poznatky.....	63
7.3	Testování	64
7.4	Význam a shrnutí přínosu.....	64
7.5	Možnosti rozšíření	65
8	Shrnutí výsledků.....	67
9	Závěry a doporučení	70
10	Seznam použité literatury.....	71
11	Přílohy	76

Seznam obrázků

Obr. 1: Čtyři druhy vizualizací: A) Stromová mapa [12], B) Ganttův diagram [13], C) Paralelní souřadnicové osy [14], D) Geografické vizualizace [15]	15
Obr. 2: Příklad použití nástroje Tableau [19]	17
Obr. 3: Příklad použití nástroje Microsoft Power BI [22]	18
Obr. 4: Pomocné součásti scény: A) Židle slouží jako objekt se známou velikostí, B) Realistický tvar rukou podporuje interakci, C) Ukazatel středu scény pomáhá s orientací.....	44
Obr. 5: Vizualizace dat na plastickém modelu města. Vlevo – stav při ranní dopravní špičce. Vpravo – stav dopravy v noci.....	54
Obr. 6: Zobrazení obsahující doplňující vizualizaci směru větru a oblačnosti.....	55
Obr. 7: Virtuální panel zobrazující základní informace a uživatelské rozhraní pro ovládání vizualizace.....	56
Obr. 8: Model České republiky obsahující piktogramy osob podle počtu zemřelých v daném kraji.....	61
Obr. 9: Vlevo – virtuální panel rozšířený o záložky umístěné na horním okraji. Vpravo – pomocná kontextová vizualizace zobrazující hodnoty pro vybraný kraj.	62

1 Úvod

Moderní informační systémy vytváří svou činností velké množství dat. Automatické nástroje sledují širokou škálu hodnot od používání webových stránek přes dopravní situaci až po údaje ve zdravotnictví. Tyto informace tvoří rozsáhlé datové soubory. Existuje mnoho technologií, které se zabývají jejich zpracováním, filtrací, tříděním, ukládáním a analýzou. Žádná z těchto činností by ale nebyla smysluplná, pokud by nebylo možné získané výstupy použít pro vyhodnocování situace, rozhodování a predikci. Pro tento účel vznikají vizualizační nástroje, které pomáhají výsledky prezentovat takovou formou, aby klíčové hodnoty byly snadno rozpoznatelné a využitelné. S rostoucím množstvím dat a oborů, které rozsáhlé datové soubory používají, je nutné, aby se i vizualizační nástroje rozvíjely a hledaly nové cesty, jak prezentovat data efektivním způsobem.

Další oblastí, ve které probíhá výrazný rozvoj, je virtuální realita. Náhlavní soupravy obsahují kvalitnější displeje, více senzorů a výkonnější čipy, přičemž se snižuje hmotnost, jsou pohodlnější na používání a umožňují i běh na baterii. Hardwarový vývoj následuje i pokrok v oblasti softwaru. Nové standardy a funkce herních enginů usnadňují vývoj aplikací a her pro virtuální realitu. Jsou objevovány nové metody pro kvalitnější renderování a zlepšení schopnosti virtuální scény vtáhnout uživatele. Pro virtuální realitu jsou vytvářeny rozsáhlé zábavní i pracovní systémy. Existuje mnoho vizí a plánů na vytvoření komplexních virtuálních vesmírů nazývaných „metaverse“, které umožní přenést každodenní činnosti do virtuální reality.

Logickým uvažováním je možné dospět k názoru, že unikátní schopnosti virtuální reality by mohly být vhodným nástrojem pro další rozvoj vizualizace dat. Neomezenost a prostorovost virtuální scény jsou ideálními prvky, které by mohly zkvalitnit zobrazení informací. Praxe a výzkumy ukázaly, že i přes existující nedostatky je možné virtuální realitu používat pro designerskou činnost, školení nebo vzdělávání. Neexistuje ale mnoho výzkumů, které by se snažily toto použití generalizovat na obecné principy vizualizace, a ještě méně se jich zabývá vizualizací rozsáhlých datových souborů. Tato práce si klade za cíl zmíněnou oblast prozkoumat a vyhodnotit, zda je vhodná pro další vývoj a zkoumání. Nejprve budou prozkoumány

teoretické základy práce v podobě informací o rozsáhlých datových souborech a technologiích virtuální reality. Dalším cílem je zkoumání principů vizualizace a možností zobrazování dat ve virtuální scéně. Zjištěné poznatky, koncepty a tvrzení budou ověřovány pomocí vývoje aplikace obsahující zjednodušené návrhy použití virtuální reality pro vizualizaci rozsáhlých datových souborů.

Závěry a výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro další výzkum specifických oblastí vizualizace v konkrétních oborech nebo se specifickou množinou dat. Pokud se podaří ověřit, že vytvoření vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě je možné a prospěšné, mohou být poznatky použity jako základy softwaru nebo frameworku pro obecnou vizualizaci dat, podobně jako na desktopových počítačích fungují nástroje Microsoft Excel nebo Enterprise Architect.

2 Rozsáhlé datové soubory

Komplexní uživatelská data, pokročilé vědecké výzkumy i hodnoty z jednoduchých senzorů a čidel mohou tvořit rozsáhlé datové soubory. Kvůli velikosti a složitosti těchto informací se také k jejich popisu používá termín „Big Data“ (dále v práci používán jako synonymum pro rozsáhlé datové soubory). Zpracování a kvalitní analýza těchto dat může přinést mnoho benefitů. Proto byly vyvinuty a standardizovány metody pro jejich třídění, filtraci, ukládání a zpracovávání. Ačkoliv cílem této práce je hlavně zhodnotit vizualizační techniky pro práci s rozsáhlými datovými soubory a převést je do virtuální reality, je nutné prozkoumat i základy sběru filtrace, ukládání a analýzy „Big Data“, protože jisté aspekty vizualizací musí brát na tyto oblasti ohled nebo jsou jimi omezeny. [1]

2.1 Vytváření a sběr

Pro správné pochopení rozsáhlých datových souborů je nutné blíže rozebrat, jak jsou tato data vytvářena, sbírána a v jakých ohledech se mohou lišit. Obecně přijímaný koncept pro definování základních vlastností rozsáhlých datových souborů je označován jako 3V. Vychází z termínů *velocity*, *volume* a *variety*. V rámci této podkapitoly budou tyto tři termíny či vlastnosti blíže definovány a popsány. [2]

2.1.1 Časový rámeček dat

Výrazným omezením a důležitou vlastností při zpracovávání rozsáhlých datových souborů může být jejich závislost na čase. Zde je možné použít rozdělení na data získávaná i zpracovávaná v reálném čase a data s možností pozdějšího zpracování.

Mnoho systémů generuje a ukládá data v reálném čase, a proto je nutné i jejich zpracování a vizualizaci provést v co nejkratším čase, aby nebyla důležitá informace ztracena. V určitých oblastech jako zdravotnictví, letectví apod. je nutné, aby byly informace zpracovávány okamžitě, protože může dojít k vážným finančním a lidským ztrátám. Oblast reálných dat klade nejvyšší nároky na robustnost systému pro zpracování dat, protože často vyžaduje mnoho procesorového výkonu a vysokou optimalizaci algoritmů pro vyhodnocování. Zároveň ale může přinést okamžitý užitek.

Příkladem může být systém pro doporučování výrobků uživateli. Pokud dokáže vyhodnotit preference uživatele ještě v průběhu jeho návštěvy obchodu, okamžitým užitekem je více prodaného zboží a vyšší spokojenost zákazníka.

Opakem systémů zpracovávajícím data v reálném čase jsou systémy, které pracují s daty bez nutnosti jejich okamžitého vyhodnocení. Tyto systémy se mohou starat o archivy, mohou hledat souvislosti v historických informacích, nebo optimalizovat procesy, které probíhají pravidelně a bez výrazných změn. Výhodou těchto systémů je možnost analyzovat data do větší hloubky a s přísněji nastavenými parametry než u systémů v reálném čase. Příkladem může být systém vyhodnocující poruchovost konkrétního typu automobilu za posledních několik let.

2.1.2 Velikost dat

Přesná velikost dat, od které mluvíme o „Big Data“ není definována. Často jsou uváděny vyšší jednotky terabajtů (TB) nebo petabajtů (PB). Tato data je obtížné nebo dokonce nemožné zpracovat standardními nástroji pro práci s daty a je nutné použít specializovaný hardware (server místo osobního počítače).

Rozsáhlé datové soubory generují systémy s miliony uživatelů, nadnárodní korporace, státní systémy nebo systémy typu IoT (Internet of Things) či Smart Factory. Velikost dat poté odpovídá rozsáhlosti těchto systémů. [3]

2.1.3 Různorodost dat

Data z menších systémů je relativně snadné standardizovat a díky tomu dobře zpracovávat. Systémy generující „Big Data“ ale často vytvářejí velké množství nesourodých dat. Často jde o uživatelsky generovaná data, která nemusí mít standardní formát ani podobu. Příkladem mohou být příspěvky na sociálních sítích, audio nebo video.

2.2 Filtrace a třídění

Klíčovou součástí v systémech pro zpracování rozsáhlých datových souborů je filtrování a třídění dat. Kvůli extrémním časovým omezením je nutné do další fáze zpracování poslat pouze relevantní data. Velký objem dat by mohl analytický systém zahltit, a tak filtrace a klasifikace vybírají pouze ty části dat, ze kterých může být

vytvořen kvalitní výsledek. Robustní filtrační systém je nutností, pokud se pracuje s velmi různorodými daty. Před zpracováním je vyžadováno, aby systém dosáhl „porozumění“ dat, tedy aby data měla strukturu, kterou dokáže systém analyzovat, vyhodnotit a vizualizovat výsledky.

V posledních letech se stále častěji pro automatické zpracování dat používají neuronové sítě a strojové učení, které nepotřebují předem znát strukturu. Z velkého množství dostupných dat odvodí důležitost a nedůležitost jednotlivých informací. Dokáží tedy velmi kvalitně provádět filtraci a třídění bez nutnosti definovat systému přesné parametry rozhodování.

2.2.1 Fúze dat

Podobně jako se lidé ve většině případů při rozhodování spoléhají na několik smyslů, je možné kombinovat data pro zlepšení funkčnosti systému. Formát a struktura jednotlivých dat mohou být velmi odlišné, a systém na fúzování dat tedy musí být správně nastaven. Na složitosti systému také může přidávat odlišná důležitost dat nebo chybějící informace z jednotlivých zdrojů. Příkladem funkčního systému fúze dat mohou být aplikace pro sledování zdraví a aktivity v chytrých telefonech. Tyto aplikace často dokážou kombinovat data ze senzorů pro měření pohybu, počtu kroků, srdeční frekvence, spánkové aktivity a zkombinovat je do výstupů, díky kterým je možné upravit svůj životní styl nebo trénink. Čím více senzorů je do fúze dat zapojeno, tím mohou být výsledky přesnější. Fúze dat používají i firmy jako Google nebo Meta, aby vytvořily virtuální uživatelský profil, ze kterého je možné snadno vyčíst jednotlivé preference, a predikovat další chování.

2.2.2 Omezení filtrace

Třídění a filtrace dat musí být velmi pečlivě nastavené, jinak mohou způsobit více škody než užitku. Příliš hrubou filtrací by mohlo snadno dojít k odstranění důležitých dat, a tedy i ke zkreslení potřebných výsledků. Naopak příliš volnou filtrací by mohly projít i nevhodné prvky, jako například odlehlé či prázdné hodnoty, a způsobit nežádoucí efekt. Je důležité opatrně nakládat s číselníkovými hodnotami, slovně vyjádřenými informacemi nebo prázdnými hodnotami. Příkladem může být vyhodnocování dat z dotazníku. Jedním z údajů by mohl být peněžní příjem

dotazovaného. Přičemž tato otázka by byla volitelná a uživatelé by ji mohli nechat nevyplněnou. Pokud by při filtraci tyto nulové hodnoty zůstaly zachovány a započítávaly by se do výsledných ukazatelů, mohly by velmi výrazně ovlivnit výsledky.

2.3 Ukládání a zpracování

Rozsáhlé datové soubory jsou výzvou i z hlediska skladování. Obtížnou součástí je ukládání velkého množství dat při zachování snadné dostupnosti konkrétních informací a možnosti provádět operace nad co největší částí dat najednou. V průběhu času bylo vyvinuto několik hardwarových i softwarových metod, které pomáhají data ukládat v potřebné podobě a s vysokou dostupností.

2.3.1 Software

Systém starající se o ukládání dat může velmi ovlivnit celý proces zpracování „Big Data“. Moderní softwarová řešení dokážou data již předem správně indexovat, strukturovat a připravit tak, aby systém pro jejich analýzu fungoval co nejefektivněji. Správné uložení dat může výrazně zlepšit výkonost systému a propustnost.

2.3.1.1 Relační databáze

Ačkoliv relační databáze (RD) byly a jsou standardem pro ukládání dat, při práci s rozsáhlými datovými soubory se projevuje několik výrazných nedostatků, které brání jejich využití v této oblasti. Proto jsou využívány pro „Big Data“ pouze okrajově.

Výrazným nedostatkem standardních relačních databází je jejich předem definovaná struktura. Jak ale bylo uvedeno v kapitole 2.1.3, rozsáhlé datové soubory často obsahují nestrukturovaná data, nebo data s měnící se strukturou. Dále při práci s daty v reálném čase je potřeba neustále do systému vkládat nová data, stará data odstraňovat a v průběhu toho již provádět jejich analýzu. Většina používaných systémů relačních databází není na tuto práci ve velkých objemech stavěna.

Relační databáze stále najdou využití i v oblasti „Big Data“, kde jsou využívána strukturovaná data, vysoká integrita a komplexní databázové dotazy. Ale pokud

system tyto předpoklady nespĺňuje nebo nevyžaduje, bylo nutné najít řešení, které je k této práci vhodnější.

2.3.1.2 NoSQL

Ačkoliv termín NoSQL (Not only SQL) databáze je zmiňován hlavně v posledních letech, počátky této technologie je možné nalézt již desítky let dozadu. Ale s vývojem systémů, jako jsou rozsáhlé datové soubory, technologie NoSQL našly své využití a nastal jejich výrazný rozvoj. Technologie NoSQL nebyly vytvořeny jako náhrada relačních databází, ale jako doplněk určený k řešení specifických problémů.

Hlavní výhodou NoSQL technologií je jejich škálovatelnost, výkonost a flexibilita. Často nedokážou zpracovávat komplexní join operace nebo databázové dotazy, ale excelují ve vyhledávání hodnot v extrémně rozsáhlých datových souborech. Podporují široké objemy změn v reálném čase se zachováním přístupu pro velké množství uživatelů. NoSQL databáze si zachovávají lineární výkonost i při výrazném nárůstu objemu dat.

NoSQL databáze se rozděľují na několik typů, kdy každý z nich má své vlastní silné stránky i nevýhody. Jedná se o databáze typu klíč-hodnota, dokumentové databáze, sloupcové a grafové databáze. [4]

2.3.2 Hardware

Ještě před několika lety měla většina organizací vlastní vyhrazený hardware pro správu interních dat a provádění interních operací. S tím, jak rostla velikost dat a potřebné požadavky na internetovou konektivitu, dostupnost a zabezpečení, bylo pro většinu menších až středních organizací neudržitelné provozovat vlastní hardware. Firmy jako Amazon, Oracle, Google nebo Microsoft si tohoto trendu všimly a začaly nabízet řešení, které se stalo standardem. Také se rozvinula opensource řešení, například Hadoop, která mohou organizace použít pro své vlastní systémy správy a zpracování rozsáhlých datových souborů.

2.3.2.1 Cloudová řešení

Pro fyzická úložiště dat je nutné mít vyhrazený prostor, zajistit stabilní navyšování kapacity, ochranu proti zneužití, redundanci dat, pravidelné zálohování

a další doporučené postupy. Pokud se v rámci „Big Data“ jedná až o petabajty dat, začíná být správa fyzických úložišť velmi drahá a vyžaduje speciálně vyškolenou obsluhu. Proto může být výhodnější pronajmout si část datacentra, které všechny tyto služby obsahuje, a navíc je schopné zaručit dostupnost dat a nonstop podporu při vzniklých problémech. S tím, jak tyto služby byly stále dostupnější a více standardizované, došlo k rozdělení na několik základních typů. [5]

IaaS (Infrastructure as a service) je typ nabízené služby, která se nejvíce blíží k vlastnímu zajištění serverů a úložišť. Často se jedná o službu placenou podle využití, tedy platí se pouze za hardware, který se opravdu používá. Poskytovatel zajišťuje pouze hardwarovou stránku v podobě úložišť, síťových prvků a procesorového výkonu. Na uživateli je poté zodpovědnost tento hardware využít pro svou potřebu. Hlavní poskytovatelé služeb Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure a Google Cloud fungují primárně v tomto režimu nabízení služeb. [6]

Druhým typem služeb je PaaS (Platform as a service). Uživatel zde nepronajímá od poskytovatele pouze hardware, ale i základní software pro běh jeho aplikací. Tím může být operační systém, ale i široce rozšířený framework. Uživatel nad tímto základem pouze staví své vlastní aplikace a nemusí se tak starat o aktualizace, nízkoúrovňové aplikace nebo kód. Populárními službami tohoto typu jsou Heroku, Google App Engine, Red Hat OpenShift a další.

SaaS (Software as a service) se nejvíce liší od provozování vlastního hardware. Jedná se o celé softwarové balíky běžící na systémech provozovatele. Uživatel se k nim pouze připojuje pomocí webového rozhraní nebo API. Často neví téměř nic o hardwaru a základním softwaru, na kterém tento systém běží. Příkladem jsou služby jako Gmail, Dropbox, Outlook a podobné.

2.3.2.2 Specializovaný hardware

Kromě vývoje speciálního softwaru byly díky rychlému vývoji „Big Data“ potřeba i nové přístupy v oblasti hardware. Pro rychlejší zpracovávání jsou využívány nejen CPU (central processing unit), ale i GPU (graphics processing unit), které dokáží lépe pracovat s mnoha paralelními výpočty. Pro šifrování a bezpečnost dat jsou vytvářeny čipy na míru, které poskytují nejen vyšší zabezpečení ale i akceleraci, takže ukládání šifrovaných dat není pomalejší než ukládání nešifrovaných dat.

Pro pokročilé úlohy jsou vyvíjeny speciální čipy. V poslední době se velmi daří rozvoji strojového učení pomocí neuronových sítí, a tak existují jednotky, které dokážou provádění operací pro neuronové sítě akcelarovat až sto a více násobně oproti použití standardních CPU.

2.4 Analýza

Datová analýza je nejdůležitější fází celého procesu zpracovávání rozsáhlých datových souborů. Sběr, pokročilá filtrace, třídění dat, ukládání a nízkourovňové zpracování informací by nemělo velký význam, pokud bychom v datech nedokázali pomocí analýzy najít skryté spojitosti, statisticky významné ukazatele nebo vytvořit relevantní predikce budoucího vývoje. Ačkoliv se můžou cíle analýzy lišit, je možné najít standardní metody, které lze široce využít téměř v každé oblasti analýzy „Big Data“. Tyto metody se někdy mohou překrývat nebo doplňovat pro dosažení lepšího výsledku. [7]

Kromě dále zmíněných a detailněji popsaných metod existuje mnoho dalších. Jedná se o genetické a evoluční algoritmy, rozhodovací stromy nebo cíleně zaměřené techniky pro síťová data, sociální data, textové analýzy a analýzy multimédií. [8]

2.4.1 Statistická analýza

Metody statistiky a algoritmy pro jejich provádění se vyvíjejí již po staletí. Díky tomu jsou velmi dobře ověřené, prozkoumané a standardizované. Téměř všechny analytické nástroje obsahují základní statistické metody jako zkoumání korelace, regresní analýzu nebo ověřování hypotéz pomocí rozdělení. Díky tomu je možné prozkoumat základní vazby v datech a odhalit ukazatele důležité pro další rozhodování. Výhodou této analýzy je její rychlost, protože algoritmy jsou velmi efektivní a vysoce optimalizované. Nevýhodou této metody je její rigidita. Může být obtížné aplikovat standardní statistické postupy na heterogenní a nestrukturovaná data. [8]

2.4.2 Strojové učení

Díky výraznému nárůstu výkonu serverů a počítačů v posledních letech jsou více využívány a nasazovány metody strojového učení. Počítače dokážou s pomocí

technologií jako neuronové sítě zpracovat velké množství dat a najít skryté spojitosti a ukazatele. Pokud je k dispozici rozsáhlý datový soubor, je možné jej použít přímo k učení systému a zlepšování výsledků.

Strojové učení se dělí na několik hlavních směrů. Základním typem je učení s učitelem (supervised learning). Ten funguje na principu učení z trénovacích dat. Dalším typem je učení bez učitele (unsupervised learning). Pro vstupní data není dán požadovaný výstup. Tento typ učení tedy často data generalizuje a hledá výrazné proměnné nebo anomálie. Třetím a zde posledním zmíněným typem je zpětnovazební učení (reinforcement learning). Jak je možné odvodit ze samotného názvu, jedná se o systém, který dokáže registrovat získanou zpětnou vazbu. Zpětnou vazbou se myslí odměňování správného chování a trestání chování, které k cíli nevede.

Popsané metody strojového učení mohou výrazně zjednodušit vývoj systému pro analýzu dat. Nejvíce vynikají, pokud je k dispozici velké množství vstupních dat, které kvůli své nesourodosti nebo struktuře není možné snadno analyzovat standardními metodami.

