

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Výučbové scenáre v rozšírenej realite
využívajúce procesné grafy**

Diplomová práca

2022

Bc. Adam Kašela

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Výučbové scenáre v rozšírenej realite
využívajúce procesné grafy**

Diplomová práca

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: 9.2.1. Informatika
Školiace pracovisko: Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ: Ing. Štefan Korečko, PhD.
Konzultant: Ing. Štefan Korečko, PhD.

Košice 2022

Bc. Adam Kašela

Abstrakt v SJ

Táto diplomová práca je zameraná na vytvorenie webového zážitku podporujúceho technológie rozšírenej reality s využitím procesných grafov slúžiacich pre návrh výučbových scenárov. Je určená pre výučbu dejepisu pre študentov 7. ročníka ZŠ a 2. ročníka gymnázií s osemročným štúdiom. Tento zážitok prispieva k modernizácii výučby na školách a zároveň prispieva k motivácii študentov vo vzdelávacom procese. Navrhnuté riešenie obsahuje riadenie virtuálnej scény pomocou Petriho sietí. Vytvoreniu tohto zážitku predchádzala analýza v ktorej sme použili metodiku systematického prehľadu literatúry. Na základe analýzy sme uskutočnili implementáciu riešenia, využívajúcu vývojový rámec A-Frame. Výsledná forma webového virtuálneho zážitku je múzejná expozícia, ktorá zachytáva historické udalosti a osobnosti z obdobia osvietenských reforiem v Habsburskej monarchii. Na záver sme uskutočnili prieskum a testovanie našej aplikácie.

Klíčové slová v SJ

rozšírená realita, virtuálna realita, Petriho siete, A-Frame, výučbové scenáre

Abstrakt v AJ

This diploma thesis is focused on creating a web experience supporting extended reality technologies using process graphs used to design learning scenarios. It is intended for teaching history to students in the 7th year of elementary school and the 2nd year of grammar school with the eight-year study. This experience contributes to the modernization of teaching methods in schools and at the same time contributes to the motivation of students in the process of education. The proposed solution includes control of the virtual scene using Petri nets. The creation of this experience was preceded by an analysis in which we used the methodology of a systematic review of the literature. Based on the analysis, we implemented a solution using the A-Frame development framework. The resulting form of the web virtual experience is a museum exhibition that captures historical events and personalities from the Enlightenment reform period in the Habsburg Monarchy. Finally, we conducted a survey and testing of our application.

Klíčové slová v AJ

extended reality, virtual reality, Petri nets, A-Frame, learning scenarios

Bibliografická citácia

KAŠELA, Adam. *Výučbové scenáre v rozšírenej realite využívajúce procesné grafy* .
Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
2022. 65s. Vedúci práce: Ing. Štefan Korečko, PhD.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **Informatika**

Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Výučbové scenáre v rozšírenej realite využívajúce procesné grafy
Learning Scenarios in Extended Reality Utilizing Process Graphs

Študent: **Bc. Adam Kašela**

Školiteľ: **Ing. Štefan Korečko, PhD.**

Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**

Konzultant práce:

Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Analyzovať prípady použitia rozšírenej, najmä virtuálnej, reality vo výučbe na nižších stupňoch škôl.
2. Analyzovať využitie procesných grafov na báze Petriho sietí pri definovaní scenárov pre výučbové prostredia.
3. Na základe analýzy navrhnúť a implementovať softvérové riešenie pre riadenie procesu prechodu virtuálnym prostredím pomocou Petriho siete.
4. Implementované riešenie použiť v konkrétnom scenári, založenom na učive pre základné školy v Slovenskej republike.
5. V rámci dostupných možností implementované riešenie overiť.
6. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho práce.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský

Termín pre odovzdanie práce: 22.04.2022

Dátum zadania diplomovej práce: 29.10.2021



prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 22.4.2022

.....

Vlastnoručný podpis

Podakovanie

Chcem sa poďakovať vedúcemu tejto práce Ing. Štefanovi Korečkovi, PhD. za cenné rady, odbornú pomoc a konzultácie, ktoré mi pomohli pri vypracovaní diplomovej práce.

Osobitné poďakovanie patrí mojej rodine a priateľom za nepretržitú podporu.