2.4.3 Analytický software

Pro analyzování „Big Data“ jsou připravené frameworky, které často kombinují několik přístupů a technik. V mnoha případech jsou jejich součástí nebo volitelným doplňkem i systémy pro správu úložiště, napojení datových zdrojů a filtrační nástroje. Organizace si tedy mohou vybírat mezi kompletními balíky služeb pro správu jejich dat. [9]

Jedním z nepoužívanějších a nejznámějších systémů pro zpracovávání rozsáhlých datových souborů je open-source nástroj Apache Hadoop. Nabízí vysokou škálovatelnost od jednoho serveru po tisíce paralelně pracujících strojů. Pomocí jednoduchých programovacích modelů umožňuje plně ovládat a nastavit celý proces zpracování dat. Základ je vlastní souborový systém (Hadoop file systém – HDFS), který používá master-slave architekturu. Je navržený pro běh i na nízko-nákladovém hardware a obsahuje také pokročilé techniky jako detekce a oprava chyb, optimalizace datového toku, přístup k rozsáhlým datovým souborům nebo ke streamovaným datům. [1]

Dalším výrazným frameworkem zaměřeným na efektivní zpracování „Big Data“ je MapReduce. Skládá se ze dvou hlavních částí. V první mapovací fázi jsou data rozdělena na menší celky pro výkonné paralelní zpracování. Výstupem mapovací fáze jsou data ve formě klíč-hodnota, které jsou vstupem pro druhou redukční fázi. Zde probíhá analýza a redukce dat až do formy finálního výstupu. Při selhání procesu analýzy dokáže naplánovat znovuzpracování. MapReduce je oblíbený pro svou jednoduchost, škálovatelnost a rychlost. [1]

Spark je open-source framework vyvinutý jako nástupce Hadoop. Cílem bylo zvýšit výkon a zlepšit práci s daty na discích. Spark podporuje programování v několika jazycích (Python, Java a Scala). Pro zvýšení výkonu používá technologie jako in-memory chaching a in-memory computation. Podporuje několik platforem a dokáže velmi dobře generalizovat, takže je možné zpracovávat současně data v několika formátech. [1]

V této oblasti je důležité zmínit i SAS. Ačkoliv se nejedná o konkrétní framework ani technologii, je důležité tuto firmu zmínit. Jedná se o výrazného hráče v oblasti analytického softwaru. Vyvíjí vlastní řešení pro zpracování a vyhodnocování „Big Data“ včetně vizualizace (více v kapitole 3.2.2). Jejich služeb využívají bankovní a zdravotnické instituce, nadnárodní korporace i státní sektor.

3 Vizualizační nástroje pro rozsáhlé datové soubory

Vizualizace a její interpretace je závěrečným krokem a cílem zpracování dat. Informace jsou zobrazované s pomocí grafů a obrazů, často doplněných vysvětlujícím textem. Ačkoliv automatizované systémy dokážou nalézt v datech nečekané i skryté souvislosti, anomálie a ukazatele, stále zde musí být lidský prvek, který výsledky posoudí a použije je při rozhodování, změně strategie, ovládnutí systému nebo zhodnocení úspěšnosti. V této kapitole jsou probrány principy pro vizualizaci rozsáhlých datových souborů a poté stručně shrnuty nejpoužívanější nástroje pro vizualizaci „Big Data“ a jejich vlastnosti.

3.1 Principy vizualizace

Jak bylo několikrát zmiňováno v kapitole 2, rozsáhlé datové soubory svou rychlostí vytváření, velikostí a různorodostí přesahují lidské možnosti. O to více se musí odborníci jako business analytici, vědci, zdravotníci a další datoví inženýři spolehnout, že filtrace, třídění, zpracování a následná analýza proběhla správně a bez omezení důležitých vlastností dat. Vizualizační nástroje by tedy nejen měly zobrazovat výsledek vyhodnocení, ale alespoň základní informace o celém procesu zpracování.

Vizualizační nástroj má hlavně sloužit pro kvalitní a přehlednou prezentaci výsledků bez odvádění pozornosti pomocí zbytečné grafiky nebo nepotřebných informací. V oblasti „Big Data“ může být velmi obtížné správně vyhodnotit, jaké informace zobrazit uživateli, v jaké formě a v jakém rozsahu. Moderní systémy pro vizualizaci by se měly držet principů, které byly nalezeny pomocí experimentů nebo byly převzaty ze standardních vizualizací, jako jsou mapy a grafy, a uživatelé jim tedy snadno rozumí a umí je používat.

3.1.1 Obecné zásady

Lidská mysl funguje na základních principech, které jsou známé již po staletí. Proto je dobré přizpůsobit jí zobrazování vizualizací takovým způsobem, aby to bylo co nejnadhlejší pochopitelné a použitelné.

Méně je více. Tato jednoduchá zásada je klíčovým prvkem vizualizací. Lidská pozornost se dokáže soustředit pouze na několik základních prvků. Proto by vizualizace měla zobrazovat pouze to, co je nezbytně nutné. Pomocí s tím můžou pokročilé filtry nebo jednoduché možnosti skrývání/zobrazování panelů a grafů. Uživatel by měl mít možnost si nepotřebná data skrýt nebo omezit jejich rozsah.

Grafické znázornění před textovým. Lidská mysl je velmi dobrá v rozpoznávání tvarů, vzorů a dalších grafických znázornění. Textový popis je při větším množství velmi nepřehledný a není možné z něj informace vyčíst intuitivně (pouze pohledem na něj). Většina lidí se navíc od malička učí vyčíst data ze sloupcových, čárových nebo bodových grafů. Pro množství, velikosti, rozložení hodnot nebo vztahy může být lepší použít tato běžně používaná znázornění spíše, než textový popis nebo jiné méně používané metody. Při vytváření grafických znázornění ale musí být autor opatrný, aby nedošlo k vytvoření mylného dojmu špatným použitím škály nebo použitím nevhodné grafické interpretace. [10]

Barvy mohou přidávat další hloubku dat. Znázorněním dobře a efektivně použitých barev jsou mapy. Plocha monitoru či papír jsou dvourozměrné prostory, ale pomocí barev je možné na mapách zobrazit výšková data, odlišit druh terénu nebo oddělit jednotlivé oblasti. Barvy také umožňují lepší zapamatovatelnost a ve vhodných případech mohou sloužit pro zvýraznění důležité informace. Opět by ale měly být barvy využívány opatrně, aby nedošlo k chybné interpretaci. Dále je nutné brát ohled i na poruchy, jako různé druhy barvosleposti. [10]

Detailní vysvětlení infografiky a použití dat. Ačkoliv je zde zmíněna zásada, že by mělo být upřednostňováno grafické znázornění před textovým, neznamená to, že text by neměl být vůbec součástí systému. Každé grafické znázornění by mělo být vysvětleno tak, aby uživatel měl možnost si ověřit správné použití dat a nezkreslenost. Tento text nemusí být přímo součástí grafiky, ale měl by být snadno dohledatelný v nápovědě nebo pod skrytou nabídkou.

3.1.2 Principy vizualizace pro rozsáhlé datové soubory

Kromě obecných zásad vizualizace je vhodné zmínit i některé principy, které je nutné nebo důrazně doporučeno použít z důvodů velikost nebo různorodosti dat v rozsáhlých datových souborech.

Interakce v reálném čase. I když systém pracuje s miliony objektů, měl by zachovat interakci s minimálním zpožděním. Prodleva delší, než několik milisekund by mohla uživatele omezovat a znemožnit používání systému. [11]

Abstrakce a redukce dat. Pokud není možné velké množství dat zobrazit jednoduchou formou, není taková forma vizualizace vhodná. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.1, snadno by mohlo dojít k zahlcení uživatele. Tato oblast je při práci s rozsáhlými datovými soubory obzvlášť důležitá.

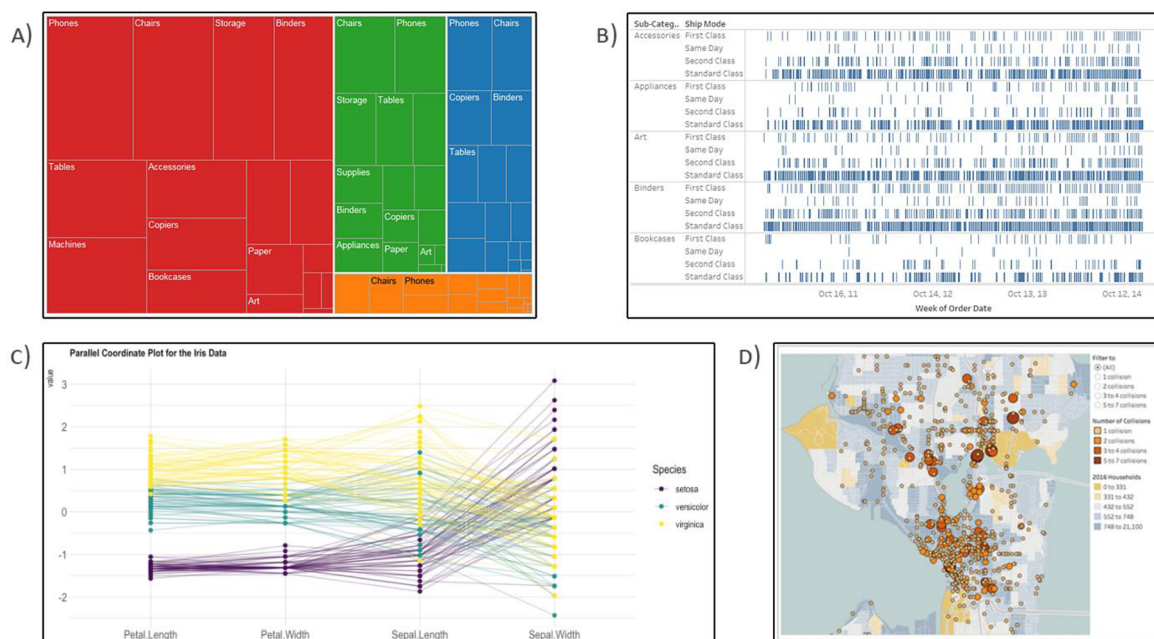
Průběžné výsledky. V některých případech není možné kvůli náročnosti nebo omezenému hardwaru zobrazovat výsledky analýzy ihned. V tomto případě by měl systém vizualizace umožňovat zobrazení alespoň částečných průběžných výsledků. Tím může pomoci uživateli, aby případně dokázal upravit zadání včas nebo přerušit provádění, aniž by musel čekat na nechtěné výsledky a plýtvat tak zdroji i časem. Díky podpoře paralelní výpočtů je ve většině případů možné získat a zobrazit alespoň základní informace o procesu. Některé systémy podporují techniky inkrementálního zpracovávání, takže je možné získat data jen z určitého vzorku bez nutnosti načtení celého rozsáhlého datového souboru. [11]

Využívání mezipaměti a přednačítání. Pro snížení datového toku a rychlejší interakci by měly systémy pro vizualizaci rozsáhlých datových souborů používat mezipaměť a přednačítání. Díky tomu mohou rychleji zobrazit již dříve načtená data a umožnit rychlejší načítání pouze drobných změn. Chytré přednačítání může výrazně zlepšit uživatelskou přívětivost systému a snížit čas potřebný pro načtení nových výsledků. [11]

Přizpůsobivost systému. Vizualizace pro „Big Data“ by měla mít možnost úpravy na míru konkrétnímu použití. Tento prvek je velmi důležitý pro komerční systémy poskytované širokému množství zákazníků z různých oborů. Každá z oblastí může vyžadovat svůj vlastní náhled na data, a proto by vizualizace měla být co nejprizpůsobivější potřebám uživatele. Může se jednat o skrývání/zobrazování panelů, pokročilou filtraci, výběr typu vizualizace, výběr grafické reprezentace a další možnosti přizpůsobení.

3.1.3 Metody vizualizace

Ve vizualizaci rozsáhlých datových souborů jsou používány standardní grafické reprezentace jako sloupcové, koláčové, box-plot grafy a další. Mimo to jsou používány i další vizualizace, které nejsou příliš používané uživateli mimo tuto specializaci, ale v nástrojích pro vizualizaci „Big Data“ jsou obsažené a mohou být užitečné díky jejich schopnosti zobrazovat větší množství dat.



Obr. 1: Čtyři druhy vizualizací: A) Stromová mapa [12], B) Ganttův diagram [13], C) Paralelní souřadnicové osy [14], D) Geografické vizualizace [15]

Stromová mapa (Tree map) (Obr. 1, část a) je způsob zobrazování hierarchických dat pomocí vnořených obdélníků. Rodičovský obdélník je podle rozložení v hierarchii zaplněn potomky v podobě menších obdélníků. Takto mohou být data zobrazována až do hloubky několika hierarchických vrstev. Plocha obdélníku znázorňuje množstevní zastoupení v kategorii. Pro vyšší přehlednost může být využito různé obarvení odlišných skupin. Nevýhodou je nemožnost zobrazení nulových nebo negativních hodnot. [16] Grafem s podobným systémem fungování je Circle Packed Chart sestávající z různě velkých kruhů.

Ganttův diagram (Obr. 1, část b) je jeden z nejpoužívanějších způsobů, jak zobrazovat aktivity (události) rozvržené v závislosti na čase a druhu. Jednotlivé aktivity jsou zaznamenány jako pruhy do dvourozměrné plochy, která má na jedné

ose čas a na druhé rozdělení aktivit na kategorie. Díky různé šířce pruhů může tento diagram zobrazovat i události s různou dobou trvání. Je tak možné zobrazovat i stovky událostí a porovnávat jejich vlastnosti. Tato vizualizace je často používána pro projekt management. [17]

Použití paralelních souřadnicových os (Obr. 1, část c) je způsob, jak vizualizovat vícedimenzionální data. Jednotlivé dimenze jsou znázorněny jako vertikální osy. Data jsou do grafu zanesena jako horizontální křivky protínající osy na souřadnicích, které odpovídají konkrétní informaci. Větší množství křivek může vytvářet různé obrazce, z kterých je poté možné vyvodit chování. Pomocí obarvení křivek může být do vizualizace zakresleno více skupin dat a tím lze dosáhnout porovnávání chování jednotlivých informací. [18]

Ačkoliv promítání dat do map je běžně používáno i ve standardních metodách vizualizace, je vhodné tento způsob připomenout i v souvislosti s „Big Data“. Data o chování populace, sociální ukazatele a další informace spojené s lidskou činností jsou pro uživatele často lépe pochopitelné, pokud jsou zobrazené v souvislosti s mapovými podklady. Ve vizualizacích rozsáhlých datových souborů na mapě se často používá kombinace několika dimenzí, aby bylo předáno co nejvíce informací uživateli. Příkladem může být zobrazení dat na mapě pomocí kruhových značek (Obr. 1, část d). Kruhy jsou umístěny na souřadnice související s daty, dále mají různou velikost znázorňující množství měřené vlastnosti. Pro přidání další dimenze dat mohou být použity barvy kruhů. Případně může být obarvena různými škálami i samotná mapa.

3.2 Nástroje

Pro vizualizaci „Big Data“ existuje mnoho kvalitních nástrojů nabízejících široké možnosti tvorby grafů a prezentace dat. Tyto nástroje jsou používány miliony uživatelů a mají za sebou mnoho let vývoje. Díky přehledu jejich řešení je tedy možné získat více informací o tom, jaké postupy ve vizualizacích jsou pro uživatele užitečné. Také je možné prozkoumat použité technologie a zhodnotit, zda by bylo možné tyto vizualizace a metody přenést i do virtuální reality. Nástroje zmíněné v této kapitole byly vybírány tak, aby co nejvíce splňovaly požadavky a principy zmíněné v kapitolách 3.1.1 a 3.1.2.

4 Vizualizace ve virtuální realitě

Technologie virtuální reality (VR) se neustále rozvíjejí. Stávají se dostupnějšími a lépe použitelnými. Ačkoliv z počátku byly spíše mířeny na zábavní průmysl, v poslední době se stále více ukazuje, že je lze efektivně používat i ve firemním prostředí, výzkumech a dalších oblastech. Nalézají také využití pro zobrazování velkého množství dat a rozsáhlých vizualizací.

V rámci této kapitoly budou zhodnoceny pozitivní stránky zobrazování informací ve virtuální scéně a také budou zmíněna některá omezení nebo nedostatky, na které musí být při vytváření vizualizací ve VR pamatováno. V dalších podkapitolách budou ukázány provedené studie a budou prezentovány jejich výsledky.

4.1 Přínos virtuální reality

Virtuální realita je relativně novým médiem, se kterým má většina uživatelů i výzkumníků pouze krátké zkušenosti. Proto je nutné pamatovat na základní princip této technologie, tedy že není pouhou náhradou monitoru. Pouhé zobrazení zvětšených 2D informací ve virtuální scéně není nijak přínosným přístupem. První aplikace a výzkumy tento princip využívaly a výsledky nepřevyšovaly nevýhody jako nepohodlí a omezení technologie. Silné stránky této technologie se skrývají v prostorové volnosti, schopnosti vtáhnout uživatele, interakci blížící se reálnému použití rukou a možnosti kvalitněji prezentovat velikosti, rychlosti a objemy. Budoucí vizualizace by měly využívat co nejvíce z těchto výhod a zprostředkovat tím zážitek, který převáží aktuální nedostatky technologie.

4.1.1 Vnímání prostoru

Prostorová trojrozměrná scéna je největší změnou a výhodou oproti standardním vizualizacím zobrazeným na plochém monitoru nebo papíře. Ačkoliv může být uživatel reálně pouze v malém prostoru, ve virtuální scéně je prostor téměř neomezený. Díky tomu není nutné grafiku omezovat na několik panelů vměstnaných do uživatelského rozhraní. Zde je možné využít široký trojrozměrný prostor. Pro tvůrce aplikací a výzkumníky to znamená výrazně změnit uvažování, protože po celá staletí lidského zkoumání tato možnost neexistovala. K tvorbě vizualizací je možné

využít hloubku, vzdálenosti, objemy a rozměry přesahující velikost standardní místnosti.

Porovnávání velikostí, odhady objemů nebo posuzování rozměrů je ve virtuální scéně mnohem jednodušší díky přirozenému vnímání, kterému se lidé učí již od narození. Výrazně to může zjednodušit práci architektům, návrhářům a konstruktérům. Není nutné vytvářet drahé fyzické modely. S modelem je možné přímo pracovat ve virtuální realitě, a to i ve spolupráci s dalšími lidmi, kteří nemusí být fyzicky přítomní. [23]

Z hlediska rozsáhlých datových souborů může být velký virtuální prostor možností, jak zobrazit tisíce a miliony objektů způsobem, který bude moct uživatel do hloubky studovat, a tak snadněji vyčíst potřebné informace a zajímavé poznatky. Také umožňuje prolnout více dimenzí do jedné vizualizace. Data mohou být kombinována v mnohem větším množství a lidská mysl je stále dokáže zpracovat, ačkoliv i zde existují limity. Pro zobrazení ve virtuální realitě také není nutné používat tolik abstraktních zobrazení jako v grafech. V některých případech je možné zobrazit přímo objekty, kterých se data a vizualizace týkají.

4.1.2 Vnímání pohybu

Technologie virtuální reality ještě nejsou dostatečně pokročilé, abychom mohli používat reálný pohyb našeho těla jako běh nebo skok pro pohyb ve virtuální realitě. Je nutné používat techniky k omezení nevolnosti jako teleportace nebo skokový pohyb. To ale nevylučuje použití pohyblivých součástí virtuální scény. Scéna se může kolem uživatele neustále měnit a být velmi dynamická. Lidská mysl je na přirozeně měnící se prostředí zvyklá a dokáže jej dobře vnímat. Dokud scéna obsahuje pevné body, jako například podlahu v místě kde uživatel stojí [23], nenastávají problémy s vnímáním pohybu.

Pohyb může být efektivně využit i pro zlepšení vizualizací. Uživatel si snadněji všimne změny ve frekvenci dat, v rychlosti rozpínání/smršťování nebo změně růstu. Časové průběhy mohou být díky vnímání pohybu prezentovány efektnějším způsobem a při statické prezentaci skryté prvky se mohou výrazněji projevit. Data založená na pohybu, jako například sportovní nebo závodní výkony, různé fyzikální pokusy a pohyb planet, nemusí být převáděny do abstraktní podoby, ale můžou být

zobrazeny tak, jak se staly. Pokud jsou doplněny vhodným ovládáním, může uživatel vlastním zkoumáním z vizualizace získat více informací a lepší představu o reálném průběhu dat.

4.1.3 Interakce

Kombinace myši a klávesnice je desítkami let ověřená technologie, která je optimalizována na co nejvyšší využití schopností počítače. Virtuální realita přichází s konceptem, který celý tento systém nahrazuje. Speciální ovladače se snaží principy interakce přesunout blíže k reálnému pohybu rukou. Tlačítka jsou rozmístována tak, aby uživatel nemusel přemýšlet nad jejich použitím. Pokud chce vzít do ruky objekt ve virtuální realitě, stiskne kombinaci tlačítek, která připomíná sevření dlaně. Díky tomu může být interakce s prostředím a vizualizacemi mnohem přirozenější a plynulejší. Uživatel se také většinou nemusí ovládání učit, stačí krátké vyzkoušení a ukázka použití.

Novější systémy virtuální reality obsahují kamery pro sledování prostoru před uživatelem. Díky tomu začaly vznikat systémy, které pomocí počítačového vidění dokážou detekovat pohyby rukou a prstů. Je tedy možné, že v příštích generacích technologií pro VR již nebudou součástí speciální ovladače, ale uživatel bude s vizualizací interagovat přímo svými rukama.

Interakce je velmi důležitým prvkem vizualizace, ale bývá často přehlížena. Pokud systém není snadno použitelný a uživatel nedokáže pomocí ovládání získat potřebné informace, ztrácí motivaci pro používání vizualizace. Proto může jednoduché a intuitivní ovládání, které nabízí virtuální realita, pomoci rozmachu této technologie.

4.1.4 Schopnost vtažení uživatele

Při zhodnocování kvality pracovních nástrojů není příliš brán ohled na schopnost zaujmout a vtáhnout uživatele. Ale v oblastech jako výuka, školení nebo marketingová prezentace zákazníkům může být tento prvek velmi důležitý. Je potřeba uživatele motivovat, aby si zapamatoval co nejvíce informací nebo jej zaujmout dobře prezentovaným výrobkem. Virtuální realita touto schopností disponuje. Díky již zmíněné neomezené virtuální scéně, schopnosti zobrazit

realistickou grafiku a rozsáhlé živoucí prostředí, je uživatel přirozeně motivován k prozkoumávání a strávení co nejvíce času uvnitř vizualizace. S pomocí kvalitních interakcí může uživatel ve virtuální realitě provádět různé činnosti, které jej mohou vtáhnout na dlouhé minuty a hodiny.

Protože je virtuální realita přirozeně odtržena od reálného prostředí, na uživatele nepůsobí rušivé prvky a omezuje se i vnímání času. Toho je možné využít pro naprosté vtažení uživatele, který se tak plně koncentruje a snadněji vstřebává informace a data kolem sebe.

4.1.5 Ostatní přínosy

Pandemie covidu-19 ještě více zrychlila přirozený přesun osobních schůzek a školení do virtuálního prostředí. Pomocí kamery, počítače, internetu a potřebného softwaru je možné se spojit téměř s kýmkoliv na planetě s minimálním zpožděním. Virtuální realita ale může v této oblasti přinést další posun. Častým nedostatkem videokonferencí je špatný záběr kamery a statická pozice člověka, při které přicházíme o část kontaktu včetně řeči těla nebo gest rukou. Také je nutné sedět nebo stát v nepřirozené pozici, což neprospívá lidskému zdraví. Virtuální realita umožňuje přenést i pohyb těla a rukou přímo do virtuální schůzky. Nové technologie pracují i se snímáním obličeje a jeho přenosem na virtuálního avatara. Díky větší volnosti je možné se ve VR pohybovat bez nutnosti být stále ve vyhrazeném záběru. Zároveň je možné přenést řešený problém a data přímo do virtuální scény, a spolupracovníci tak mohou komunikovat i přímou manipulací s objekty, ukazováním a psaním. Firma Meta vytvořila systém Horizon Workrooms, který má schůzky ve VR co nejvíce zjednodušit a udělat je dostupné širokému množství lidí. Tomuto řešení věří a považuje jej za základ budoucího virtuálního světa, také nazývaného metaverse [24].

Dalším přínosem virtuální reality je možnost vyzkoušet nebezpečné situace. V bezpečí VR brýlí je možné zažít krizové situace, ovládat nebezpečnou techniku, provádět náročné simulace a testovat další scénáře, které by mohly být v reálném světě nebezpečné nebo rizikové. Tato vlastnost je již nyní testována v rámci výuky a tréninku profesionálů [25].

Každodenní součástí našeho života jsou hodiny strávené u počítačů a dalších elektronických zařízení. Pro lidské tělo není přirozené být dlouhou dobu v jedné poloze, a může tím tak trpět naše zdraví. Jsou vymyšleny vylepšení jako vysouvací stoly, kvalitnější židle a ergonomické nástroje, aby se následky co nejvíce minimalizovaly. Virtuální realita oproti tomu umožňuje přirozenější pohyb a snadnější změnu pozice při práci. Při správné kombinaci a využití by tedy mohla být zdravější alternativou pro každodenní práci s počítačem. Je nutné ale i zde dodržovat určitá opatření pro minimalizaci jiných nedostatků a omezení.

4.2 Omezení a nedostatky zobrazování

Virtuální realita a technologie s ní spojené jsou stále relativně novým systémem, a neustále tedy procházejí vývojem a vylepšováním. I přesto nejsou ještě plně odstraněny nedostatky, které mohou omezovat vizualizaci nebo uživatelské vnímání. Tvůrce i uživatel vizualizací ve virtuální realitě by si jich měl být vědom, aby se jim dokázal vyhnout nebo snížil jejich efekt.

4.2.1 Technologická omezení

Displej brýlí virtuální reality je vzdálený pouze několik centimetrů od uživatelských očí, a je tedy nejvýraznějším prvkem, který se v této technologii řeší. Nejnovější řešení jako Valve Index nebo Oculus Quest 2 se již blíží k hodnotám rozlišení 2K pro každé oko (1832 na 1920 px). I tak displej není dostatečně jemný, aby dokázal lidskou mysl přesvědčit, že se jedná o reálné zobrazení. Což může vést ke zhoršenému vidění, problematickému zaostřování a nevolnostem. Cílem je 4K nebo 8K rozlišení pro každé oko.

Se zvyšováním rozlišení displejů je nutné neustále zvyšovat i výkon zpracování vizualizace, tedy hlavně počítačových komponent CPU a GPU. I když parametry těchto součástí neustále rostou, vždy je možné vytvořit ještě detailnější prostředí, zobrazit více dat a informací. Proto bude potřeba, aby výkon počítačů rostl neustále. Čím kvalitnější vizualizaci bude možné zpracovat, tím věrnější bude zážitek a tím lépe jej bude uživatel vnímat.

Velká část řešení pro VR stále používá kabelové propojení s počítačem. Uživatel je tak výrazně omezen v pohybu a musí neustále dbát na nebezpečí zamotání

nebo zachycení. Existují dodatečné počítačové komponenty, pomocí kterých je možné připojit náhlavní soupravu bez kabelů. Žádná z nich ale zatím není přímo součástí setu a cenově se pohybují v rámci tisíců Kč. Je totiž nutné přenášet obraz s vysokým rozlišením, zvuk, data o pohybech hlavy i ovladačů a vše zpracovávat s naprosto minimální odezvou. Pokud se odezva zvýší nad přijatelnou úroveň, nastává výrazné nebezpečí nevolnosti uživatele.

Řešit problémy s omezením pohybu, cenou a přenositelností se snaží firmy pomocí souprav, které nepotřebují připojení k počítači, ale veškerý hardware je integrovaný do brýlí. Zástupci jsou Oculus Quest nebo HTC Vive Focus. I toto řešení obsahuje určité nedostatky. Hardware kvůli miniaturizaci, chlazení a běhu na baterii není tak výkonný jako v samostatně běžících počítačích, a proto i vizualizace musí být zjednodušené. Baterie v těchto zařízeních musí napájet celý systém, ale zároveň nemůže být příliš těžká na to, aby ji uživatel nedokázal unést na hlavě. Proto se běžná doba provozu těchto souprav pohybuje pouze v jednotkách hodin.

Dále je nutné pamatovat na zahřívání a nepohodlnost těžké náhlavní soupravy. Tyto problémy se snaží řešit miniaturizace a lepší systém vyvážení a zachycení brýlí na hlavě, ale dokud se nepodaří brýle zmenšit do velikosti standardních dioptrických nebo slunečních brýlí, bude nošení headsetu pro uživatele nepohodlné.

V kapitole 4.1.3 byla zmíněna interakce pomocí ovladačů. I tento systém má své nedostatky v podobě omezené doby běhu na baterie a limitace přenosu vjemů. Sledování uživatelských rukou místo ovladačů by zpříjemnilo zážitek a eliminovalo jednu ze součástí soupravy, ale na druhou stranu díky tomu přijde systém o možnost komunikace s uživatelem pomocí vibrací nebo zpětné vazby tlačítek.

4.2.2 Nevolnost a psychologická omezení

Používání zařízení pro virtuální realitu nepřináší pouze technické problémy. Protože je uživatel odstíněn od reálného světa a všechny informace přijímá pouze ze zařízení, existují i problémy spojené s přirozeným lidským vnímáním okolního prostředí.

Problémem, který byl velmi výrazný hlavně v počátcích virtuální reality, byla nevolnost. Vnitřní rovnovážný systém člověka je velmi náchylný i na drobné odchylky pohybu obrazu, který vidí očima, od toho, co vnímá. Pokud uživatel otočí hlavou, ale

obraz na displeji se překreslí až se zpožděním, rovnovážný systém vyvolává varovné signály, které mohou vést k nevolnosti, bolení hlavy nebo závratím. Detekce pohybu uživatele a překreslení zobrazených informací musí být téměř okamžité. I z tohoto důvodu jsou novější systémy virtuální reality osazeny displeji s překreslovací frekvencí 90 Hz a více. Díky tomu je vizualizace plynulejší a příjemnější pro vnímání uživatele.

K nevolnosti a diskomfortu uživatele by také mohl přispět špatně zvolený pohyb. Pro většinu uživatelů není pohyb problematický, pokud vidí, jakým směrem se pohybují a rychlost není nepřiměřená. Když ale dojde k nepřírozenému pohybu do stran nebo vzad, nebo když rychlost pohybu kolísá, může dojít k velmi rychlému nástupu nevolnosti. Proto bylo vyvinuto několik metod, které pomáhají tento problém eliminovat a jsou nyní standardní součástí většiny frameworků pro vývoj aplikací pro virtuální realitu. Mezi ně patří pohyb pomocí teleportace, kdy uživatel ukáže na místo, kam se chce přesunout, a po potvrzení je okamžitě bez prolnutí přesunut na zvolenou pozici. Dalším způsobem pohybu je pevně nastavený pohyb pouze vpřed. Uživatel určuje směr otáčením hlavy a nikdy nemůže dojít k pohybu do stran. Často je rychlost tohoto pohybu lineární bez zpomalování nebo zrychlování. Na rychlostní přechody je člověk velmi citlivý a je vhodné se jim vyhnout.

Při používání a vývoji vizualizací pro virtuální realitu je také nutné pamatovat na psychologické vnímání okolí. Příliš stísněné nebo temné virtuální prostředí může vyvolávat úzkosti nebo klaustrofobické pocity. Vhodná vizualizace by tedy měla obsahovat prostředí s cílem poskytovat příjemný a pohodlný zážitek pro co největší spektrum uživatelů.

Při vytváření vizualizací by se nemělo zapomínat ani na osvědčené postupy používané při vytváření standardních počítačových a mobilních aplikací. Mezi ně patří přizpůsobení pro barvoslepé, správná volba písma a jeho velikosti a další optimalizace UX (user experience).

4.3 Možné oblasti využití vizualizace ve virtuální realitě

Pomocí virtuální reality je možné zobrazovat a prezentovat informace odlišným způsobem, než bylo dosud standardně možné. V předchozích kapitolách zmíněné vnímání trojrozměrného prostoru, jeho hloubky a velikosti, vnímání pohybu

a přirozená interakce prezentují virtuální realitu jako platformu pro novou generaci aplikací, které umožní dosáhnout vyšší úrovně pracovní efektivity, spolupráce a přesnosti. V konkrétních oblastech je opravdu možné najít použití, které převyšuje standardní nástroje a nachází efektivní využití i v reálném pracovním prostředí. Také ale bylo zjištěno, že virtuální realita v nynější podobě není náhradou standardních počítačových rozhraní jako jsou monitory, klávesnice a myš. Je jejich kvalitním doplňkem, který má velký budoucí potenciál.

V této kapitole bude rozebráno několik oblastí, kde je možné vidět efektivní aplikování virtuální reality a konkrétní případy použití. Zároveň bude ukázáno, jakým způsobem se projevují silné i slabé stránky virtuální reality. Rozbor těchto vlastností je důležitý i z hlediska výsledné praktické části diplomové práce, protože díky tomu bylo možné lépe určit jaké konkrétní oblasti by se měla aplikace věnovat.

4.3.1 Architektura a design

Velká část ukázek použití virtuální reality v pracovním prostředí se věnuje právě architektuře, designu a technologickému vývoji. Tato oblast je snadno pochopitelná, a i laik si dokáže představit využití virtuální reality v této oblasti. V architektuře se nejlépe projevuje výrazná vlastnost virtuální reality, tedy přirozené vnímání prostoru. Architekt, inženýr, stavebník i manažer vidí na vlastní oči reálné rozměry i komplexitu a mohou tak ještě v rámci návrhu řešit případné nedostatky. Virtuální realita odstraňuje nedostatek ve formě nepřehlednosti a složitosti programů pro práci s formáty jako CAD nebo BIM, a může tak být použita jako snadnější forma prezentace výsledků zákazníkům nebo veřejnosti. Pro menší objekty také bývá často kombinována s rozšířenou realitou (AR), která může být snadno používána i na mobilních zařízeních. [26]

Virtuální realita nemusí sloužit pouze jako prezentační nástroj. Přímo ve virtuální scéně lze provádět úpravy a vytvářet design. Díky virtuálnímu prostředí je možné spolupracovat v rámci týmu a používat hlasovou nebo textovou komunikaci. Přímo ve scéně mohou být uvedeny poznámky, náčrty a další podklady projektu. Pro zvýšení realističnosti ve většině aplikací uživatelé mají vlastního avatara a jsou používány i pokročilé nástroje jako synchronizace hlasu s ústy virtuální postavy nebo přenos výrazu obličeje. Tyto nástroje jsou obzvláště žádané v souvislosti

s rozmachem práce z domu nebo možností spolupracovat napříč týmy po celém světě. Tento způsob spolupráce se snaží podporovat i velké společnosti v čele s firmou Meta, která připravila vlastní řešení nazvané Horizon Workrooms [24].

Samostatnou oblastí tvorby jsou umělecké výtvary. I zde virtuální realita přináší nový způsob práce. S pomocí aplikací jako Tilt Brush nebo Painting VR je možné vytvářet vizualizace na pomezí 2D a 3D. Umělci vytvářejí složitá díla, optické iluze, komplexní scény a další výtvary, které by bylo náročné nebo nemožné vytvořit v reálném světě.

Kromě výše zmiňovaných aplikací a systémů existují další nástroje pro architekturu a design ve virtuální realitě. Softwarová firma Autodesk již několik let podporuje virtuální realitu a široká škála jejích produktů podporuje práci nebo zobrazování ve VR. Pro práci s 3D modely, animací a renderováním jsou používány aplikace 3ds Max a Maya. Pro firmy pracující s BIM a CAD projekty jsou připraveny nástroje Revit a LIVE Design [27]. Dalším zástupcem nástrojů pro práci s technologickými nákresey je Fuzor. Ten umožňuje použít širokou sadu nástrojů jako Revit, Sketchup, Civil 3D a další pro vytvoření modelu a jeho následný import do systému pro prezentaci ve VR [28]. Mnoho dalších aplikací pro návrh architektury a tvorbu designu nabízí možnost zobrazení nebo exportu do rozšířené nebo virtuální reality. V tomto odvětví je virtuální realita hojně využívána a zřejmě bude docházet k dalšímu rozšiřování.

4.3.2 Výzkum lidského chování a vnímání

Virtuální realita svým přirozeným odstíněním uživatele od reálného světa může výrazně ovlivnit jeho chování a vnímání. Jak bylo popsáno v kapitole 4.2.2, může to mít v určitých případech negativní efekt v podobě úzkostí nebo závratí. Zároveň ale výskyt takového jevu umožňuje jeho přímé zkoumání a testování různých přístupů k jeho eliminaci nebo vyvolání. Díky tomu může být jednoduše zkoumána mozková činnost zodpovědná za koordinaci, orientaci a stav psychické pohody. Tento výzkum pomáhá dále vylepšovat technologie virtuální reality, ale zároveň může sloužit k lepšímu pochopení lidského vnímání [29]. Je možné vytvořit aplikace, které simulují určité situace, a tím vyvolávají různé psychologické efekty.

Výraznou oblastí v použití virtuální reality v souladu s lidskou psychologií je výzkum rehabilitace a relaxace. V obchodech pro VR je možné nalézt aplikace, které obsahují uklidňující scény doplněné hudbou, procházky v přírodě nebo meditační asistenty. Ačkoliv mohou tyto aplikace pomáhat běžným uživatelům, existují výzkumy, které se přímo na tento problém soustředí a snaží se jej analyzovat a převést do lékařské praxe. Kromě standardních přírodních témat a hudby se například studie *User-Centered Virtual Reality for Promoting Relaxation: An Innovative Approach* [30] zamýšlí nad simulacemi, které by byly přizpůsobené konkrétním uživatelům. Pomocí umělé inteligence (AI) a analýzy uživatelských potřeb by se přizpůsobovalo prostředí pro co nejefektivnější relaxaci. Tento způsob by mohl výrazně přispět ke kvalitnímu uvolnění od stresu. Studie s názvem *Older Adults With Cognitive and/or Physical Impairments Can Benefit From Immersive Virtual Reality Experiences: A Feasibility Study* [31] se zabývala použitím vizualizací pro terapii zestárlých, kteří mají problém s pohybem nebo vnímáním a s tím spojenými psychickými problémy jako deprese, osamělost nebo apatie. Použití 360° přírodních scénérií, které byly uživateli promítány až po dobu 20 minut, mělo pozitivní efekt. Uživatelé většinou nepociťovali problémy s použitím náhlavní soupravy a zážitek hodnotili kladně z hlediska efektu na jejich náladu a emoce.

Použití virtuální reality je zkoumáno i v dalších oblastech lidského vnímání, psychiky a jejich léčby. Byly provedeny výzkumy úzkostných poruch, posttraumatického stresu, panického strachu, poruch příjmu potravy, autismu, ADHD nebo chronické bolesti. Ve většině studií byl pozorován pozitivní vliv využití virtuální reality. Častou kladně hodnocenou vlastností je možnost přizpůsobení a ovládnutí virtuální scény, a tedy i výsledného efektu. Díky tomu mohou lékaři a odborníci snadno testovat různé efekty a optimalizovat užitek. Jednoduchost a uzavřenost virtuální reality také přispívá k většímu bezpečí pacienta v průběhu léčby a lepšímu pocitu soukromí. [32]

4.3.3 Trénink a školení

Již celá desetiletí jsou úspěšně využívány simulační techniky pro trénink a školení. Piloti, řidiči nebo vojáci často stráví mnoho hodin v počítačových simulátorech před prvním použitím reálného stroje nebo nasazením do akce. Je tedy

logické, že monitory a složité systémy simulátorů jsou v některých případech nahrazovány systémy virtuální reality. Díky tomu může být celý systém levnější, rychleji přizpůsobitelný a přenosný. Zároveň díky tomu je trénink přístupnější širší skupině uživatelů. Školení pomocí virtuální reality se rozšířilo i do dalších profesí, kde je využíváno k výuce, ale zároveň i k bezpečnostnímu školení nebo odhalování pracovních rizik. Tento přístup je vhodný díky jeho bezpečnosti a nízké ceně oproti tomu, kdyby bylo školení prováděno v reálném prostředí. Je možné se setkat s použitím VR ve stavebnictví, strojírenství, technologickém vývoji nebo v chemickém průmyslu. [25]

Použití virtuální a rozšířené reality se neomezuje pouze na školení náročných profesí a používání drahých strojů. S nižší cenou náhlavních sestav, VR v mobilních zařízeních a širším okruhem uživatelů jsou nyní vizualizace ve virtuální realitě hojně používány k marketingovým a propagačním akcím. Uživatelé si tak mohou výsledný produkt předem prohlédnout a vyzkoušet. Zároveň jsou lidé stále přitahováni k propagačním akcím používajícím technologii virtuální reality, protože i přes vyšší dostupnost náhlavních souprav velká část populace stále neměla možnost si VR vyzkoušet.

V oblasti tréninku a školení se ukazuje, že virtuální realita není vždy ideální náhradou standardních metod. Některé výzkumy věnující se této oblasti zjistily, že využití virtuální vizualizace mělo velmi malý nebo dokonce záporný efekt. Ačkoliv je téměř vždy virtuální realita hodnocena jako zajímavý a pohlcující zážitek, mohlo docházet k rozptýlení uživatele nebo přehlédnutí důležitých informací. Autoři většinou přiznávají, že tento efekt mohlo způsobit konkrétní hardwarové řešení, nevhodnost testovací vizualizace nebo nepohodlí uživatelů. Nicméně je nutné o virtuální realitě přemýšlet opatrně a aplikovat její použití pouze tam, kde dává smysl.

4.3.4 Vzdělávání

Většina škol využívá počítačové technologie k výuce. Ať už přímo pomocí softwaru, který žák ovládá, nebo prezentačních nástrojů jako interaktivní tabule nebo projektory. Virtuální realita se může stát dalším prostředkem, který umožní žákům přijímat informace poutavým a kvalitním způsobem. Znalosti mohou vnímat více

smysly než pouhým čtením z učebnice. Data mohou být součástí 3D scény, která je lépe zapamatovatelná než obrázek. Studie ukazují, že výuka ve VR má pozitivní efekt a vykazuje účinné výsledky v předávání informací a praktických zkušeností. [33] Její kvalitní stránkou je, že nepředává pouze data, ale pomáhá vzdělávat pomocí konceptu „učení praxí“, kdy uživatel může konkrétní informace a zkušenosti získat přímo vykonáváním dané činnosti, navštívením místa nebo interakcí s objekty.

Ačkoliv virtuální realita nabízí mnoho výhod v rámci vzdělávání, zdá se, že existuje mnoho překážek k jejímu masivnímu rozšíření. Hlavním problémem je cena zařízení a jejich obtížná skladnost. Školy by musely vyčlenit významnou částku na pořízení desítek zařízení a jejich příslušenství. Také není jednoduché vytvořit učebnu virtuální reality podobně jako počítačovou místnost. Velká výhoda virtuální reality je volnost pohybu uživatele, možnost pohybovat celým tělem a interagovat s prostředím. Pokud by byl přinucen sedět na jednom místě a pohyby omezit na otáčení hlavy, velká část virtuálního zážitku by nebyla využita. Jednalo by se pouze o zvětšení standardního počítačového monitoru. Další velkou překážkou je nedostatek vzdělávacího obsahu. I kdyby se školám podařilo získat zařízení, neexistují komplexní sady výukového obsahu ve virtuální realitě podobné učebnicím. Většina vzdělávacích aplikací se omezuje na několik ukázek, které slouží spíše k otestování konceptu než k mnohahodinové systematické výuce. Jak bude ukázáno i v následující kapitole 4.4, většina vzdělávacích vizualizací má za cíl žáka zaujmout a ukázat mu pečlivě znázorněnou informaci, ale jejich časový rozsah se pohybuje maximálně v desítkách minut.

Výuka pomocí virtuální reality potřebuje sjednocující systém podobně jako jsou aplikace na mobilních zařízeních snadno filtrovatelné, vyhledatelné a dostupné pomocí interních obchodů. Studie *A systematic review of immersive virtual reality applications for higher educations: Design elements, lessons learned, and research agenda* [34] ukazuje, že existuje výrazný zájem o zařazení vizualizací ve VR do výuky. Problémem je standardizace, generalizace nástrojů pro tvorbu vzdělávacích materiálů a centrální systém, kde by bylo možné dostupné vzdělávací vizualizace vyhledávat a stahovat. Také ukazuje, že technologie a postupy používání VR ve výuce jsou zatím velmi experimentální. Dostupné studie jsou zaměřené na konkrétní technický nebo

vizualizační problém, místo aby zkoumaly způsob, jak obecně zprostředkovat výuku pomocí virtuální reality. [35]

Praktická část této diplomové práce je svým zaměřením nejbližší k výuce a zprostředkování informací. Většina zvolených postupů byla ale vytvářena tak, aby je bylo možné generalizovat, opakovat pro jiné zadání, a tedy v budoucnosti využít pro vytvoření dalších vizualizací. Ačkoliv nebylo možné v rámci této práce vytvořit samostatný framework, který by umožňovat budování komplexních vzdělávacích vizualizací, některé ze zmíněných přístupů by se v rámci takového frameworku daly využít.

4.4 Provedené studie

Vizualizace ve virtuální realitě jsou vhodným tématem ke studiu a zkoumání. Tato oblast je teprve ve svých začátcích a potenciální poznatky a objevy mohou být velkým přínosem do dalších generací technologie, frameworků pro vývoj aplikací i samotných vizualizací. Virtuální realitě se věnuje i komerční prostor, takže vhodné nové poznatky mají potenciál zpeněžení či nároku na dotační podporu. V této kapitole budou prezentovány zajímavé poznatky a přístupy, které by mohly být použity v praktické části.