Obsah

Úvod	1
1 Formulácia úlohy	3
2 Systematický prehľad literatúry použitia výučbových aplikácií	4
2.1 Formulácia výskumných otázok	5
2.2 Metodika získavania dát a ich spracovanie	5
2.3 Analýza výsledkov	7
2.4 Najrelevantnejšie práce	9
2.4.1 Ostatné relevantné práce	12
2.5 Záver systematického prieskumu	12
3 Systematický prehľad literatúry návrhu scenára pomocou Petriho sietí	14
3.1 Formulácia výskumných otázok	14
3.2 Metodika získavania dát a ich spracovanie	15
3.3 Analýza výsledkov	16
3.4 Najrelevantnejšie práce	17
3.5 Záver systematického prieskumu	19
4 Návrh z pohľadu používateľa	21
5 Architektonické riešenie aplikácie	24
5.1 ECS architektúra	25
5.2 Špecifikácia návrhu riadenia scény pomocou Petriho sietí	25
5.3 Implementácia architektúry riadenia scény pomocou Petriho sietí	27
5.4 Implementácia modulov	30
5.4.1 Modul načítania Petriho siete	30
5.4.2 Modul manipulácie Petriho siete	31
5.5 Implementácia komponentov	32
5.5.1 Komponent zaobalujúci Petriho sieť	33

5.5.2	Komponenty odpálenia prechodov siete pri kliknutí	33
5.5.3	Komponent odpálenia prechodov siete pri kolízií	34
5.5.4	Komponent zobrazovania informácií	35
6	Návrh scenára riadenia scény	36
6.1	Navrhnutá Petriho sieť riadiaca virtuálnu scénu	36
6.2	Mapovanie Petriho siete na logiku v scéne	39
7	Návrh virtuálnej scény	41
7.1	Koncept scény	42
7.2	Návrhový postup	43
7.3	Optimalizácia scény	44
7.4	Miestnosti scény	46
8	Prieskum použiteľnosti	50
8.1	Realizácia prieskumu	51
8.2	Výsledky prieskumu	53
8.2.1	Výsledky prieskumu prvej sekcie dotazníka	53
8.2.2	Výsledky prieskumu druhej sekcie dotazníka	57
8.2.3	Výsledky prieskumu tretej sekcie dotazníka	59
9	Záver	60
	Literatúra	61
	Zoznam skratiek	66
	Slovník	67
	Zoznam príloh	68

Zoznam obrázkov

2.1	Harmonogram znázorňujúci fázy a úlohy metodiky prieskumu.	5
2.2	Prienik vo výsledkoch v databázach Scopus a Web of Science.	7
2.3	Publikácie v databázach za posledných 10 rokov.	8
2.4	Publikácie v databáze Scopus podľa krajiny.	8
2.5	Publikácie v databáze Scopus podľa študovanej disciplíny.	9
3.1	Prienik vo výsledkoch v databázach Scopus a Web of Science.	15
3.2	Publikácie v databázach od roku 2002 až 2021.	16
3.3	Publikácie v databáze Scopus podľa krajiny.	17
4.1	Koláž znázorňujúca finálny návrh scény.	23
5.1	Štruktúra riešenia klientskej aplikácie.	28
5.2	Architektúra riešenia z pohľadu A-Frame aplikácie.	29
5.3	Modul zabezpečujúci načítanie Petriho siete.	30
5.4	Modul zabezpečujúci manipuláciu Petriho siete.	32
6.1	Navrhnutá Petriho sieť riadiaca virtuálnu scénu.	38
7.1	Scéna v podobe ekvidištančnej projekcie.	43
7.2	Svetelná mapa 3D modelu scény.	45
7.3	Obrázok znázorňujúci úvodnú miestnosť virtuálnej scény.	47
7.4	Obrázok znázorňujúci miestnosť vládcov Habsburskej monarchie.	48
7.5	Obrázok znázorňujúci miestnosť osvietenských reforiem.	48
7.6	Obrázok znázorňujúci miestnosť korunovačných klenotov.	49
8.1	Graf znázorňujúci pohlavie zúčastnených respondentov.	53
8.2	Graf znázorňujúci vek zúčastnených respondentov.	53
8.3	Graf znázorňujúci predchádzajúcu skúsenosť respondentov s VR.	54
8.4	Graf znázorňujúci súhlas so zavádzaním nových technológií na školách pri výučbe.	54

8.5	Graf znázorňujúci záujem využitia VR pri výučbe.	55
8.6	Graf znázorňujúci názor na časové obdobie zavedenia VR vo vý- učbe.	55
8.7	Graf znázorňujúci zariadenia použité pri testovaní zážitku.	56
8.8	Graf znázorňujúci názor na zaujímavosť scény.	56
8.9	Graf znázorňujúci záujem o výučbu v iných predmetoch, ako de- jepis.	57
8.10	Obrázok znázorňujúci škálu SUS prieskumu.	57
8.11	Graf znázorňuje výsledné SUS skóre jednotlivých respondentov. . .	58