Výběr prací byl definován klíčovými slovy „virtual reality“, „visualization“. Při vyhledávání byly preferovány práce, které používají nebo mají předpoklady k použití velkého množství dat a zobrazují rozsáhlejší datové vizualizace. Kvůli pokroku ve vývoji technologie byly vyřazeny práce, které jsou staršího data vydání než rok 2018. Po rešerši výsledků byly nalezeny čtyři studie, které splňují požadovaná kritéria a obsahují přínosné informace.

4.4.1 Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality [36]

Autoři se v této práci zaměřili na vizualizaci dat a rozměrů, které jsou nám známé, ale standardním 2D zobrazením mohou pro člověka ztratit smysl. Uživatel chápe význam těchto dat a hodnot, ale nedokáže si pod nimi představit reálný rozdíl. Proto autoři vytvořili sérii virtuálních scén, které uživateli dokážou data zprostředkovat způsobem, který je snadněji pochopitelný a představitelný.

První virtuální scénou byla prezentace olympijských medailistů v běhu na 100 metrů od roku 1896 až do roku 2012. V tabulce je snadné seřadit a porovnávat jejich výkony, ale pro člověka je obtížné si z těchto dat vyvodit, jak rychle reálně sprinteři běželi a jak se časové rozdíly promítají do rozdílů vzdáleností. Druhá vizualizace, podobná té první, se zabývá porovnáním olympijských výkonů ve skoku do dálky. Zde je obtížné představit si reálnou délku skoku a jak malé rozdíly jsou mezi nejlepšími atlety v této disciplíně. Třetí scéna pomáhá s porovnáním známých mrakodrapů. Ačkoliv je jasné, že se jedná o ohromné budovy, z porovnání na 2D obrázku není možné získat reálný vjem velikosti. Autoři tak budovy postavili do jedné scény, kde uživatel nejen pochopí jejich velké rozměry, ale dokáže budovy mezi sebou porovnávat. Čtvrtá scéna znázorňuje uživateli, jak velká je vzdálenost mezi Měsícem a Zemí tím, že mezi ně umístí všechny ostatní planety sluneční soustavy. Vzdálenosti ve vesmíru jsou pro člověka často nepochopitelné, tato scéna tak pomáhá data představit srozumitelnou formou. V páté vizualizaci se pokoušejí autoři znázornit množství lidí, kteří se zúčastnili protestů v Hong Kongu v roce 2019, a jaké to je být přímo uprostřed davu milionu lidí. Poslední šestá vizualizace se věnuje obtížnému pochopení množství peněz, které se pohybuje ve finančním systému. Scéna je sestavena z balíčků, které by tvořily 100 dolarové bankovky, kdyby byl na jedno místo shromážděn celý státní dluh USA.

Autoři velmi vhodně zvolili jednotlivé ukázky tak, aby otestovali celou škálu vizualizací. Od vizualizace sportovců, přes prostorově rozsáhlé objekty až po téměř abstraktní pojmy a čísla. Ve své práci uvádějí, že první dvě ukázky jsou díky své menší velikosti a reálnosti pro člověka nejsnadněji přijatelné a pochopitelné. S tím, jak se zvětšují vizualizace, je náročnější provádět pozorování, vyvodit rozdíly, a tedy i význam vizualizace.

Jedním z výsledků práce je závěr, že vizualizace ve virtuální realitě by měly využívat volného pohybu, který tato technologie nabízí. Díky pohybu bylo možné snadněji pozorovat rozdíly mezi sportovci, představit si, jakou rychlostí běží, a zvolit si pohled, který uživateli vyhovuje. Pro vizualizaci mrakodrapů bylo nezbytné přidat možnost volného létání v prostoru, protože pohledem od paty takto velkých budov už perspektiva odstraňuje možnost posoudit rozdíly.

Dalším poznatkem je nutná přítomnost reálného prostředí. Pokud se sportovci pohybovali v prázdné scéně, bylo obtížné vyhodnotit jejich rychlost a rozdíly. Po přidání sportovního stadionu byl dojem z vizualizace kvalitnější. Ve vizualizacích mrakodrapů a stohů peněz bylo nutné přidat zem, jinak bylo obtížné pro uživatele určovat výšku.

Vnímání velikosti je ve vizualizacích také důležité. Autoři ve studii vytvořili scénu s mrakodrapy v reálné velikosti a poté v miniaturních verzích. Miniaturní verze budov odstranila pocit uvěřitelnosti a reality. Pátá ukázka ve formě davu lidí přinesla neuspokojivé výsledky. Kvůli překrývání lidí v davu a nízkému dohledu do dálky nebylo možné poznat, jestli uživatel stojí mezi několika stovkami lidí nebo mezi miliony. Ztratil se tím efekt, kterého chtěli autoři dosáhnout. Pro lepší pohled na dav se mohl uživatel vznést vzhůru, ale zde už vizualizace působila jako scéna z televizní kamery, místo aby působila na uživatele dojmem, že je součástí vizualizace. Jako nevhodná se ukázala i scéna se stohy peněz. Uživatelé ji hodnotili jako nerealistickou a neodnesli si z ní příliš mnoho nových informací.

Další poznatky této studie jsou: Realističnost scény není klíčová pro pochopení dat, ale pomáhá lépe se zabrat do vizualizace. Popis dat je užitečný pro ucelení vizualizace a příliš neodvádí pozornost. Je nutné najít rovnováhu ve směřování uživatele a ponechání volnosti pro průzkum vizualizace.

4.4.2 Virtual Reality: Beyond Visualization [37]

Autoři v této studii rozebírají použití vizualizací ve virtuální realitě pro zkoumání složitých struktur jako jsou neurony, proteiny nebo molekuly. Vidí potenciál ve využití VR pro výzkum v laboratořích a výuku. Hlavní výhodou nacházejí v možnosti převést 2D obrazová data na komplexní 3D prostorové vizualizace. Takto zobrazená data je jednodušší procházet a filtrovat pomocí definice oblasti zájmu. Jako vhodnou hodnotí i možnost pohybu ve scéně, ovládání vizualizace samotné podle potřeby uživatele a zvýšenou přesnost práce s daty.

Za klíčovou část pro úspěšnou vizualizaci dat považují způsob, jakým převést obrazová data jako barvu, průhlednost nebo oblak nasnímaných bodů na 3D reprezentaci. Pro prezentaci dat využili vlastní software nazvaný DIVA, který tento

převod prováděl. Vizualizaci je přesto nutné ručně doupravit a anotovat, aby poskytovala požadovanou přehlednost dat.

Studie hodnotí využití VR vizualizací v laboratořích pozitivně. Předpokládá, že by 3D zobrazení mohlo zvýšit pochopení dat a produktivitu práce. V rámci ukázek autoři úspěšně vizualizovali neurony, dělící se buňky zachycené mikroskopem, chromozomy kvasinek nebo jádra buněk. Jako vhodnou hodnotí i schopnost vtažení uživatele do scény, a tedy lepší soustředění na vizualizaci.

Byly identifikovány dvě oblasti, které vyžadují další zkoumání a vývoj. První byl způsob interakce se scénou. Autoři v rámci práce vytvořili systém, pomocí kterého uživatel mohl s vizualizací manipulovat, přidávat anotace nebo měřit vzdálenosti. Docházejí ale k názoru, že ovládání ve VR není standardizované mezi aplikacemi podobně jako ovládání myši a klávesnicí, a vyžaduje tedy další zkoumání. Druhou oblastí je zpracování a vykreslování rozsáhlých datových souborů. Mikroskopy a další laboratorní zařízení dokážou generovat velmi rozměrná data, která je obtížné automaticky zpracovávat a vizualizovat. Autoři tedy navrhují další vývoj analytického software a optimalizaci hardwaru jako další krok k pokročilým vizualizacím.

4.4.3 Exploring Data in Virtual Reality: Comparisons with 2D Data Visualization [33]

Tato práce se zabývá porovnáním efektů vizualizací ve virtuální realitě a ve 2D prostoru (zobrazení na počítačovém monitoru). Pro porovnávání byly vytvořeny dvě samostatné vizualizace. Data pro vizualizace měla více dimenzí, aby je bylo možné zobrazit ve 3D prostoru. Pro zobrazení ve 2D byl využit speciální typ grafu nebo sestava několika grafů.

První vizualizace se zakládala na datech zaznamenaných v mřížce. Osu X tvořil čas, osu Y měřená hodnota. Byly sledovány dvě hodnoty. Pro zobrazení těchto dat ve virtuální scéně byl vytvořen prostor ve tvaru kvádrů. Osu X tvořil čas, osu Y první měřená hodnota a osu Z druhá měřená hodnota. Jednotlivá data byla znázorněna koulemi umístěnými do prostoru. Druhá vizualizace používala pro zaznamenání dat graf paralelních souřadnicových os. Každý graf znázorňoval jeden den v týdnu, pro dny od pondělí do pátku. Ve virtuální scéně byl opět použit graf paralelních

souřadnicových os, ale dny v týdnu byly sloučeny do jednoho grafu tak, aby tvořily data na ose Z, tedy třetí rozměr.

Vytvořené vizualizace byly poté testovány 16 dobrovolníky, kteří si vyzkoušeli vizualizaci, v průběhu testování nahlas vyslovovali své dojmy a závěry, které vyčetly z dat, a po skončení vyplnili dotazník. Poté byly vyhodnoceny výstupy testování. Překvapivě v celkovém hodnocení měla 2D vizualizace srovnatelné výsledky s virtuální realitou. Rozdíly se ale projevíly v konkrétních hodnotách. Uživatelé podle předpokladu vyhodnotili virtuální realitu jako více fyzicky náročnou kvůli nutnosti stání a pohybu ve scéně. V rámci hodnocení výkonu ale byla výrazně preferována vizualizace pomocí VR. Uživatelé virtuální reality se cítili úspěšnější a spokojenější s dosaženými výsledky. Také uživatelé ve virtuální scéně docházeli k méně chybným závěrům. Jako negativní faktor mohou být vnímána zjištěná pozorování, že někteří uživatelé se snažili 3D grafy zkoumat takovým způsobem, aby se jim zobrazily jako 2D vizualizace (pohledem přímo z boku).

Jak autoři shrnují ve své práci, použití virtuální reality nemusí znamenat výrazné zkvalitnění výstupů výzkumu nebo výuky, ale může je udělat uspokojivější a příjemnější. Uživatelé mají větší motivaci prozkoumávat data a ověřovat si své závěry.

4.4.4 DataHop: Spatial Data Exploration in Virtual Reality [38]

Cílem této studie bylo vytvoření komplexního systému pro efektivní zobrazení rozsáhlých datových souborů. Nebyla vytvářena pouze ukázka s pevně definovanými daty a statickou vizualizací, ale nástroj, který umožňuje flexibilně data zkoumat a nabízí takovou formu abstrakce, aby bylo možné do něj vložit různé sety dat. V rámci práce nebyla řešena komplexita dat, hardwarové nároky ani zpracování, ale pozornost byla zaměřena na uživatelské ovládání, komplexní vizualizaci, exploraci a práci s daty.

Systém nazvaný DataHop je založen na předpokladu neomezené virtuální scény. Standardní 2D způsoby vizualizace mají omezený prostor pro zobrazení. Virtuální realita umožňuje pohyb v prostorné scéně téměř bez omezení. Vizualizace tedy byla vytvářena jako systém rozpínající se v prostoru. Bylo by ji možné přirovnat ke stromovému grafu, který začíná z kořenového uzlu a rozvíjí se pomocí větví.

Kompletní soubor dat je znázorněn kořenovým uzlem. Z něho je možné vytvořit propojený uzel, zde nazývaný Filter. V nastavení tohoto uzlu se pomocí grafického rozhraní definují omezení dat, výběr kategorie nebo se jiným způsobem zúží výběr dat z původního souboru. Filtry je možné navazovat a vytvářet tak složitější výběry. Po dokončení nastavení filtru je na něj navázán uzel typu Data Panel, který slouží ke zobrazení vyfiltrovaných dat. Tento typ uzlu umožňuje seskupování, seřazení a přepínání režimu zobrazení. Pokud je výsledek tvořen několika skupinami, jsou jednotlivé skupiny zobrazeny jako uzly navázané na Filter. Zde je možné změnit zobrazení na horizontální (zobrazení vedle sebe v řadě), cirkulární (zobrazení kolem rodičovského uzlu) nebo vertikální (zobrazení jako patra výtahu v různých vertikálních rovinách). Tímto systémem může být soubor dat prozkoumáván a vizualizován.

Pro snadnější pohyb ve vizualizaci byl vytvořen systém přesunu mezi uzly pomocí teleportace. Pokud je vybrán vertikální režim zobrazení, v průběhu přesunu mezi vrstvami se zobrazuje jednoduchý výtah včetně prolnutí pro příjemnější pohybu. Přehlednost systému byla dále zvýšena použitím zjednodušené vizualizace umístěné podobně jako hodinky na zápěstí uživatele.

Testem s šesti účastníky se ověřilo, že je systém použitelný a přínosný. Po vysvětlení ovládání dokázali uživatelé vytvářet stromové struktury, pomocí kterých zjišťovali zajímavé souvislosti. Účastníci testu mezi kladné stránky řadili volnost pohybu spojenou s přehledností. Pozitivně hodnotili také zmenšený model na zápěstí nebo přesun pomocí výtahu pro lepší přehlednost. Jako prvky, které by mohly být zlepšeny nebo rozšířeny byly identifikovány režimy zobrazení a složitost vytváření filtrů. Uživatelé navrhovali vytvoření hybridních režimů zobrazení nebo možnost jejich přizpůsobení.

Tato studie ukázala, že je možné vytvořit komplexní systém s dostatečnou abstrakcí, aby bylo možné vytvářet vizualizace ve virtuální realitě dynamicky a v návaznosti na datový soubor. V budoucnosti by mohl být systém rozšířen do plnohodnotného software, který by sloužil jako analytický nástroj.

4.5 Vývoj vizualizace rozsáhlých datových souborů ve VR

Pro vývoj vizualizací rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě existují všechny potřebné technologie. Hardware je schopný výkonnostně i kapacitně zpracovat velké množství dat. Technologie virtuální reality se za poslední roky výrazně zlepšila, takže nebrání zobrazování složitých scén. Softwarové frameworky poskytují nezbytné základy pro práci s daty, podporují pokročilé vykreslování komplexních scén a mají předpřipravené knihovny pro komunikaci s potřebným hardwarem. I přesto není vytvoření vizualizace rozsáhlých datových souborů jednoduchým úkolem. Je nutné, aby všechny součásti fungovaly dohromady a poskytovaly uživateli data vhodným a kvalitním způsobem.

Ještě před sestavením vizualizace musí být provedeno několik kroků. Po sběru dat je nutné informace transformovat do formátů a souborů, které dokáže systém snadno zpracovat. Vzhledem k velikosti dat by tyto formáty měly podporovat snadný dávkový přístup. Při zobrazování vizualizace většinou nemůžou být data přímo načítána ze souborů, protože by to mohlo výrazně zatížit hardware a pomalé načítání by způsobilo nepříjemný uživatelský zážitek. Z tohoto důvodu se většinou data předzpracují a uloží přímo do dat vizualizace nebo alespoň načtou do paměti při startu aplikace, aby přístup k nim byl co nejrychlejší. Tímto předzpracováním může být velikost dat výrazně snížena, jelikož je v této fázi možné odstranit pomocná data jako časové značky, souřadnice, indexy nebo data, která ve vizualizaci nebudou použita. Indexy, časové značky a další pomocná data mohou být snadno nahrazena například správným řazením v datovém poli, pomocí kterého je možné tuto informaci odvodit. Pokud je to potřeba, měla by tato část obsahovat i základní filtraci. Například nemá smysl načítat data v hodnotovém rozsahu, kategorii nebo přesnosti, která ve vizualizaci nebude použita. Již ve fázi vývoje může být výrazně ovlivněna kvalita vizualizace, protože správné zpracování dat umožní vytvoření výkonnější aplikace.

Před samotným sestavováním aplikace nebo vytvářením systému pro generování vizualizací by měly být ujasněné základní parametry vizualizace. Mezi ně patří rozměry vizualizace, předpokládaná složitost modelů, předpokládaný počet zobrazovaných částic nebo dynamika vizualizace. Vhodné je zamyslet se nad systémem i z hlediska uživatele, jeho schopností, věku, omezením a úrovni expertizy

v daném oboru. Pokud se jedná o komerční systém, týmový projekt nebo projekt s ambicemi na další rozšiřování a vývoj, je výrazně doporučeno vytvořit ještě před spuštěním vývoje podrobnou dokumentaci popisující případy použití, funkční a nefunkční požadavky a další specifikace. Všechny zmíněné vlastnosti a informace pomohou vytvořit kvalitnější produkt.

Vývoj vizualizace rozsáhlých datových souborů pro VR se příliš neliší od standardního vývoje software, ale je nutné mít neustále na paměti specifika této technologie. Již od počátku by měl být systém testován s rozsahem dat, který bude použit ve finální verzi. Systém se může chovat velmi odlišně, pokud zpracovává několik málo MB nebo násobky GB. Také je potřeba testovat software na cílovém zařízení a ideálně i přímo ve virtuální realitě. Interakce, stereoskopické zobrazení, volnost pohybu a další unikátní prvky VR je nutné brát v potaz neustále.

5 Cíl práce

Cílem práce je prozkoumání rozsáhlých datových souborů a způsobů jejich vizualizace. Dále bude vyhodnocen přínos virtuální reality a její schopnost zobrazení dat. Po samostatném vyhodnocení těchto oblastí bude ověřována možnost využití virtuální reality pro vizualizaci rozsáhlých datových souborů. Pozornost je zaměřena jak na softwarová řešení a s nimi spojené překážky, tak na stav hardwarových technologií. Zkoumána bude i dostupnost vhodných dat pro účely zobrazení a proces jejich výběru. Ověřovány budou obecné koncepty a principy vizualizace spíše než konkrétní detaily implementace.

Diplomová práce má za cíl zodpovědět tyto otázky: Je možné efektivně vizualizovat rozsáhlé datové soubory ve virtuální realitě? Jsou softwarové a hardwarové prostředky na takové úrovni vývoje, že je možné vytvořit vizualizaci bez výrazných překážek? Jsou přínosy vizualizace vyšší než případné nedostatky? Bylo by možné využít vizualizaci rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě v akademické nebo komerční sféře?

Pro ověření konceptů a zodpovězení otázek bude sloužit praktická část ve formě interaktivních vizualizací. Dvě samostatné ukázky budou používat poznatky získané v teoretické části práce pro vytvoření přehledného a kvalitního zobrazení dat a maximalizaci získaných výsledků. Kromě vizualizace vybraných dat bude kladen důraz i na virtuální scénu a doplňkové vizualizace tak, aby v uživateli nevyvolávaly negativní pocity a spíše podporovaly předávání klíčových informací.

6 Metody a technologie pro implementaci vizualizace ve virtuální realitě

Sestavení kvalitního softwaru, pomocí kterého je možné vizualizaci vytvořit a prezentovat, vyžaduje širokou škálu schopností. Kromě programování je vhodné znát alespoň základy práce s herními enginy, tvorbou 3D modelů, návrhem uživatelského rozhraní a designem virtuálního prostředí. Výraznou pomoc nabízí dostupné frameworky, vhodné nástroje a metody, které mnoho úkolů ulehčují nebo automatizují. V rámci této kapitoly budou popsány základní metody práce, použitý software a hardware. Získané poznatky o použitých technikách mohou přispět k snadnějšímu výběru vhodných nástrojů pro případné navazující studie.

Detaily z oblasti psaní kódu, konkrétní problémy při tvorbě a výstupy budou součástí popisu vývoje konkrétních ukázek. Mnoho znalostí a zkušeností autor získal v průběhu pětileté praxe ve vývoji mobilních a počítačových her. Tyto zkušenosti se snažil promítnout do vývoje praktické části diplomové práce.

6.1 Nástroje pro vývoj

Jednotlivé ukázky byly vytvářeny od základu, aby bylo možné popsat, jak probíhal postup tvorby a jaké překážky se při tom objevily. Použity byly standardní nástroje, z nichž většina je dostupná bezplatně. Vytváření technologie včetně nástrojů, jako například tvorba vlastního herního enginu, by zbytečně odvádělo pozornost od hlavního tématu této práce a neúměrně zvýšilo náročnost realizace, přičemž přínos by byl zanedbatelný. Součástí práce není ani detailní porovnání alternativ jednotlivých technologií a podrobné vysvětlení výběru, protože cílem je vytvoření kvalitní vizualizace bez ohledu na použitou technologii. Navíc dnešní technologie jako herní enginy nebo modelovací nástroje jsou svými schopnostmi velmi srovnatelné, takže není nutné trávit příliš času výběrem. Potřebného výsledku je možné dosáhnout použitím různých nástrojů. Přesto budou krátce zmíněny základní technologie, aby byl popis tvorby vizualizace celistvý a replikovatelný.

6.1.1 Engine Unity

Herní engine je komplexní systém určený pro tvorbu vizuálních aplikací, často s důrazem na vizualizační techniky, jako nastavení světla, programování shaderů, renderování modelů, zobrazování částic a další. Herní engine nemusí být využit jen pro tvorbu her, ale nachází uplatnění v různých interaktivních aplikacích, vzdělávání a v poslední době i při tvorbě animovaných filmů a filmových efektů. Většina dostupných enginů nabízí sestavení aplikace pro několik platforem, od počítačů, přes mobilní zařízení až po herní konzole.

Pro tvorbu vizualizací ve virtuální realitě bylo klíčových několik funkcionalit, které musel herní engine podporovat. V první řadě je nutná podpora pro virtuální realitu a pro komunikaci s náhlavními soupravami a ovladači. Detailněji technologii VR popisuje kapitola 6.2. Dále byla vyžadována podpora 3D vykreslování importovaných modelů i možnost generování meshe. Nezbytná je také podpora programování, tvorby uživatelského rozhraní a práce s externími soubory. Vhodné jsou i nástroje pro animování, nastavení renderování, debugování, testování a optimalizaci výkonu.

Všechny požadované funkce obsahuje engine Unity [39], který byl pro tvorbu interaktivních vizualizací použit. Studenti mohou získat bezplatnou verzi systému. Pro snadnou práci se scénou nabízí tento program nástroje Editor a Inspektor, které umožňují jednotlivé části nastavovat a vytvářet pomocí uživatelského rozhraní bez dodatečného programování. Systém může být rozšiřován o další funkce pomocí zabudovaného skriptovacího jazyka C#. Pro renderování je použita programovatelná pipeline, která může být nastavena do různých režimů podle cílového použití a výkonosti. Systém může být rozšiřován pomocí doinstalovaných balíčků nebo nástrojů vytvořených třetími stranami. Unity obsahuje kvalitní online dokumentaci a je velmi používaným systémem po celém světě, takže je možné najít mnoho online materiálů nebo zjistit dodatečné informace na diskuzních fórech. Je velmi využíván i v akademické sféře. Všechny čtyři studie uvedené v části 4.4 obsahují ukázky nebo software vytvořený v herním enginu Unity.

Engine byl vybrán nejen proto, že splňuje všechny náležitě požadavky, ale i díky tomu, že se osvědčil v bakalářské práci, která předchází této diplomové práci.

Pro vývoj vizualizací byla využita verze Unity 2021.3.4f1. Plnohodnotnou alternativou pro Unity engine může být Unreal Engine nebo Godot. Oba tyto nástroje podporují propojení s náhlavní soupravou virtuální reality a umožňují tvorbu pokročilé 3D grafiky.

6.1.2 Modelovací nástroj Blender

Pro tvorbu kvalitní vizualizace není možné pouze převést data a zobrazit je ve virtuální scéně. K uživatelské přívětivosti a většímu vtažení do zážitku přispívá realistická scéna. Taková scéna nemůže být pouze prázdným prostorem. Více detailů ohledně sestavení virtuální scény obsahuje kapitola 6.3. Pro scénu je nutné vytvořit modely, které navozují správný pocit a dodávají jí uvěřitelnost.

Interaktivní ukázky pro tuto diplomovou práci byly tvořeny hlavně pomocí meshů generovaných přímo v enginu Unity. Ale většina modelů prostředí je pouze statická a slouží k doplnění vizualizace, a nebylo tak pro ně potřeba vyvíjet složitý generátor meshe v Unity. Tyto modely byly tvořeny pomocí modelovacího nástroje Blender [40]. Tento nástroj je poskytován zdarma pod open-source licencí GNU GPL. Jedná se o komplexní systém schopný animování, pokročilého renderování a zprostředkovává různé přístupy k modelování 3D objektů. Pro tvorbu obsahu do virtuální scény pro interaktivní ukázky byl použit základní postup deformování a modelování jednoho ze základních tvarů až do potřebného výsledku. Renderování ani další pokročilé systémy nástroje nebylo nutné využít. Výhodná je přímá spolupráce s enginem Unity. Soubor vytvořený v Blenderu může být součástí projektu a engine jej dokáže automaticky importovat a provázat. Při změně je model aktualizován a není tak nutné provádět ruční export a import.

Potřebné objekty je také možné získat z internetových tržišť nebo bank s 3D modely. Většinou se ale jedná o placené modely nebo objekty omezené licencí. Zde vytvořená scéna nepotřebovala pokročilé modely, a bylo tedy jednodušší všechny potřebné komponenty vymodelovat pomocí Blenderu. K tvorbě 3D modelů by také bylo možné použít alternativní nástroje jako Autodesk 3DS Max, Autodesk Maya nebo Cinema 4D. Všechny nástroje nabízejí podobné funkcionality. Blender byl vybrán, protože se osvědčil v předchozích projektech a není vázán placenou licencí.

6.2 Použitá VR technologie

Vývoj vizualizace pro virtuální realitu není možný bez použití náhlavní soupravy. Pohled na scénu a vnímání objektů je velmi odlišné od standardního zobrazení na počítačovém monitoru. Při práci bez VR setu také nelze jednoduše nasimulovat volnost pohybu a chování ovladačů. Není možné otestovat, jak na vjemy reaguje uživatel, zda vizualizace nezpůsobuje nevolnost nebo jaké vyvolává emoce. Pro zjištění těchto vlastností je potřeba, aby uživatel byl plně ponořen do virtuálního zážitku, a to je podmíněno použitím náhlavní soupravy.

Pro vývoj systému a testování byl používán systém HTC Vive. Toto zařízení nabízí plné sledování pohybů uživatele v 6DOF (Six degrees of freedom). Je tedy sledováno umístění a rotace náhlavní soupravy i dvou ovladačů do rukou. Při prvotním nastavení systému je namapován volný prostor, který má uživatel k dispozici, a v němž může probíhat zobrazení virtuální scény bez nebezpečí kolize s objekty. Snímání prostoru zajišťují dva externí senzory umístěné v rozích plochy. Fungují na principu vyzařování infračervených paprsků do prostoru. Tyto paprsky jsou zachycovány fotodiodami, díky kterým dokáže systém dopočítat přesnou pozici v prostoru. Pro testování vizualizace byla využita volná místnost o velikosti 2,5 x 2,5 metru. Tato plocha je dostatečně velká pro volný pohyb a interakci se scénou. Zařízení je ale schopné pokrýt plochu o velikosti 4,5 x 4,5 metru, pokud je dostupný volný prostor. Zařízení je propojené s počítačem pomocí jednoho kabelu, který zajišťuje vedení videa, zvuku a dalších dat. Tento kabel je u počítače rozdělen na USB a HDMI konektory. Zařízení obsahuje pomocné napájení a externí senzory také musí být připojeny do elektrické sítě. Ovladače fungují bezdrátově s pomocí integrovaných baterií.

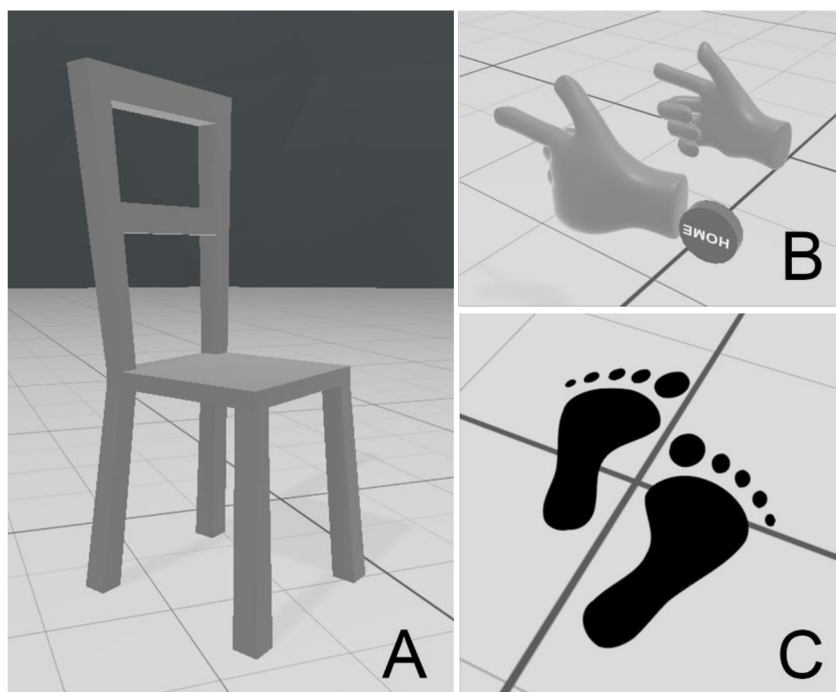
Ze softwarového hlediska je zařízení postaveno na systému SteamVR. Ten zajišťuje nejen propojení zařízení s počítačem, ale je zároveň úzce propojen s obchodem Steam, kde je možné najít kompatibilní hry a aplikace pro virtuální realitu. Také poskytuje výchozí virtuální prostředí označené jako Home. Uživatelské rozhraní obsahuje nástroje pro nastavení zařízení, rozlišení, zvuku a podobně.

Vstup ze zařízení virtuální reality není pouze diskrétní hodnotou podobně jako stisknutí kláves na klávesnici. Vstup z virtuální reality sestává zároveň z pozice

zařízení, jeho pohybu a některé hodnoty jsou spojité v určitém intervalu. Například stisk tlačítka Trigger vrací hodnoty od 0 do 1 podle toho, jak silně uživatel tlačítko tiskne. Vstup mohou tvořit komplexní gesta a kombinace tlačítek a pohybu. Proto frameworky, které komunikaci se zařízením zprostředkovávají, poskytují takzvaný action-based vstup. Tento přístup většinou definuje akce jako chytit, hodit, táhnout a další mohou být vytvořené podle potřeby. Vizualizace nereaguje na diskrétní vstupy, ale na akce, které tento systém generuje podle vstupů. Herní engine Unity poskytuje tento systém v podobě pluginů OpenXR a XR Interaction Toolkit. K dispozici jsou i základní třídy, které umožňují vytvoření jednoduché interakce. Pro pokročilejší chování je možné třídy rozšiřovat a upravovat chování podle potřeby.

6.3 Sestavení virtuální scény

Ještě než je navrhována samotná vizualizace dat, je nutné vytvořit virtuální scénu. Ve výchozím stavu je většinou scéna tvořena prázdným skyboxem. Ačkoliv je takový virtuální prostor z technického hlediska plně dostačující, nepodporuje celkovou vizualizaci a může působit uživateli různé problémy od nevolnosti až po dezorientaci.



Obr. 4: Pomocné součásti scény: A) Židle slouží jako objekt se známou velikostí, B) Realistický tvar rukou podporuje interakci, C) Ukazatel středu scény pomáhá s orientací

V bakalářské práci a článku *Virtual Scene Components for Data Visualization* předcházejícím této práci je tato problematika probírána [41]. Velmi jednoduchou a efektivní pomůckou, která zabráni mnoha problémům s dezorientací, je vytvoření podlahy. Zem je pro člověka přirozenou součástí a pokud není ve scéně obsažena, následuje zmatení. Pokud zem obsahuje viditelnou texturu, pomáhá podlaha s orientací při otáčení (Obr. 4). Dalším přirozeným elementem scény je horizont, tedy čára, kde se protíná obloha se zemí. Pokud zem má stejnou barvu jako obloha a horizont neexistuje, mnohem obtížněji se uživateli odhadují vzdálenosti a směr, kam se dívá. Pomůckou, která může vylepšit dojem obzvláště ze scény obsahující pohyb, je ukazatel středu scény, nebo ukazatel počátku soustavy souřadnic (Obr. 4, část c). Díky tomuto viditelnému pevnému bodu se dokáže uživatel ukotvit ve scéně a vždy má možnost zjistit, kde se nachází. Vhodným prvkem, který pomáhá orientaci a lepšímu vnímání velikostí a vzdáleností, je všeobecně známý objekt se standardizovanou velikostí. Může jím být například židle (Obr. 4, část a). Každý člověk chápe její přirozenou velikost a ve virtuální realitě si s její pomocí „kalibruje“ své vnímání rozměrů.

Virtuální realita odstíní uživatele od vnímání okolního světa, včetně sebe samotného. Hlavně pro uživatele, kteří jsou ve virtuální scéně poprvé, to může být velmi matoucí. Proto by vždy mělo být součástí virtuální scény zobrazení uživatelových rukou nebo ručních ovladačů (Obr. 4, část b). Nemusí být realistické ani detailně animované, ale pouhé zobrazení jednoduchého objektu na místě uživatelových rukou pomáhá při interakcích s prostředím. Do tohoto zobrazení by měla být promítána pozice i rotace. Pokud je virtuální scéna prostředím pro více uživatelů, měl by každý z uživatelů mít znázorněnou i pozici hlavy a ideálně by měl být doplněn vlastním avatarem, barvou nebo jmenovkou. Tím bude scéna přehlednější a lépe bude fungovat spolupráce i komunikace.

Nepřímou součástí scény jsou i techniky směřování uživatelské pozornosti. Uživatel ve virtuální scéně nemá pouze malý výřez vizualizace, podobně jako na počítačovém monitoru, ale má k dispozici celý 360° prostor kolem sebe. Je potřeba zajistit, že uživatel vidí a soustředí se na důležitou událost nebo klíčovou součást ve scéně nebo uživatelském rozhraní. Této problematice se věnuje *level-design* v počítačových hrách a *UX (user experience)* v aplikacích. Pro směřování uživatelské

pozornosti můžeme využít mnoho technik. Mezi základní principy patří použití světla a barev ke zvýraznění důležité části, využití zvukových signálů k upozornění uživatele a poskládání a orientaci ostatních objektů ve scéně tak, aby přirozeně vedly uživatelské vidění nebo pozornost k cílovému objektu. V komplexních scénách je tato technika velmi důležitá a neměla by být přehlížena.

První scénou, která je uživateli zobrazena, by měl být prostor fungující jako lobby nebo hlavní menu. Měl by obsahovat pouze minimum aktivních prvků. Zde si uživatel vyzkouší, zda má správně nastavené a nasazené brýle pro virtuální realitu a ovladače do rukou. Také si zde zvyká na světelné a barevné nastavení vizualizace. Až po dokončení základního nastavení se může přesunout do jedné z interaktivních scén. Díky tomu nedochází ke zmatení uživatele a i lidé, kteří používají virtuální realitu poprvé nejsou dezorientováni množstvím zobrazených informací. Také je vhodné do virtuálních scén vložit prvek, který uživateli umožní v jakoukoliv chvíli návrat do scény sloužící jako hlavní menu. V této práci bylo jako tento prvek zvoleno jednoduché tlačítko umístěné na virtuálním zápěstí uživatele podobně jako hodinky. Stačí na něj kliknout a uživatel je okamžitě přesunut do základní scény.

7 Návrhy vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě

Teoretická část práce popsala, co jsou „Big Data“, jak probíhá jejich zpracování a práce s nimi, jaké vizualizační techniky a nástroje se ke zobrazování rozsáhlých datových souborů používají, co nabízí virtuální realita a jak by k ní mělo být přistupováno. Tyto informace byly použity pro návržení vizualizací, které mohou sloužit jako ukázka zobrazení rozsáhlých dat ve virtuální realitě. Ačkoliv nebylo možné v rámci práce vytvořit komplexní ucelený framework, mohou tyto ukázky sloužit jako test konceptu a ověření, zda je možné tuto myšlenku realizovat. Ve virtuálních ukázkách byly otestovány principy uvedené v teoretické části a provedeno vyhodnocení, zda tyto koncepty platí a jsou využitelné v praxi.

Studie rozebrané v kapitole 4.4 ukázaly, že vizualizace ve virtuální realitě dávají smysl, ale ne každý způsob zobrazení dat je stejně efektivní. Výraznější výsledky poskytovaly vizualizace, které byly snadno pochopitelné a interaktivní. Vhodné bylo použít co nejvíce unikátních prvků virtuální reality, jako vnímání prostoru, volnost pohybu a neomezenou virtuální scénu. Tyto poznatky byly také promítnuty do úvah při vytváření praktické části této práce. Bylo zjištěno, že není vhodné převádět existující formy zobrazení dat, jako je většina zmíněných metod v kapitole 3.1.3, protože pouze vznikne trojrozměrná verze dané vizualizace, ale není využit potenciál virtuální reality.

Původní myšlenka zahrnovala vytvoření tří samostatných vizualizací. Práce s rozsáhlými datovými soubory, jejich napojení na vizualizaci a vytvoření uživatelského rozhraní se ukázalo jako velmi časově náročné, takže nakonec byly vytvořeny dvě plnohodnotné ukázky. Tento počet se ukázal jako dostatečný pro ověření konceptů a principů.

Pro rozhodování mezi nápady a myšlenkami na vizualizace bylo použito několik parametrů. Zvažováno bylo, jak moc jsou využity unikátní parametry virtuální reality, zda existují data, která jsou dostatečně rozsáhlá nebo komplikovaná a jsou snadno dostupná pro automatické zpracování, a zda je možné data efektivně vizualizovat. Tímto způsobem bylo vyřazeno mnoho dat, která jsou dostatečně

heterogenní, ale je obtížné je vizualizovat v prostoru nebo nebyl nalezen zajímavý způsob jejich znázornění. Příkladem mohou být finanční a burzovní data. Jiná data byla vizuálně zajímavá a komplexní, ale nebyl nalezen vhodný dataset pro vytváření vizualizace. Jedním z nápadů bylo zobrazení chování zákazníků v rámci obchodního domu, znázornění jejich pohybu a místa, kde nejvíce nakupují nebo kde tráví nejvíce času. Nepodařilo se ale najít data, která by se této myšlence blížila. Bylo by tedy nutné vytvořit reálný systém pro jejich získání nebo je pečlivě vygenerovat, což bylo mimo rozsah této práce.

Ukázalo se, že nejlépe dostupné jsou rozsáhlé datové soubory geografických dat, které umožňují snadné zpracování a efektivní vizualizaci. Výhodou je možnost doplnit je dalšími detaily jako efekty počasí, zobrazení terénu a podobně. Také se v mnoha případech jedná o vícedimenzionální data, která obsahují pro jednu pozici více informací, a je tak možné využít unikátních vlastností virtuální reality pro jejich kreativní zobrazení. Na základě tohoto zjištění byla vybrána témata: Vizualizace dat chytrého města (Smart City), Vizualizace národních statistických dat a Vizualizace meteorologických dat pro konkrétní pozici. Meteorologická data byla později sloučena s vizualizací města. Proces tvorby myšlenky je popsán v kapitolách věnovaných konkrétním vizualizacím.

Před samotným vývojem vizualizací byly také definovány základní parametry. Potřebný rozměr pro použití ukázky neměl překročit plochu 2,5 x 2,5 metru. Vizualizace umožňuje volný pohyb, ale nenutí uživatele přesouvat se do konkrétních pozic, aby byla vizualizace přístupná uživatelům s různou výškou a dosahem rukou. Modely a grafické prvky mají jednoduchý grafický design, aby zbytečně neodváděly pozornost od zkoumaných principů a základních konceptů. Vizualizace je určena všem věkovým skupinám od mladistvých výše. Data jsou prezentována tak, aby byla pochopitelná i pro uživatele bez pokročilé expertizy v oblasti rozsáhlých datových souborů, ale pro vytváření komplexních závěrů z dat jsou doporučeny alespoň základní znalosti oboru. Vizualizace jsou vytvářeny tak, aby mohly být využity pro edukační účely či po dalším vývoji použity jako základ univerzálních vizualizačních nástrojů.

7.1 Interaktivní ukázka Smart City

Vizualizace nazvaná Smart City je zaměřená na zobrazení dat z reálného prostředí chytrého města. Jde o praktickou ukázkou, která by mohla být využita k prezentaci výsledků územního plánování nebo vyhodnocování investic. Pomocí této vizualizace je možné z dat vyčíst komerčně využitelné poznatky. Podobný systém chytrého města v podobě soustavy IoT (Internet of Things) senzorů, hromadného sběru dat a jejich veřejného publikování je plánován na mnoha místech. Vizualizace by mohla sloužit jako standardizovaný zobrazovací a analytický nástroj, který by automatizovaně tato data prezentoval i běžným občanům.

7.1.1 Motivace, původ myšlenky

Princip chytrého města staví na systému jednoduchých senzorů, které měří některé ze základních veličin jako teplota, atmosférický tlak, sluneční svit, kvalita vzduchu, hluk, hustota dopravy a další. Tyto senzory jsou nejčastěji umístěny na klíčových místech, v blízkosti křižovek nebo bytových komplexů na pouličních lampách nebo prvcích městské zástavby. Data jsou sbírána v pravidelných intervalech, nejčastěji po pěti minutách. Systém sledující fungování města pomocí těchto senzorů může denně produkovat gigabajty dat. Je ale velmi obtížné tato data hromadně vizualizovat. Například konkrétní teplota v průběhu dne může být znázorněna spojnicovým grafem, ale je velmi obtížné toto řešení škálovat, pokud chceme zobrazit teplotu v průběhu dne na několika stovkách míst po městě. Částečným řešením může být použití mapy, do které jsou data vizualizována. Zde ale může nastat problém s informačním zahlcením v případě zobrazování příliš mnoha vrstev dat nebo zobrazování velkého počtu konkrétních hodnot. Nebyl nalezen žádný ucelený standardizovaný systém, který by data z chytrého města přehledně vizualizoval. Velké množství dat, jednoduchá struktura informací ze senzorů definovaná časově a pozičně, vizualizační potenciál a vícedimenzionální povaha dat byly vyhodnoceny jako ideální parametry systému pro vytvoření vizualizace ve virtuální realitě a testování jejích přínosů.

7.1.2 Získávání použitých dat

Pro vytváření vizualizace bylo nutné získat data, která odpovídala cíli této práce jak ve složitosti, tak v jejich velikosti a vícedimenzionalitě. Potřebnou vlastností dat bylo jejich propojení s reálným městem, aby bylo možné dohledat další data, která by mohla vizualizaci rozšířit. Jako vhodné se ukázaly datasety CityPulse Smart City poskytované University of Surrey [42]. Obsahují informace z měst Aarhus v Dánsku, Brasov v Rumunsku a Surrey ve Velké Británii. Pro vizualizaci bylo zvoleno město Aarhus, protože jako jediný dataset obsahuje data o silničním provozu. Dále jsou k dispozici informace o počasí, kulturních a knižních akcích a obsazenost parkovišť. Z těchto informací byl vygenerován dataset kvality ovzduší a znečištění. Poskytovaná data jsou z různých měsíčních intervalů v roce 2014. Dodatečně bylo nutné zjistit informace o meteorologickém stavu v dané oblasti. CityPulse data obsahují informace o teplotě, směru a rychlosti větru, ale neobsahují data o oblačnosti. Jak bude ukázáno dále, oblačnost může být zajímavým prvkem vizualizace. Data byla získána pomocí API visualcrossing [43]. Doplnující vizualizací pro lepší představu fungování města v různém časovém období je cyklus dne a noci. Informace o přibližném východu a západu slunce v měřeném období byla získána z veřejně dostupných astronomických dat. Data pro město Aarhus byla získávána ze 449 senzorů. Nekomprimovaná a neanotovaná data ze zvoleného období srpen až září 2014 ve formátech CSV a JSON mají velikost přibližně 953 MB.

7.1.3 Proces tvorby

Velký důraz při tvorbě vizualizace byl kladen na znovupoužitelnost. Jednotlivé části byly vytvářeny tak, aby je bylo možné použít i pro jiné zadání a data. Pokud to bylo možné, systém využívá online API nebo data, která podporují formát pro napojení API. Díky tomu není systém omezen na použití pouze pro město Aarhus, ale při dostupných datech jej lze použít bez větších změn i pro jiné chytré město. Také bylo možné do systému napojit realtime data, a tak zobrazovat vizualizaci aktuálních dat. Jen minimum částí systému je vytvářeno ručně. Většina funkcí se spoléhá na automatické generování z dat.