Zoznam tabuliek

2.1	Výskumné otázky	5
2.2	Vyhľadávaný dopyt v databázach	6
2.3	Ostatné relevantné práce	12
3.1	Výskumná otázka	15
3.2	Vyhľadávaný dopyt v databázach	15
6.1	Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 1	39
6.2	Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 2	40
6.3	Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 3	40
7.1	Výsledky kompresie nad modelmi použitými vo virtuálnej scéne.	46

Zdrojový kód

5.1	Príklad vytvoreného objektu modulom petriNetLoader	31
5.2	Príklad použitého komponentu petriNetSim	33
5.3	Príklad použitého komponentu clkSingleEventHandler	33
5.4	Príklad použitého komponentu clkMultiEventHandler	34
5.5	Príklad použitého komponentu collisionDetectorEventHandler . .	35
5.6	Príklad použitého komponentu toggleInfo	35

Úvod

Cieľom tejto práce je navrhnúť nízko nákladové riešenie výučbovej aplikácie v prostredí virtuálnej reality. Špecificky sme sa zamerali na výučbu učiva z náplne pre základné a stredné školy. Pre túto časť učiva sa vyvinie príslušná aplikácia a následne sa táto aplikácia aj overí v pedagogickej praxi.

Technológie rozšírenej reality sa dajú využiť na zlepšenie učenia a zapojenia študentov v procese výučby. Vzdelávanie pomocou rozšírenej reality¹ (XR, extended reality) môže zmeniť spôsob poskytovania vzdelávacieho obsahu. Rovnako ako tento spôsob výučby môže pomôcť študentom získavať nové informácie a poznatky efektívnym spôsobom, XR poskytuje vhodný spôsob výcviku zamestnancov. Najčastejšie využitie XR v podnikoch sa zameriava na výcvik simulácie pracovných zručností[1]. Dostupné publikácie uvádzajú jej využitie pri letových simulátoroch[2], vojenských tréningoch[3], prevádzke a údržbe zariadení alebo dokonca pri uskutočnení lekárskeho tréningu[4]. Funguje na predpoklade vytvorenia virtuálneho sveta, skutočného alebo imaginárneho a umožňuje používateľom nielen ho vidieť, ale aj s ním interagovať. Ponorenie sa do toho, čo sa učí, motivuje k tomu, aby sa danej problematike úplne porozumelo. Ľudia sa učia interakciou. Výučba založená na virtuálnej realite poskytuje pohlcujúcu vyučovaciu metódu. Schopnosť zapamätania si informácie sa zvyšuje pri učení pomocou interaktivity. Prostredníctvom XR je možné zažiť abstraktné koncepty alebo situácie, ktoré nie sme schopní zažiť bez XR, čo otvára mnoho možností, ktoré predtým neexistovali.

Pomocou vyššie spomínaných technológií sa v nedávnych rokoch začal presadzovať návrh seriózných hier vo výučbe [5]. Jedna z najdôležitejších aplikáčnych domén tohto edukačného prístupu je v oblasti vzdelávania. Seriózna hra je teda navrhnutá tak, aby bola atraktívna a príťažlivá pre širokú cieľovú skupinu. V svojej podstate sa veľmi podobá typu komerčnej hry, ale taktiež má za účel splniť špecifické vzdelávacie ciele. Preto za pozitíva tohto prístupu sa dá považovať

¹V slovenčine sa pojem rozšírená realita používa skôr aj ako preklad anglického termínu "augmented reality". V tejto práci pod rozšírenou realitou budeme myslieť extended reality (XR)

vyššie zapojenie a ponorenie sa do učiva. Bezpečný priestor na experimentovanie, kde používatelia môžu vykonávať činnosti, ktoré sú v reálnom svete nebezpečné. Niektoré práce, ako napríklad [6], odhalili, že takéto vzdelávanie vyvoláva pozitívne emócie študentov v procese učenia sa. To vedie k lepšiemu zážitku z učenia v porovnaní s tradičnými metódami.

V tejto práci sa budeme venovať návrhu serióznej hry založenej na webových technológiách využívajúcej technické možnosti rozšírenej, najmä virtuálnej, reality. Riešenie bude obsahovať alternatívny prístup v ktorom sa pozrieme na modelovanie herných scenárov a hernej logiky pomocou procesných grafov. Podľa prác, ako je [7, 8] sú pre túto problematiku vhodné Petriho siete. V našom riešení ponúkame implementáciu, ktorá ukazuje, že Petriho siete je možné použiť pre reprezentovanie logických udalostí v návrhoch virtuálnych scén. Za výhodu je považovaná, možnosť ich zápisu v grafickej podobe, čo umožňuje ich jednoduchšie pochopenie. Ich matematicky definovaná štruktúra umožňuje aby bol modelovaný systém formálne analyzovateľný a simulácia jeho správania ponúka možnosť detekcie chybného správania. Takéto chybné správanie vedie k situáciám, kde používateľ nemôže ďalej pokračovať alebo dokončiť plnenie stanovených cieľov v špecifickom riešení hry.