7.1.3.1 Tvorba mapy a terénu

Protože se jedná o geografická data, prvním krokem bylo vytvoření mapy a terénu, na kterém se data vizualizují. Z datasetu bylo možné vyčíst souřadnice jednotlivých senzorů. Jednoduchým skriptem byla vypočítána maximální a minimální zeměpisná šířka a délka. Tím vznikl obdélník, který bylo možné z mapy vyříznout a spolehlivě do něj zahrnout všechna data. Aby některá data nebyla příliš blízko okraji mapy, byly souřadnice ještě mírně rozšířeny.

Pro získání podkladové mapy byla využita funkce systému OpenStreetMap [44], který umožňuje export vybrané oblasti do formátu PNG. Pouze ploché zobrazení mapy by se ale příliš nelišilo od standardního 2D zobrazení na počítačovém monitoru. Aby byl využit potenciál virtuální reality, bylo potřeba mapu znázornit ve 3D. Zde by bylo možné použít modelovací nástroj Blender, nebo komerční geografické 3D modely, ale jak bylo uvedeno, cílem této práce je vytvoření znovupoužitelného systému. Proto byl vytvořen systém pro plastické generování terénu. Výšková mapa terénu byla získána z modelu GMTED2010 [45], ze kterého je možné extrahovat data pomocí nástroje EarthExplorer. Výšková mapa je černobílý obrázek, kde plně černá barva představuje nejnižší polohu a plně bílá nejvyšší polohu. Nejprve byl vygenerován pravidelný mesh s upořádáním vrcholů ve tvaru mřížky. Pro optimální výkon vykreslování a zároveň dostatečně detailní mesh byla zvolena hodnota rozlišení mřížky 80x80 bodů. Pozice vrcholů tohoto meshe byly poté posouvány na ose Y (osa vzhůru) podle barvy pixelu na dané souřadnici. Aarhus je přístavní město, takže nejvyšší bod ve vizualizované oblasti má 100 metrů nad mořem. Terén je tedy mírnější, ale pro kvalitnější vykreslení města a lepší pochopení jeho rozložení je 3D model terénu přínosný. Na vytvořený mesh byla aplikována vrstva standardní mapy. Takto vytvořený model ale působil ve scéně nevýrazně. Proto byl mesh upraven tak, aby byly vygenerovány i vertikální okraje mapy. Díky tomu model působí jako výřez z pevné hmoty.

7.1.3.2 Generování města

Samotný plastický terén s aplikovanou texturou mapy ale stále dostatečně nepřipomínal vizualizaci města. Výraznou součástí města jsou budovy, obzvláště pokud se jedná o mrakodrapy nebo jiné rozsáhlé objekty. Proto bylo další součástí

tvorby vizualizace vytvoření modelů domů. Systém OpenStreetMap obsahuje data o ulicích, domech, křižovatkách, firmách a dalších částech mapy. Data celé planety ve formátu XML mají 118 GB. Pokud by vizualizace měla nabízet generování libovolného místa na Zemi, bylo by nutné vytvořit systém na zpracování takto rozměrných dat. Pro zjednodušení tohoto procesu existují webové projekty, které nabízejí vyexportované pouze konkrétní oblasti nebo města, takže nebylo nutné zpracovávat data celé planety. Jako jedno z větších měst i pro Aarhus je možné sehnat kompletní data ve formátu OSM pomocí webového systému BBBike. Velikost souboru je přibližně 192 MB. Pro optimalizaci načítání a zpracování bylo možné z dat odstranit všechny nepotřebné informace jako ulice nebo data firem. Nástroj pro příkazovou řádku osmfilter dokáže extrahovat pouze určité části dat. Díky tomu bylo možné zmenšit velikost zpracovávaného souboru na necelých 100 MB.

Soubor ve formátu OSM je založený na struktuře XML, je tedy možné jej zpracovávat zabudovanými knihovnamy jazyku C#, který se používá v Unity pro tvorbu programových skriptů. Jednotlivé body v mapě tvoří tag „node“ a parametry id, zeměpisné souřadnice a další podrobnosti. Budovy jsou párový tag „way“ konkrétního typu a obsahují odkazy na „nody“, ze kterých se skládají. Načtením těchto hodnot je tedy možné vygenerovat obrys budovy. Většina budov má také parametry s počtem podlaží. Díky tomu je možné odhadnout jejich výšku. Tyto údaje byly dostatečné pro vytvoření skriptu, který generoval jednoduchý mesh budov. V průběhu generování musí být započítávána i výšková mapa, aby budovy korespondovaly s terénem modelu. V Aarhusu a jeho okolí je přes 100 tisíc budov, a tak jejich generování trvá několik sekund, proto tento proces musí být proveden při tvorbě vizualizace, jinak by měl za následek zaseknutí. Pokud by změna mapy byla realtime součástí vizualizace, muselo by generování probíhat na samostatném vlákne.

Ačkoliv jsou vygenerované budovy pouze jednoduché tvary bez detailů a textur, okamžitě je možné lépe identifikovat jednotlivé oblasti města. Díky jejich výšce a tvarům je možné snadno odhalit centrum, průmyslovou oblast nebo sídliště s bytovými domy. Tento prvek výrazně přispívá k přehlednosti vizualizace.

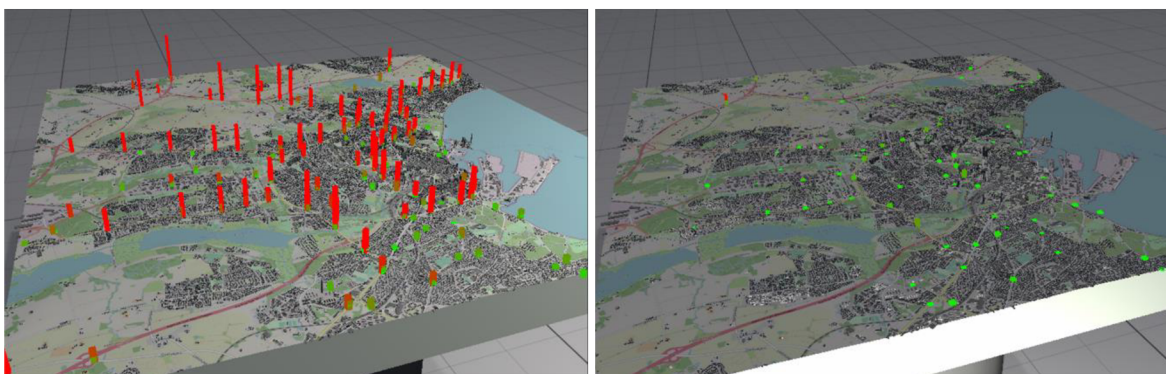
7.1.3.3 Vizualizace dat

Navazující částí procesu byla vizualizace CityPulse datasetů do vytvořeného 3D modelu města. Nejprve bylo nutné nalézt pozice senzorů a provést načtení a zpracování dat. Data ze senzorů obsahují informace o zeměpisné šířce a délce, takže bylo možné použít stejný výpočet, jakým byla generována pozice budov, a zajistit tak, že budou umístěna na správné místo na mapě. Byl naprogramován skript, který se staral o načtení a vizualizaci jednoho senzoru. Další nadřazený skript zajišťoval synchronizaci času všech senzorů a nastavení celkové vizualizace.

V průběhu tvorby se ale objevil problém s výkonností. CSV soubory s daty pro jeden senzor zabíraly kolem dvou MB. Jejich načtení do paměti, průchod dat pomocí cyklu a zjištění požadované hodnoty vyžadovalo mnoho paměti a výkonu. Tento proces byl prováděn pro více než 400 senzorů ve scéně a při rychlosti vykreslování 90 snímků za sekundu. Vizualizace tak působila trhaně a zpomalení snímkové frekvence způsobovalo nevolnost. Proto podobně jako při generování meshe, muselo být zpracování souborů přesunuto do fáze tvorby vizualizace. Místo načítání dat ze souborů byly potřebné hodnoty přesunuty do datových polí. V tomto procesu bylo možné odstranit indexy, hodnoty ID, zeměpisné souřadnice a nepotřebná data. Díky tomu se velikost ukládaných informací zmenšila. Výkon vizualizace byl dostatečný a již se neobjevovaly problémy s poklesem snímkové frekvence. Toto řešení ale mělo negativní vliv na datovou velikost scény, protože všechna potřebná data jsou uložena přímo v senzorech. Soubor scény dosahuje přibližně 530 MB, což se projevuje při prvním načtení a otevření této vizualizace. Nejedná se o hodnotu, která by byla kritická, ale pokud by byla vizualizace dále rozšiřována, bylo by nutné hledat optimálnější řešení.

Další problém se projevil při synchronizaci času sensorových dat. Informace jsou ukládány po pětiminutových intervalech. U některých senzorů zřejmě docházelo k výpadkům, a proto výjimečně hodnota chyběla. Nastával zde problém s nenalezenými daty a výraznými výkyvy ve vizualizaci. Tento nedostatek byl vyřešen úpravou vizualizačního skriptu senzoru. Pokud senzor získal příkaz k načtení hodnoty v konkrétním čase a hodnota pro tento čas neexistovala, našel další nejbližší časovou hodnotu a použil ji pro vizualizaci. Díky krátkým časovým intervalům toto

řešení neznehodnocuje informační hodnotu vizualizace a efektivně zakrývá viditelné výpadky dat.



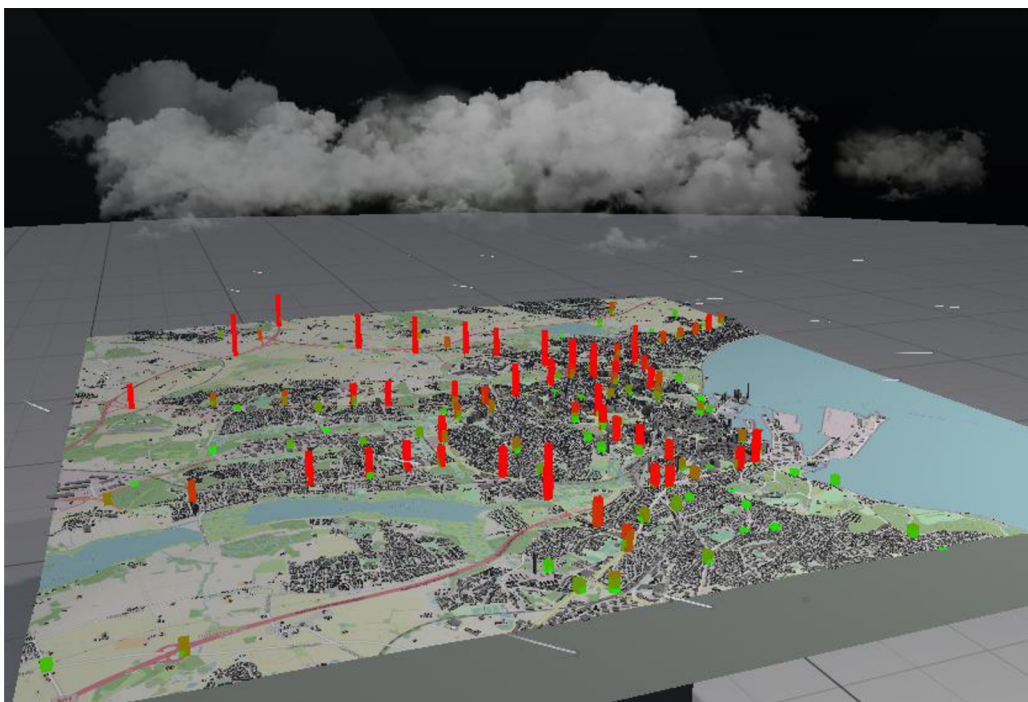
Obr. 5: Vizualizace dat na plastickém modelu města. Vlevo – stav při ranní dopravní špičce. Vpravo – stav dopravy v noci.

Po vyřešení problémů bylo možné zaměřit se na způsoby zobrazení dat. Jako první vizualizované hodnoty byly zvoleny informace o dopravní situaci, a to konkrétně aktuální počet vozidel v místě senzoru. Tato hodnota se pohybuje v dobře představitelných rozmezích a jedná se o celočíselný údaj. Jako první způsob vizualizace bylo použito zobrazení polokoule na pozici senzoru. Průměr polokoule vyjadřoval aktuální hodnotu tak, že čím více vozidel daným místem projíždí, tím větší je polokoule. I takto jednoduchá vizualizace poskytovala kvalitní informaci o pozicích, kde je doprava frekventovanější. Pro zvýraznění klíčových hodnot byla do vizualizace přidána i barevná informace. Polokoule se obarvovala plynule od zelené do červené barvy v intervalu 0 až 15. Pokud tedy daným místem projíždělo 15 a více vozidel, byla polokoule sytě červená. Nyní bylo možné velmi snadno pozorovat kritické oblasti, kde se v dopravní špičce vytvářejí koncentrovaná místa (Obr. 5). V dalších iteracích byla polokoule vyměněna za kvádr, jehož výška měla stejnou funkci jako průměr polokoule. Toto řešení mírně zvyšovalo přehlednost, protože méně zakrývalo plochu mapy, ale jinak byl efekt vizualizace téměř srovnatelný. Také byly vyzkoušeny jiné hodnoty z dalších datasetů, ale informační hodnota vizualizace zůstávala stejná.

7.1.3.4 Rozšíření vizualizace

Pomocí vizualizace bylo možné prozkoumávat vybranou hodnotu a její chování v rámci města, ale stále se jednalo o příliš statické zobrazení a byl zde prostor pro zvýšení informační hustoty. Dílčím cílem tak bylo přidání dalších informací, které

rozšíří a nepřekryjí klíčovou hodnotu. Pro tento účel byl vhodný dataset s meteorologickými údaji. Údaje nebyly zaznamenávány pro každý ze senzorů, ale pouze pro celé město najednou. I tak se jednalo o dostatečnou informaci pro vylepšení vizualizace.



Obr. 6: Zobrazení obsahující doplňující vizualizaci směru větru a oblačnosti.

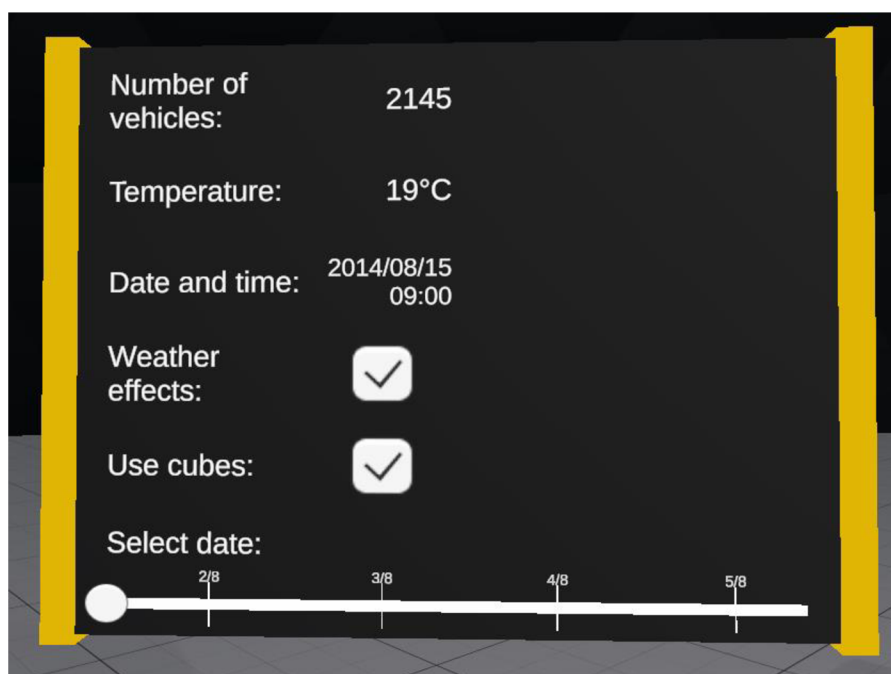
Pomocí částicového systému, který je součástí engine Unity, bylo vytvořeno znázornění větru. Hodnota rychlosti větru ovlivňovala rychlost částic, směr větru byl znázorněn směrem, kterým částice letí, a barva částic byla interpolována od modré po červenou podle aktuální teploty vzduchu. Ačkoliv tato informace pravděpodobně příliš neovlivní například aktuální dopravní situaci, ve spojení se znečištěním už může být velmi hodnotná.

Další doplňkovou vizualizací bylo zobrazení aktuální oblačnosti. Opět byl použit částicový systém s grafickou představou mraků (Obr. 6). Oblačnost nebyla součástí meteorologického datasetu, a tak byla zjišťována dodatečně pomocí dat z API. Mohla nabývat hodnot jasno, polojasno, oblačno, zataženo a déšť. Znázornění oblačnosti je tedy spíše grafickou představou aktuální situace, ale opět může ve spojení s vhodnými daty přinést užitečné informace.

Zobrazení pohybu slunce po obloze a tedy i znázornění západu a východu slunce se ukázalo jako další velmi vhodný doplněk vizualizace. Cíleného efektu bylo

dosaženo pomocí žluté koule znázorňující slunce a bodového zdroje světla, který simuloval dopad slunečního svitu na terén. Programový skript zajišťoval synchronizaci světla s vizualizací dat. Díky vykreslení stínů a plastickému terénu bylo možné velmi efektně znázornit východ a západ slunce nad městem. Některé informace z datasetů díky tomuto doplnku získaly mnohem vyšší vypovídající hodnotu. Například bylo možné mnohem lépe pozorovat ranní dopravní špičku, když lidé spěchají do práce. V odpoledních situacích je jasně pozorovatelná obrácená situace, kdy lidé opouštějí pracoviště.

7.1.3.5 Uživatelská interakce



Obr. 7: Virtuální panel zobrazující základní informace a uživatelské rozhraní pro ovládání vizualizace.

Pro ovládání vizualizace bylo nutné vytvořit kvalitní uživatelské rozhraní a umožnit tak uživatelskou interakci se systémem. Aby byly využity výhody virtuální reality, není uživatelské rozhraní napevno umístěno ve vizualizaci. Virtuální ruce umožňují interakci s objekty na dálku. Pomocí zaměření paprsku vycházejícímu z rukou a stisknutí požadovaného tlačítka je provedena konkrétní akce. Jako centrum uživatelského rozhraní byl vytvořen virtuální panel, který je možné uchopit a libovolně přemístit v prostoru (Obr. 7). Tento objekt nereaguje s fyzikou scény, a je tedy možné jej i „zavěsit do vzduchu“ ve scéně. Panel obsahuje zjednodušené

uživatelské rozhraní pro ovládání vizualizace. Hlavním prvkem je posuvník pro volbu časového okamžiku. Posuvník času ovlivňuje zobrazení klíčové hodnoty, počasí a cyklu dne a noci. Dále je možné vypínat a zapínat efekty počasí a další parametry vizualizace. Pro lepší informovanost uživatele jsou součástí stavové texty ukazující aktuální zvolený čas a případné zobrazené hodnoty. Velikost modelu je zvolena tak, aby se k němu mohl uživatel přibližovat a sledovat hodnoty z různé vzdálenosti a stran.

7.1.4 Získané poznatky

Vývoj vizualizace prokázal, že existují technické prostředky pro vytvoření aplikace pro virtuální realitu, která prezentuje rozsáhlá data. Ačkoliv je v posledních letech kladen důraz na otevřená data, datasetů pro chytrá města není mnoho. Také je nutné programově zpracovávat rozsáhlejší mapová data. API dostupné v této oblasti jsou placené nebo limitované. Není problém získat jednodušší informace jako historická meteorologická data nebo astronomické údaje.

Engine Unity dokáže vykreslovat miliony vertexů a trojúhelníků. Technická omezení z hlediska renderování jsou tedy velmi nízká a na alespoň středně výkonném zařízení by neměly být limitujícím faktorem. Není ale vhodné provádět zpracování a analýzu dat v průběhu vizualizace. Pro tuto činnost je výhodnější data předzpracovat nebo zajistit zpracování na externím serveru a pouze pomocí API načítat výsledná data.

Hlavními poznatky ale bylo fungování samotné vizualizace. Vytvořená ukázka prokázala, že je možné propojit velké množství dat se zobrazením ve virtuální realitě. Plastický 3D model města včetně budov zprostředkoval lepší představu o povaze terénu a fungování oblasti. Zobrazení pouze jedné hodnoty na tomto modelu nepřineslo mnoho výhod oproti standardnímu zobrazení ve 2D mapě, ale pokud jsou hodnot stovky, je možné jednoduše pozorovat souvislosti. Další výraznou vlastností je snadnější sledování vícedimenzionálních dat. I když je v ukázce zobrazena oblačnost, větrné podmínky, denní doba a aktuální stav dopravy, prvky se navzájem nevyklučují, ale díky jejich kombinaci je možné chápat širší souvislosti. Pokud není potřeba sledovat konkrétní číselné hodnoty, ale rozsáhlou vizualizaci jako celek, je virtuální realita skvělým nástrojem. Díky plovoucímu ovládacímu panelu je možné vizualizaci

upravovat a ovládat bez přerušení. Ačkoliv to nemusí být na první pohled patrné, je vizualizace velmi rozsáhlá, a bylo by tak obtížné na standardním monitoru zobrazit celý prostor bez zoomování, které by skrylo detailní informace. Využitím širokého zorného pole virtuální reality a téměř neomezené velikosti scény je možné sledovat velmi komplexní a rozsáhlé vizualizace včetně drobných detailů.

7.2 Interaktivní ukázka Česká republika

Druhá vizualizace se zaměřila na zobrazení dat, která jsou více obecná a nejsou přímo definována polohou nebo přesným časem. Jedná se tedy o abstraktnější vizualizaci než ukázka Smart City. Díky tomu je možné použít obecnější datasey a vytvořit kreativnější zobrazení různých dimenzí dat. Pro tuto vizualizaci byly použity veřejně dostupné údaje z Českého statistického úřadu. Vytvořená ukázka by mohla sloužit jako vizualizační nástroj pro datasey z různých oblastí.

7.2.1 Motivace, původ myšlenky

Existuje velké množství dat, která se vážou na geografii, ale nejsou přímo definována pozicí. Často se jedná o data ze státních, krajských nebo obecních úřadů. Všechny tyto instituce mají povinnost zveřejňovat údaje, ale často se tak děje pouze ve formě tabulek nebo textových popisů. Obyvatelé a firmy tak mohou pouze obtížně vyhodnocovat vliv těchto hodnot na ně nebo jejich činnost. Pokud chtějí provést například průzkum trhu, musí se často obracet na odborníky, kteří umí s daty pracovat. Veřejně dostupný nástroj pro efektivní vizualizaci těchto dat by mohl s podobnými úkony pomoci.