Technológie, ktoré zahŕňajú rozšírenú realitu umožňujú dodať študentom digitálne informácie o vzdelávacom predmete navyše, čo umožňuje komplexnejšie porozumenie a pochopenie informácií. Preto je potrebné riešenia, využívajúce tieto technológie zavádzať do výučby na školách rapídnejším tempom.

1 Formulácia úlohy

Prínosom tejto práce má byť virtuálny zážitok, ktorý študenti budú využívať na obohatenie výučby počas vyučovacích hodín alebo doma. Spracované učivo je zamerané na nižšie stupne vzdelania. Pre implementáciu zážitku použijeme vývojový rámec A-Frame, ktorý sa preukázal, ako vhodný na návrh nízkonákladových riešení pomocou technológií rozšírenej reality.

Prvým krokom je zanalyzovať dostupné zdroje, zaoberajúce sa prípadmi použitia rozšírenej, najmä virtuálnej, reality vo výučbe na nižších stupňoch škôl. Kapitola 2 prezentuje postupy a získané výsledky tejto analýzy. Analytickú časť sme rozšírili o ďalšiu analýzu zameranú na využitie procesných grafov na báze Petriho sietí pri definovaní scenárov pre výučbové prostredia, ktorá je popísaná v kapitole 3.

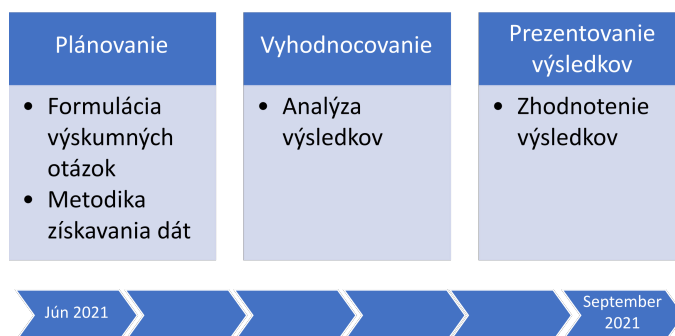
Získané výsledky analýz použijeme pri návrhu a implementácii softvérového riešenia pre riadenie procesu prechodu virtuálnym prostredím pomocou Petriho siete. Implementované riešenie použijeme v konkrétnom scenári, založenom na učive pre základné alebo stredné školy v Slovenskej republike. Dokumentovanie tejto časti je v nasledujúcich kapitolách 4, 5, 6 a 7.

Posledným krokom je zrealizovať overenie, pomocou dopytovacej metódy, popísané v kapitole 8. Získané dáta zanalyzujeme a overíme správnosť a funkčnosť riešení daných úloh. Výsledky verifikácie zdokumentujeme v práci. Na základe pokynov vedúceho práce a finálnej implementácie vypracujeme dokumentáciu k riešeniu, ktorá je súčasťou príloh diplomovej práce.

2 Systematický prehľad literatúry použitia výučbových aplikácií

Táto kapitola popisuje uskutočnenie systematického prehľadu literatúry (angl. Systematic literature review SLR) v oblasti výučby študentov stredných a základných škôl s využitím technológie rozšírenej reality (angl. Extended reality XR). Tento krok je veľmi dôležitý pri stanovení a určení výslednej témy, ktorá bude spracovaná v tejto diplomovej práci. XR je termín označujúci všetky kombinované reálne a virtuálne prostredia a interakcie v spojení človek - stroj generované počítačovou technológiou, kde znak „X“ predstavuje premennú pre všetky súčasné alebo budúce technológie priestorového výpočtu. Zahŕňa reprezentatívne formy, ako je rozšírená realita (angl. Augmented reality AR), zmiešaná realita (angl. Mixed reality MR) a virtuálna realita (VR) a všetky oblasti medzi nimi. XR je rýchlo sa rozvíjajúca oblasť, ktorá sa uplatňuje rôznymi spôsobmi, ako je zábavný priemysel, marketing, nehnuteľnosti, školenia a práca na diaľku[9]. Rovnako ďalší trend, ktorý preniká do popredia je výučba pomocou týchto technológií. Toto je ešte dôležitejšie v súčasnej dobe, ovplyvnenej pandémiou COVID, kde sa podľa [10] výučba presúva online v netestovanom a bezprecedentnom rozsahu.