7.2.2 Získávání použitých dat

Český statistický úřad (ČSÚ) zveřejňuje desítky různých datových sad [46]. Data jsou zveřejňována v kategoriích jako Ceny, Doprava, Služby, Obyvatelstvo a další v pravidelných intervalech. Rychle se měnící data, jako například cena pohonných hmot, jsou aktualizována týdně, méně kolísavá data se aktualizují měsíčně, čtvrtletně nebo ročně. Ve webovém rozhraní je možné data zobrazit pomocí tabulek, spojnicových a sloupcových grafů nebo barevné mapy. Také je možné stáhnout si data ve formátech XLSX, XML a PDF. Není poskytována oficiální API provozovaná ČSÚ,

která by umožňovala filtrování, stránkování a další operace. Je nutné si stáhnout celé soubory a zpracovat je až ve vizualizaci. Jako základní statistiky pro účely vizualizace byly zvoleny Zemřelí podle měsíců a věkových skupin a Počet zaměstnanců a průměrné hrubé měsíční mzdy. Data byla stažena ve formátu XML pro roky 2011 až 2022 v měsíčních frekvencích podle krajů. Pro strukturu souborů je používáno standardizované XML schéma, takže by bylo možné s minimálními úpravami využít jiná data z ČSÚ.

7.2.3 Proces tvorby

Při vytváření interaktivní ukázky České republiky nebyl kladen tak velký důraz na realističnost jako při vytváření Smart City. Pozornost byla spíše zaměřena na různé způsoby, jak předat data a promítnout jejich dimenze do vizualizace. Malá část funkcí byla převzata ze Smart City, ale velká většina kódu musela být vytvořena na míru pro tuto ukázku, protože byl zvolen jiný přístup ke generování terénu a tedy i zobrazování dat. Opět byl kladen důraz na znovupoužitelnost, tvorbu pomocí generování z dat a jednoduchost.

7.2.3.1 Tvorba mapy

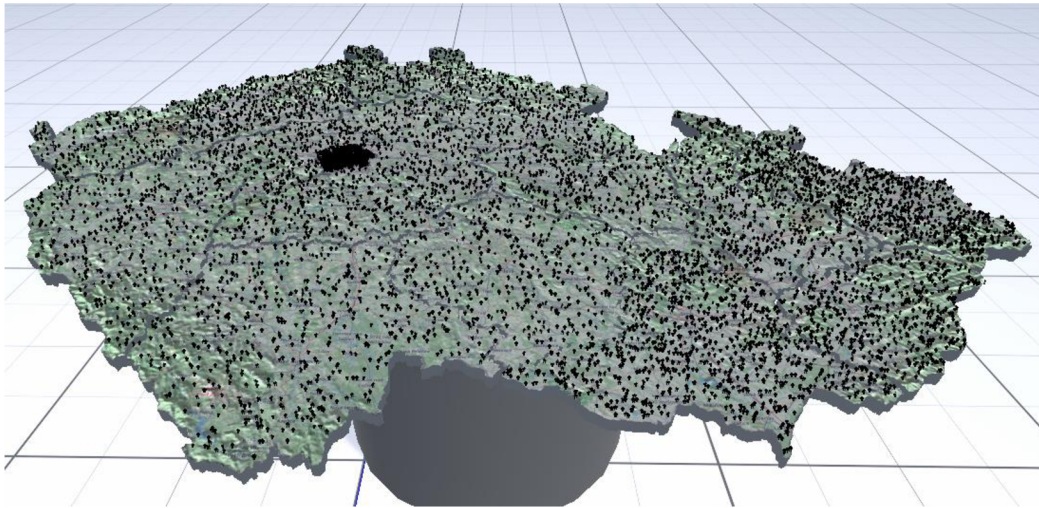
Bylo by možné opět využít plastický 3D model terénu vygenerovaný pomocí OpenStreetMap, ale protože se data týkají pouze České republiky, byla by ve vizualizaci zbytečně velká část nevyužitá. Také jsou data rozdělena podle krajů, takže byl kladen důraz na zvýraznění hranic mezi kraji. Nakonec byl zvolen odlišný přístup pro tvorbu podkladové mapy. Na portálu Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního jsou ke stažení ve formátu SHP přesně definované hranice krajů pomocí zeměpisných souřadnic. S pomocí vytvořeného skriptu byl jednoduše vygenerován mesh obrysu kraje. Problém nastal s vyplněním plochy kraje pomocí triangulace. Nebylo možné pouze jednotlivé vertexy propojovat s vertexem uprostřed, protože některé kraje obsahují záhyby, které tímto způsobem byly překryty. Obzvláště problematické je vykreslování plochy Středočeského kraje, protože uprostřed má kraj Hlavní město Prahu, která tvoří otvor. Nakonec byla využita knihovna TriangleNet, která pomocí pokročilého algoritmu dokáže triangulovat plochu bez zakrytí záhybů i otvorů. Krajům byl opět přidán i vertikální

okraj, aby nebyly pouze ploché, ale působily plasticky. Kraje nejsou vykreslovány těsně u sebe, ale mají mezi sebou malý prostor, aby byly zvýrazněny hranice.

Vyzkoušeno bylo použití krajů bez textury, ale nepřispívalo to ke zlepšení vizualizace, spíše bylo náročnější se v modelu vyznat. Proto byla opět použita textura získaná pomocí OpenStreetMap. Terén nebyl výškově deformován jako ve Smart City. Místo toho byla kromě barevné textury použita i textura pro normálové mapování. Díky této textuře je možné simulovat chování světla podobě jako kdyby povrch modelu měl výškové detaily. Pokud se uživatel dívá na model z boku, odhalí, že je plochý a je to pouze efekt textury. Vzhledem k tomu, že je vizualizace nastavena tak, aby byl model kolmo k pohledu uživatele, většinu času si nemusí této techniky všimnout a pocit plastičnosti zůstane zachován. Toto řešení je optimálnější pro výkon vykreslování, ale dosahuje svých limitů, když jsou příliš velké rozdíly v povrchu modelu.

7.2.3.2 Vizualizace dat

První byl vizualizován dataset Zemřelí podle měsíců a věkových skupin. Podobně jako v první ukázce byl vytvořen skript pro kraj, který udržoval všechna data a zajišťoval vykreslování grafiky. Nadřazený skript opět zajišťoval synchronizaci času a údajů. Pro prvotní testování byl po ploše kraje náhodně rozmístěn takový počet kvádrů, který odpovídal počtu zemřelých v kraji. Problémem bylo, že pomocí náhodného generování se kvádry vytvářely v ploše čtverce, takže i tam, kde kraj již neexistoval. Bylo nutné zajistit, že se vygenerují pouze na ploše kraje, která má v některých případech velmi složitý tvar. Testování pomocí vlastního výpočtu by bylo příliš náročné a jednalo by se pravděpodobně o aproximaci. Řešením bylo vytvoření jednoduchého fyzikálního testu pomocí paprsku (raycast). Když je vygenerována náhodná pozice, je proveden test, pokud je platný, je zde umístěn kvádr, pokud je neplatný, generuje se nová náhodná pozice. Ačkoliv toto řešení není optimální, zajišťuje správné umístění kvádrů a výkonově je dostačující i pro tisíce generovaných pozic.



Obr. 8: Model České republiky obsahující piktogramy osob podle počtu zemřelých v daném kraji.

V další fázi byly kvádry nahrazeny piktogramy lidí. Je díky tomu možné jasně identifikovat, že se jedná o vizualizaci počtu osob. Takto jednoduchá vizualizace byla dostatečná k odhadnutí hustoty obyvatelstva a rozpoznání výkyvů v datech (Obr. 8). Problematickou částí této vizualizace je kraj Hlavní město Praha. Kvůli vysoké hustotě obyvatel není téměř možné rozpoznávat rozdíly a počet. Možným řešením by bylo zmenšení piktogramů, ale to by mělo za následek špatnou čitelnost na ostatních částech republiky. Pravděpodobně kvalitnějším způsobem optimalizace tohoto problému by bylo vyčlenění tohoto kraje do samostatné nebo doplňkové vizualizace, kde by bylo možné kraj vidět ve větším měřítku, a rozpoznávat tak menší detaily.

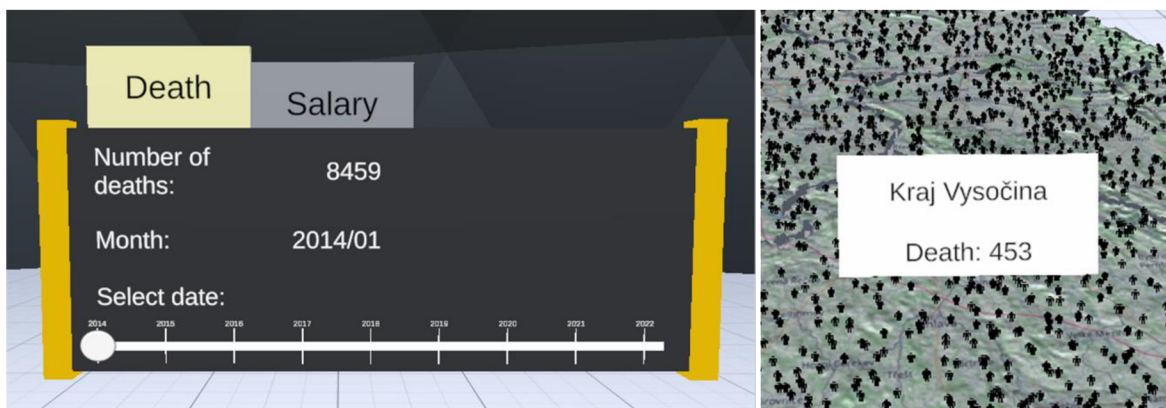
Druhým vizualizovaným datasetem byl Počet zaměstnanců a průměrná hrubá měsíční mzda. Od předchozích dat se liší tím, že obsahuje dvě dimenze hodnot. Také údaj Počet zaměstnanců není v jednotkách obyvatel, ale v tisících. Průměrná hrubá měsíční mzda je uváděna v korunách českých. Pro vizualizaci počtu zaměstnanců byl využit stejný systém jako pro zobrazení počtu zemřelých. Jeden piktogram osoby představoval tisíc osob v daném kraji. Cílem bylo do této vizualizace přidat ještě hodnoty mezd tak, aby bylo možné sledovat propojení těchto dat. Jednou z variant bylo zobrazení piktogramu peněz, jehož velikost by znázorňovala stav měsíční mzdy v kraji. Tato možnost ale zakrývala piktogramy osob, pozorování na základě velikosti nebylo příliš přesné a špatně se určovaly rozdíly mezi kraji. Jako nejkvalitnější řešení se projevila vizualizace pomocí škálování výšky daného kraje. Standardní výška

plastického modelu je 0,1 jednotky, výsledná výška byla vypočítána vynásobením tohoto základu hrubou měsíční mzdou převedenou na jednotky desetitisíců (mzda / 10 000). Díky tomu byly změny dostatečně výrazné, ale zároveň nepřesahovaly mez potřebnou pro pozorování. Také tato technika vizualizace nijak nenarušovala zobrazení piktogramů osob.

Podobným způsobem by bylo možné rozšířit zobrazení o další dimenze dat. Například pomocí barvení regionů, znázornění okresů v krajích, přidání detailů informací, využitím dalších rozměrů nebo změnou pozice. Jinou možností je přidat dodatečné informace jako další vrstvu vizualizace, podobně jako je počasí zobrazeno ve Smart City. Rozšíření o více detailů velkou měrou závisí na použitých datech a na tom, zda je potřeba mezi těmito hodnotami hledat souvislost.

7.2.3.3 Uživatelská interakce

System zobrazení pomocí plovoucího panelu byl převzat z ukázky Smart City. V případě vizualizace České republiky bylo cílem zobrazit více konkrétních hodnot a poskytnout tak uživateli přesná čísla. Také bylo nutné uživatelské rozhraní přizpůsobit tak, aby podporovalo větší množství vzájemně nesouvisejících datasetů.



Obr. 9: Vlevo – virtuální panel rozšířený o záložky umístěné na horním okraji. Vpravo – pomocná kontextová vizualizace zobrazující hodnoty pro vybraný kraj.

Pro systém přepínání mezi jednotlivými statistikami byly použity záložky, podobně jako ve webových prohlížečích. Na horní straně panelu jsou zobrazeny názvy dostupných datasetů a aktuálně vybraná statistika je zvýrazněna barvou. Výběrem záložek se změní obsah panelu. Rozšířením tohoto způsobu zobrazení by bylo možné vytvořit uživatelské rozhraní pro ovládání několika oddělených

vizualizací bez nutnosti vkládat do scény další rozměrné panely. Zároveň uživatel vždy vidí pouze nastavení vizualizace, se kterou právě pracuje, a není tak odváděna jeho pozornost.

Prvkem, který nebyl součástí vizualizace Smart City, jsou kontextové ukazatele přímo v zobrazeném modelu. Aby bylo možné snadno sledovat rozdíly mezi kraji a porovnávat jejich číselné údaje, byl přidán jednoduchý plochý textový panel ke každému kraji. Tato „tabulka“ se zobrazí při zaměření ukazatele ovladače na konkrétní oblast. Aby bylo možné pohybovat se ve scéně a stále mít možnost zobrazit si tyto dodatečné informace, je panel vždy otočen směrem k hráči. Protože systém obsahuje dva ovladače, je možné si tímto způsobem zobrazit kontextová data ke dvěma různým krajům a porovnávat jejich hodnoty.

7.2.4 Získané poznatky

Interaktivní ukázka Česká republika prokázala, že je možné standardní tabulková data prezentovat vizuální formou. Virtuální realita není ideální v poskytování konkrétních hodnot, ale je optimální pro hromadné zobrazení velké množiny dat. Usnadňuje pohled na data jako na celek a umožňuje tak odkrýt skryté souvislosti.

Zobrazení počtu zemřelých ukázalo, že je možné i z jednoduchého použití piktogramů vyčíst cenná data. Při posunu v čase je jasně vidět cyklickou složku v datech, kdy jsou v některých měsících roku výrazně zvýšené hodnoty. Také se zde jasně projevuje hustota obyvatelstva v různých částech republiky. Zajímavou oblastí zkoumání bylo období pandemie covid-19. V jednotlivých vlnách je jasně vidět, jak počty zemřelých skokově rostou nebo jak se výrazně zvyšují čísla v určitých částech republiky v závislosti na ohnisku nákazy. Pro podobnou přehledovou analýzu je virtuální realita velmi vhodným nástrojem.

Při vizualizaci počtu zaměstnanců a hrubé měsíční mzdy je velmi jednoduché si všimnout průběžně rostoucí mzdy mezi lety 2011 až 2022. Díky vnímání perspektivy je jasně vidět, o kolik jsou mzdy v kraji Hlavní město Praha vyšší než v ostatních krajích republiky. Opět je zde jasně viditelná cyklická složka jak v počtu zaměstnanců, tak ve mzdách. Uživatel pomocí dvou odlišných zobrazení pomocí počtu

piktogramů a škálování modelu může bez obtíží vzájemně porovnávat tyto dvě veličiny.

V rámci této vizualizace je také možné vidět přínos v použití interakce pomocí dvou ovladačů. Uživatel může jednou rukou ovládat časovou složku a dalším ovladačem zobrazovat jednotlivé hodnoty v kontextových panelech. Volnost pohybu také pomáhá v lepším pozorování výškových rozdílů mezi kraji při zobrazení průměrných mezd. Uživatel se může snadno zaměřit pouze na sledování jedné oblasti nebo kraje jednoduchým přesunem na požadovanou pozici.

Vizualizace dat České republiky ale nebyla tak uživatelsky působivá jako Smart City. Pravděpodobně by bylo možné alespoň část vizualizace podobným způsobem zobrazit i pomocí standardních 2D způsobů. Ačkoliv v rámci interakce nabízí scéna více možností, v rámci zobrazení ukázky není tak klíčová schopnost zobrazit perspektivu nebo pohyb. Pokud by byla tato vizualizace dále rozvíjena, měla by být zaměřena pozornost na rozšíření použití unikátních vlastností, aby bylo využití virtuální reality opodstatněné.

7.3 Testování

Ověřování funkčnosti vizualizace probíhalo s pomocí systému virtuální reality HTC Vive na počítači s operačním systémem Windows 11, procesorem AMD Ryzen 5 5600X, grafickou kartou GTX 1060 6 GB a 32 GB RAM. Zobrazení vizualizace v této konfiguraci bylo plynulé a bez technických problémů.

Hlavním cílem této práce bylo ověřit koncept vytváření vizualizací rozsáhlých datových souborů a zjistit aktuální technickou způsobilost. Kvůli časové a technické náročnosti vývoje vizualizací již nebylo možné provést rozsáhlejší uživatelské testování a vyhodnocení statisticky přírnosných dat. Popsané vnímané kvality vizualizace a uživatelské dojmy jsou výsledky získané při testování autorem a jeho nejbližším okolím. Při posuzování se dbalo na co největší objektivitu a nezájatost.

7.4 Význam a shrnutí přínosu

Obě interaktivní ukázky prokázaly, že je možné vytvořit vizualizaci, která prezentuje data ve virtuální realitě. Pro vývoj jsou dostupné všechny potřebné technologie, je možné nalézt vhodná data a existují způsoby, jak data prezentovat

v prostoru nebo pomocí vizuálních pomůcek. Ačkoliv není k dispozici ucelený framework, který by vytvoření podobných interaktivních zobrazení zjednodušoval, jednotlivé nástroje jsou dostatečně přístupné a vhodné pro akademické i komerční použití. Všechny využití postupy při tvorbě by mělo být možné automatizovat, a dosáhnout tak vytvoření softwaru, který by mohl používat i laik bez znalosti vývoje softwaru.

Z uživatelského hlediska je možné vizualizace posoudit jako dostačující. Díky přirozené scéně a volnému pohybu při testování ukázek nedocházelo k dezorientaci či nevolnosti. Pomocí jednoduché a přirozené interakce s pomocí ručních ovladačů bylo možné dostatečně ovládat zobrazení dat a porovnávat tak jednotlivé údaje. Zda je vhodnější informace prezentovat striktně a doslovně, jako to bylo v ukázce Smart City, nebo jestli je vhodnější použít více abstraktní přístup, použitý v ukázce s daty České republiky, by muselo prokázat rozsáhlejší uživatelské testování.

Na interaktivních ukázkách je možné pozorovat, že zobrazení ve virtuální realitě není vyhovující pro všechny typy dat. Ideálně fungují data, která je možné zobrazit prostorově, v kontextu s fyzickými objekty nebo geografii. Příklady také ukazují, že je nutné využít přínosy virtuální reality. Nemělo by se jednat o pouhé nahrazení monitoru, protože v této oblasti jsou výhody VR převažovány nevýhodami.

7.5 Možnosti rozšíření

Interaktivní ukázky nabízejí mnoho možností rozšíření. Základní vizualizace používající stažené soubory datasetů by bylo možné napojit na realtime API, takže by uživatel mohl sledovat přímo aktuální změny. V případě Smart City by tato funkce mohla nalézt využití v dispečinku, monitoringu nebo v rámci záchranných složek. Mapové podklady OpenStreetMap a satelitní snímky NASA a dalších kosmických agentur pokrývají téměř všechny části Země, takže by zobrazování geografických dat mohlo být rozšířeno na téměř jakoukoliv část světa. V této oblasti by bylo vhodné propojit systém s GIS (Geographic information systém) nástroji, které mohou ve standardizované podobě poskytovat data.

Již zmiňovaným cílem by mohlo být rozšíření ukázek na plnohodnotný framework, který by dokázal vytvářet vizualizace ve virtuální realitě bez nutnosti programovat a vytvářet jednotlivé části na míru. Ideálně by měl obsahovat

i funkcionality pro převod dat z běžně používaných formátů, jejich analýzu a filtraci. Výstupem by měl být software, který automatizuje základní úkony a je možné jej plně ovládat pomocí uživatelského rozhraní, takže není nutné znát skriptovací jazyk nebo chápat matematické metody v pozadí. Takový nástroj by mohl být využitelný ve výzkumu, prodeji, investicích, bezpečnosti a mnoha dalších oblastech.

Přístup použitý pro vývoj interaktivních ukázek by bylo možné využít i pro jiné typy dat. Dvě vytvořené vizualizace se zaměřují hlavně na geografická data. Existují ale i další oblasti, které pracují s rozsáhlými datovými soubory. Bylo by vhodné provést další výzkum v oblasti financí, marketingu, dopravě, zdravotnictví a dalších. Výzkum by se také mohl týkat využití standardních způsobů zobrazení, jako je histogram, paralelní souřadnicové osy, stromové mapy a jejich přímých trojrozměrných realizací. Pomocí uživatelského testování by mohlo být vyhodnoceno, zda je třetí rozměr přínosný a využitelný.

Pro akademické využití by mohly být ukázky rozšířeny o nástroje pro testování znalostí nebo zápis výstupů. Techniky pro směrování pozornosti a přímá možnost asistence další osoby ve vizualizaci by pomohly s výukou a prezentací znalostí. Další výzkum s uživatelským testováním by mohl být proveden s cílem zjistit, zda žáci používající vizualizace ve virtuální realitě vykazují lepší výsledky než žáci používající standardní metody.

8 Shrnutí výsledků

Zkoumáním informací o vytváření, filtraci, třídění, ukládání, zpracování a analýze rozsáhlých datových souborů bylo možné lépe definovat, jaká data je vhodné využít pro vizualizaci ve virtuální realitě. Také bylo zjištěno, jaké datové soubory je možné získat, v jakých formátech a rozsahu. Díky principům a metodám z oblasti vizualizace rozsáhlých datových souborů je možné zjistit, jakými technikami se docílí zhuštění dat a zobrazení důležitých informací v přehledné a kompaktní formě. Přínosné bylo i zkoumání softwaru, který se pro vizualizaci „Big Data“ používá. Tyto nástroje dokáží provádět zpracování dat, filtraci a analýzu a výsledky tohoto procesu zobrazit v mnoha různých formách. Ačkoliv praktická část této práce obsahuje pouze vizualizační stránku tohoto procesu, bylo možné zvolit technologie a přístupy k tvorbě takovým způsobem, který by umožnil systém v budoucnosti o další části rozšířit. Nástroje pro vizualizaci rozsáhlých datových souborů také ukazují, jaké výstupy uživatelé vyžadují a jakým způsobem je ovládají. Tyto informace byly využity pro interaktivní ukázky.

Rozborem přínosů virtuální reality bylo možné poznat silné a slabé stránky virtuální reality. Kvalitní vlastnosti tak mohly být ve vizualizacích zdůrazněny a podpořeny, zatímco nedostatkům, jako vyvolávání nevolnosti nebo dezorientace, bylo možné předejít. Prozkoumání vhodných oblastí pro využití virtuální reality a již provedených studií pomohlo při výběru vizualizovaných dat a technik, jakými byly ukázky vytvářeny. Výzkumy provedené v oblasti vizualizace ve virtuální realitě také ukázaly, že tato oblast je perspektivní a poskytuje pozitivní výsledky. Zkoumání této oblasti má smysl a je využitelná v akademické i komerční sféře.

Vývoji interaktivních ukázek, které by mohly sloužit k ověření konceptu vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě, nebránila ani technická stránka. Je dostupný vhodný vývojový nástroj v podobě herního enginu Unity a použitá náhlavní souprava je dostatečně technologicky pokročilá k plynulému a kvalitnímu zobrazování virtuální scény.

Nejprve byla vyvinuta ukázka pojmenovaná Smart City. Zdrojem dat pro tuto vizualizaci byla data z města Aarhus v Dánsku. Informace pocházely ze senzorů rozmístěných na klíčových místech ve městě a z veřejně dostupných zdrojů.

Interaktivní vizualizace prokázala, že je možné data zobrazit efektivní a použitelnou formou. Ke kvalitě zobrazení přispělo vytvoření realistického modelu města včetně terénu a trojrozměrného zobrazení budov. Tyto informace poskytly kontext potřebný pro lepší pochopení významu dat a získání výstupů. Například v datech silničního provozu tak bylo možné lépe lokalizovat problematická místa a klíčové městské trasy. Pomocí interakce bylo možné ovládat i časovou osu zobrazení dat, takže se snadno daly pozorovat jevy jako ranní dopravní špička. Získání podobných informací bylo ve vizualizaci velmi snadné a přehledné, a tak by mohlo být využitelné i v reálných situacích. Do virtuální scény byla přidána ještě dodatečná data v podobě meteorologických informací, které dále prohloubily možnosti získání zajímavých výstupů. Uživatel tak mohl snadno pozorovat několik dimenzí dat v podobě silničního provozu, denní doby, oblačnosti, teploty a směru větru a z těchto informací vyvozovat závěry. Vizualizace byla vytvořena tak, aby bylo možné snadno přidávat další informace nebo měnit zobrazované datasey. Touto vizualizací tak bylo potvrzeno, že lze zobrazovat rozsáhlá data ve virtuální realitě přehledným a využitelným způsobem. Nedostatkem této vizualizace je malá různorodost zobrazovaných dat. Po krátkém prozkoumání informací a vyzkoušení všech možností ovládání již není mnoho dalších činností, které lze ve scéně provádět. Tento problém by mohl být vyřešen použitím datasetu s více dimenzemi informací a většími detaily. Také by mohla být do scény zapojena větší interaktivita a nástroje pro anotaci či detailní zkoumání hodnot, které vizualizaci tvoří.

Druhá ukázka zpracovávala data z Českého statistického úřadu. Protože se z většiny jedná o data napojená na územní celky České republiky, byla zvolena vizualizace s pomocí trojrozměrné mapy. Model byl rozdělen na kraje a pro lepší přehlednost zobrazoval mapové podklady i znázornění terénu. Jako testovací data byly zvoleny datasey s počty zemřelých, počty zaměstnanců a průměrné hrubé mzdy. Zemřelí byli znázorněni piktogramy rozmístěnými podle svého počtu v krajích. Uživatel opět mohl ovládat časovou osu zobrazení. Vizualizace tak umožňovala pozorovat cyklickou složku této statistiky nebo výrazné výkyvy hodnot v období pandemie covid-19. Ačkoliv znázornění bylo přehledné a uživatel snadno získal představu o tom, kolik jednotlivé hodnoty představují reálně osob, kvůli pouze jedné dimenzi dat by tato vizualizace mohla být prezentována i standardním zobrazením na

ploché mapě bez využití virtuální reality. Pomocí interakce s pomocí dvou ovladačů bylo možné nezávisle porovnávat dva kraje, nebo zároveň měnit čas a sledovat vývoj v kraji. Toto fungování by bylo náročnější převést i do standardní vizualizace, ale ne nereálné. Lépe využíval virtuální reality druhý dataset s počtem zaměstnanců a průměrnou hrubou mzdou. Protože se jedná o dvě dimenze dat, bylo nutné ve vizualizaci vytvořit dva různé způsoby zobrazení. Nakonec byl počet zaměstnanců zobrazován pomocí piktogramů podobně jako počet zemřelých v prvním datasetu. Průměrná hrubá mzda byla zobrazována jako výška jednotlivých krajů. Tímto způsobem mohl uživatel v jednu chvíli vidět i počet zaměstnanců i průměrnou hrubou mzdu. Jasně byl vidět rozdíl mezi krajem Hlavní město Praha a zbytkem republiky jak v počtu zaměstnanců, tak ve výši mzdy. Také bylo možné pozorovat průběžný růst v průběhu let. Použitím vnímání perspektivy a kombinací prvků byl lépe využit potenciál virtuální reality. Na této ukázce se potvrdil předpoklad, že převod jednoduchých dat a vizualizací do virtuální reality není příliš přínosný a negativní stránky virtuální reality, jako nepohodlí nebo nutnost volného prostoru, převáží výhody. Virtuální realita by tak měla být využita pro vizualizaci dat, které je obtížné zobrazovat standardními metodami. V co největší míře by mělo být využito vnímání prostoru, pohybu a interakce ve virtuální scéně.

Interaktivní vizualizace potvrdily využitelnost a potenciál virtuální reality pro zobrazování informací, ale zároveň ukázaly, že je nutné vhodně volit zobrazovaná data a způsob jejich prezentace. Pro určení konkrétních vhodných a nevhodných použití vizualizace a správného nastavení parametrů by bylo potřeba dalšího výzkumu a uživatelského testování.

9 Závěry a doporučení

Teoretická i praktická část práce ukázala, že vytvoření vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě je možné. K vývoji jsou dostupné potřebné softwarové i hardwarové technologie. Standardy v oblasti ukládání a zpracování dat umožňují bez větších obtíží vytvořit potřebné zobrazení. Je doporučeno využívat již ověřené softwarové nástroje jako herní engine Unity nebo veřejně dostupné zdroje, například v podobě OpenStreetMap, pro urychlení vývoje a snadnou kompatibilitu systému s dalšími nástroji. Vizualizace ve virtuální realitě je teprve rozvíjející se oblastí, a proto by nemělo docházet k tříštění systému, ale spíše naopak k tvorbě standardů a doporučených postupů.

Vytvořené interaktivní ukázky prokázaly, že s pomocí virtuální reality je možné efektivně zobrazit vícedimenzionální data a prezentovat informace jednoduchým a snadno pochopitelným způsobem. Vizualizace potvrdily kvalitu unikátních vlastností virtuální reality jako vnímání trojrozměrné virtuální scény, volnost a vnímání pohybu a přirozená interakce pomocí rukou a gest. Zároveň se ale prokázalo, že pokud nejsou tyto vlastnosti plně využity, negativní vlastnosti virtuální reality mohou převažovat nad výhodami. Stále je nutné brát v potaz relativně vysokou cenu zařízení, požadavek na volný prostor, nutnost složitě nastavovat náhlavní soupravu a uživatelskou nepohodlnost. To dokazuje, že vizualizace ve VR není konkurencí pro prezentační a vizualizační nástroje pro desktopové počítače. Může být jejich kvalitním doplňkem v oblastech, které vyžadují vícedimenzionální zobrazení, rozsáhlý prostor nebo pracují s komplexními 3D objekty. Cílem vizualizací ve virtuální realitě by mělo být maximální využití předností této technologie.

Aktuální možnosti v oblasti vizualizace rozsáhlých datových souborů ve virtuální realitě jsou dostatečné pro využití v komerční i akademické sféře. Technologie může být velmi přínosná v oblasti architektury, designu, marketingu, výzkumech, tréninku, školení a dalších. Každá z těchto činností nabízí dostatek prostoru pro další samostatný výzkum a uživatelské testování s cílem získat více informací o prezentaci a vnímání dat.

10 Seznam použité literatury

- [1] VENKATRAMAN, Ramanathan a Sitalakshmi VENKATRAMAN. Big Data Infrastructure, Data Visualisation and Challenges. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data and Internet of Things* [online]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, s. 13–17 [vid. 2021-10-15]. BDIOT 2019. ISBN 978-1-4503-7246-6. Dostupné z: doi:10.1145/3361758.3361768
- [2] KITCHIN, Rob a Gavin MCARDLE. What makes Big Data, Big Data? Exploring the ontological characteristics of 26 datasets. *Big Data & Society* [online]. 2016, **3**(1), 2053951716631130. ISSN 2053-9517. Dostupné z: doi:10.1177/2053951716631130
- [3] SAGIROGLU, Seref a Duygu SINANC. Big data: A review. In: *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)* [online]. 2013, s. 42–47. Dostupné z: doi:10.1109/CTS.2013.6567202
- [4] OUSSOUS, Ahmed, Fatima-Zahra BENJELLOUN, Ayoub Ait LAHCEN a Samir BELFKIH. NoSQL databases for big data. *International Journal of Big Data Intelligence* [online]. 2017, **4**(3), 171–185. ISSN 2053-1389. Dostupné z: doi:10.1504/IJBID.2017.085537
- [5] YANG, Chaowei, Qunying HUANG, Zhenlong LI, Kai LIU a Fei HU. Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges. *International Journal of Digital Earth* [online]. 2017, **10**(1), 13–53. ISSN 1753-8947. Dostupné z: doi:10.1080/17538947.2016.1239771
- [6] MOHAMMED, Chnar Mustafa a Subhi R. M. ZEEBAREE. Sufficient Comparison Among Cloud Computing Services: IaaS, PaaS, and SaaS: A Review. *International Journal of Science and Business*. 2021, **5**(2), 17–30.
- [7] SILVA, Bhagya Nathali, Muhammad DIYAN a Kijun HAN. Big Data Analytics. In: Murad KHAN, Bilal JAN a Haleem FARMAN, ed. *Deep Learning: Convergence to Big Data Analytics* [online]. Singapore: Springer, 2019 [vid. 2022-04-04], s. 13–30. ISBN 9789811334597. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-13-3459-7_2
- [8] CHOI, Tsan-Ming, Stein W. WALLACE a Yulan WANG. Big Data Analytics in Operations Management. *Production and Operations Management* [online]. 2018, **27**(10), 1868–1883. ISSN 1937-5956. Dostupné z: doi:10.1111/poms.12838
- [9] ARFAT, Yasir, Sardar USMAN, Rashid MEHMOOD a Iyad KATIB. Big Data Tools, Technologies, and Applications: A Survey. In: Rashid MEHMOOD, Simon SEE, Iyad KATIB a Imrich CHLAMTAC, ed. *Smart Infrastructure and Applications: Foundations for Smarter Cities and Societies* [online]. Cham: Springer

- International Publishing, 2020 [vid. 2022-04-04], s. 453–490. ISBN 978-3-030-13705-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-13705-2_19
- [10] MIDWAY, Stephen R. Principles of Effective Data Visualization. *Patterns* [online]. 2020, **1**(9), 100141. ISSN 2666-3899. Dostupné z: doi:10.1016/j.patter.2020.100141
- [11] BIKAKIS, Nikos. Big Data Visualization Tools. *arXiv:1801.08336 [cs]* [online]. 2018 [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1801.08336>
- [12] *Build a Treemap* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: https://help.tableau.com/current/pro/desktop/en-us/buildexamples_treemap.htm
- [13] *Build a Gantt Chart* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: https://help.tableau.com/current/pro/desktop/en-us/buildexamples_gantt.htm
- [14] HEALY, Yan Holtz and Conor. *Parallel coordinates plot* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.data-to-viz.com/graph/www.data-to-viz.com/caveat/parallel.html>
- [15] *Choose the Right Chart Type for Your Data* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: https://help.tableau.com/current/pro/desktop/en-us/what_chart_example.htm
- [16] CHAWLA, Geetika, Savita BAMAL a Rekha KHATANA. Big Data Analytics for Data Visualization: Review of Techniques. *International Journal of Computer Applications* [online]. 2018, **182**. Dostupné z: doi:10.5120/ijca2018917977
- [17] WILSON, James M. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research* [online]. 2003, **149**(2), Sequencing and Scheduling, 430–437. ISSN 0377-2217. Dostupné z: doi:10.1016/S0377-2217(02)00769-5
- [18] INSELBERG, Alfred. Parallel Coordinates: Interactive Visualisation for High Dimensions. In: Robert LIERE, Tony ADRIAANSEN a Elena ZUDILOVA-SEINSTRÁ, ed. *Trends in Interactive Visualization: State-of-the-Art Survey* [online]. London: Springer, 2009 [vid. 2022-04-05], s. 49–78. ISBN 978-1-84800-269-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-84800-269-2_3
- [19] Our Products. *Tableau* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.tableau.com/products>
- [20] *SAS Viya / SAS* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.sas.com/en_us/software/viya.html
- [21] *SAS Solutions for Hadoop* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.sas.com/en_us/solutions/for-hadoop.html

- [22] *Vizualizace dat / Microsoft Power BI* [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://powerbi.microsoft.com/cs-cz/>
- [23] ŠIMEČEK, Ondřej. *Vizualizace informace v systémech virtuální reality*. B.m., 2019. Univerzita Hradec Králové.
- [24] Horizon Workrooms for VR Remote Collaboration. *Meta* [online]. 19. srpen 2021 [vid. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://about.fb.com/news/2021/08/introducing-horizon-workrooms-remote-collaboration-reimagined/>
- [25] HOWARD, Matt C., Melissa B. GUTWORTH a Rick R. JACOBS. A meta-analysis of virtual reality training programs. *Computers in Human Behavior* [online]. 2021, **121**, 106808. ISSN 0747-5632. Dostupné z: doi:10.1016/j.chb.2021.106808
- [26] ZHANG, Yuxuan, Hexu LIU, Shih-Chung KANG a Mohamed AL-HUSSEIN. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. *Automation in Construction* [online]. 2020, **118**, 103311. ISSN 0926-5805. Dostupné z: doi:10.1016/j.autcon.2020.103311
- [27] *VR Software for Virtual Reality Design / Autodesk* [online]. [vid. 2022-07-26]. Dostupné z: <https://www.autodesk.in/solutions/virtual-reality>
- [28] *Fuzor - Design Interoperability* [online]. [vid. 2022-07-26]. Dostupné z: https://kalloctech.com/design_interop.jsp
- [29] CHANG, Eunhee, Hyun Taek KIM a Byoungyun YOO. Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements. *International Journal of Human-Computer Interaction* [online]. 2020, **36**(17), 1658–1682. ISSN 1044-7318. Dostupné z: doi:10.1080/10447318.2020.1778351
- [30] PIZZOLI, Silvia Francesca Maria, Ketti MAZZOCCO, Stefano TRIBERTI, Dario MONZANI, Mariano Luis ALCANIZ RAYA a Gabriella PRAVETTONI. User-Centered Virtual Reality for Promoting Relaxation: An Innovative Approach. *Frontiers in Psychology* [online]. 2019, **10**, 479. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2019.00479
- [31] APPEL, Lora, Eva APPEL, Orly BOGLER, Micaela WISEMAN, Leedan COHEN, Natalie EIN, Howard B. ABRAMS a Jennifer L. CAMPOS. Older Adults With Cognitive and/or Physical Impairments Can Benefit From Immersive Virtual Reality Experiences: A Feasibility Study. *Frontiers in Medicine* [online]. 2020, **6**, 329. Dostupné z: doi:10.3389/fmed.2019.00329
- [32] RIVA, Giuseppe, Brenda K. WIEDERHOLD a Fabrizia MANTOVANI. Neuroscience of Virtual Reality: From Virtual Exposure to Embodied Medicine. *Cyberpsychology Behavior and Social Networking* [online]. 2019, **22**(1), 82–96. ISSN 2152-2715. Dostupné z: doi:10.1089/cyber.2017.29099.gri

- [33] MILLAIS, Patrick, Simon L. JONES a Ryan KELLY. Exploring Data in Virtual Reality: Comparisons with 2D Data Visualizations. In: *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [online]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, s. 1–6 [vid. 2022-04-06]. CHI EA '18. ISBN 978-1-4503-5621-3. Dostupné z: doi:10.1145/3170427.3188537
- [34] RADIANTI, Jaziar, Tim A. MAJCHRZAK, Jennifer FROMM a Isabell WOHLGENANT. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education* [online]. 2020, **147**, 103778. ISSN 0360-1315. Dostupné z: doi:10.1016/j.compedu.2019.103778
- [35] DONALEK, Ciro, S. G. DJORGOVSKI, Scott DAVIDOFF, Alex CIOC, Anwell WANG, Giuseppe LONGO, Jeffrey S. NORRIS, Jerry ZHANG, Elizabeth LAWLER, Stacy YEH, Ashish MAHABAL, Matthew GRAHAM a Andrew DRAKE. Immersive and Collaborative Data Visualization Using Virtual Reality Platforms. *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* [online]. 2014, 609–614. Dostupné z: doi:10.1109/BigData.2014.7004282
- [36] LEE, Benjamin, Dave BROWN, Bongshin LEE, Christophe HURTER, Steven DRUCKER a Tim DWYER. Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* [online]. 2021, **27**(2), 1095–1105. ISSN 1077-2626, 1941-0506, 2160-9306. Dostupné z: doi:10.1109/TVCG.2020.3030435
- [37] EL BEHEIRY, Mohamed, Sébastien DOUTRELIGNE, Clément CAPORAL, Cécilia OSTERTAG, Maxime DAHAN a Jean-Baptiste MASSON. Virtual Reality: Beyond Visualization. *Journal of Molecular Biology* [online]. 2019, **431**(7), 1315–1321. ISSN 0022-2836. Dostupné z: doi:10.1016/j.jmb.2019.01.033
- [38] HAYATPUR, Devamardeep, Haijun XIA a Daniel WIGDOR. DataHop: Spatial Data Exploration in Virtual Reality. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* [online]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020 [vid. 2022-04-06], s. 818–828. ISBN 978-1-4503-7514-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1145/3379337.3415878
- [39] TECHNOLOGIES, Unity. *Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine* [online]. [vid. 2022-08-03]. Dostupné z: https://unity.com/
- [40] FOUNDATION, Blender. blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. *blender.org* [online]. [vid. 2022-08-03]. Dostupné z: https://www.blender.org/
- [41] JEŽEK, Bruno, Ondřej ŠIMEČEK a Antonín SLABÝ. Virtual Scene Components for Data Visualization. In: Lucio Tommaso DE PAOLIS, Pasquale ARPAIA a Patrick BOURDOT, ed. *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*

- [online]. Cham: Springer International Publishing, 2021, s. 3–16. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-030-87595-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-87595-4_1
- [42] *CityPulse Smart City Datasets - Datasets* [online]. [vid. 2022-08-08]. Dostupné z: <http://iot.ee.surrey.ac.uk:8080/datasets.html>
- [43] *Weather Data & Weather API | Visual Crossing* [online]. [vid. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.visualcrossing.com/>
- [44] OpenStreetMap. *OpenStreetMap* [online]. [vid. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/>
- [45] EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE (EROS) CENTER. *Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010)* [online]. xml. B.m.: U.S. Geological Survey. 2017 [vid. 2022-08-08]. Dostupné z: doi:10.5066/F7J38R2N
- [46] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Statistiky VDB* [online]. 18. březen 2022 [vid. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=statistiky>

11 Přílohy

- 1) ZIP soubor – obsah:
 - a. zdrojové kódy interaktivních ukázek
 - b. spustitelná verze aplikace interaktivních ukázek
 - c. video zachycující průchod vytvořenými vizualizacemi

Zadání diplomové práce

Autor:	Bc. Ondřej Šimeček
Studium:	I1900288
Studijní program:	N1802 Aplikovaná informatika
Studijní obor:	Aplikovaná informatika
Název diplomové práce:	Vizualizace rozsáhlých datových souborů v systémech virtuální reality
Název diplomové práce A):	Visualisation of large datasets in Virtual Reality systems

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Prostudovat problematiku vizualizace Big Data v prostředí virtuální reality. Na vhodném příkladu odzkoušet vybrané principy zobrazení, interakce a managementu rozsáhlých dat.

- Provést literární rešerši a seznámit se s aktuálním poznáním v oblasti vizualizace rozsáhlých dat a informace v prostředí systémů virtuální reality.
- Vytvořit přehled postupů a metod používaných při vizualizaci informace, soustředit se na využití znázornění informací ve virtuální prostorové scéně.
- Zaměřit se na možnosti interakce s rozsáhlými datovými soubory.
- Navrhnout testovací úlohy demonstrujících využití vizualizace a interakce v prostředí VR.
- Pro implementované řešení provést testování a zhodnotit dosažené výsledky.

[1] VENKATRAMAN, Ramanathan a Sitalakshmi VENKATRAMAN. Big Data Infrastructure, Data Visualisation and Challenges. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data and Internet of Things* [online]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, s. 13–17 [vid. 2021-10-15]. BDIOT 2019. ISBN 978-1-4503-7246-6. Dostupné z: doi:10.1145/3361758.3361768

[2] LEE, Benjamin, Dave BROWN, Bongshin LEE, Christophe HURTER, Steven DRUCKER a Tim DWYER. Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* [online]. 2021, **27**(2), 1095–1105. ISSN 1077-2626, 1941-0506, 2160-9306. Dostupné z: doi:10.1109/TVCG.2020.3030435

[3] DONALEK, Ciro, S. G. DJORGOVSKI, Scott DAVIDOFF, Alex CIOC, Anwell WANG, Giuseppe LONGO, Jeffrey S. NORRIS, Jerry ZHANG, Elizabeth LAWLER, Stacy YEH, Ashish MAHABAL, Matthew GRAHAM a Andrew DRAKE. Immersive and Collaborative Data Visualization Using Virtual Reality Platforms. *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* [online]. 2014, 609–614. Dostupné z: doi:10.1109/BigData.2014.7004282

Zadávací pracoviště: Katedra informatiky a kvantitativních metod,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Bruno Ježek, Ph.D.

Oponent: prof. RNDr. PhDr. Antonín Slabý, CSc.

Datum zadání závěrečné práce: 15.10.2021