Metodikou SLR sme vyhľadávaním v 2 digitálnych databázach našli 54 článkov publikovaných od roku 2011 do roku 2021. Nasledujúci obrázok 2.1 zobrazuje fázy a úlohy SLR usporiadané v chronologickom slede. Následne v ďalšej časti je podrobne popísané, akým spôsobom sa v jednotlivých fázach dosahuje výskumný cieľ tejto práce. Táto metodika je vypracovaná na základe článku [11].



Obr. 2.1: Harmonogram znázorňujúci fázy a úlohy metodiky prieskumu.

2.1 Formulácia výskumných otázok

Edukačné inštitúcie sú pod väčším tlakom než kedykoľvek predtým, aby vytvorili čo najlepšie zážitky študentom a poskytlí výnimočné vyučovanie s využitím moderných technológií. Technológie XR sú prínosom dištančného vzdelávania v prebiehajúcej pandémie Covid-19. Aby sme lepšie zamerali naše rozvojové aktivity týkajúce sa vzdelávania pomocou XR na základných a stredných školách, uskutočnili sme systematický prehľad literatúry (SLR). Aj to nás prinútilo zamýšľať sa nad otázkami a hľadať metódy výskumu. Tabuľka 2.1 predstavuje formulované otázky výskumu spolu s motiváciami na ktoré sme hľadali odpovede.

Výskumné otázky	Motivácia
O1. V akých predmetoch/učivách má zmysel použiť technológie XR(VR/MR/AR) ?	Motiváciou tejto otázky je nájsť údaje o využívaní technológií XR(VR/MR/AR) vo výučbe.
O2. V akých oblastiach, technológie XR(VR/MR/AR) boli použité ?	Táto otázka nám pomôže zamerať sa na vývoj aplikácie v oblasti, ktorá má zmysel.

Tabuľka 2.1: Výskumné otázky

2.2 Metodika získavania dát a ich spracovanie

Po formulácii výskumných otázok je potrebné zdefinovať spôsob, akým sme uskutočnili zber dát. Táto časť obsahuje informácie o stratégii vyhľadávania a extrakcii údajov, kritériá pre výber štúdií a meranie ich kvality. Cieľom tejto časti je opísať nasledujúci postup na vyhľadanie najrelevantnejších štúdií týkajúcich sa technológii XR vo výučbe. Táto stratégia bude zameraná na hľadanie rôznych

publikácií a konferenčných príspevkov, pomocou digitálnych výskumných knižníc. Rozhodli sme sa vyhľadávať pomocou nasledujúcich databáz na vykonávanie SLR:

- *Scopus*¹ - multidisciplinárna bibliografická, citačná a abstraktová databáza prevádzkovaná vydavateľstvom Elsevier.
- *Web of Science*² - Služba prevádzkovaná spoločnosťou Clarivate Analytics, ktorá poskytuje prístup k zbierke online citačných databáz.

Nasledujúca Tabuľka 2.2 predstavuje všetky vyhľadávacie dopyty, ktoré sme vykonali vo všetkých databázach uvedených vyššie. Pri práci s databázami je potrebné spomenúť, že každá databáza má svoju špecifickú syntax, čo predstavuje vyhľadávanie na základe logických výrazov o dostupných informáciach každého príspevku. Okrem toho má každá databáza aj obmedzenia o počte a spôsobe zápisu logických výrazov, ktoré je možné použiť pri rovnakom vyhľadávaní. Napríklad pri databáze Scopus pri vyhľadávaní v názvoch, abstraktoch a pomocou kľúčových slov je potrebné vyhľadávacie parameter vložiť do funkcie *TITLE-ABS-KEY*. Opakom v databáze Web of Science sa parameter vyhľadá pomocou tvaru *TS*.

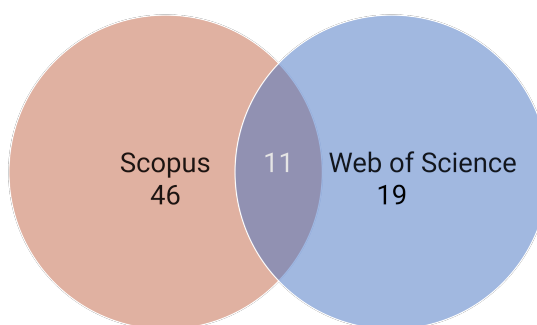
Databáza	Dopyt na databázu
Scopus	TITLE-ABS-KEY (education AND (evaluation OR experience OR comparison OR "comparative study") AND ("primary school" OR "secondary school")) AND (TITLE-ABS-KEY ("Virtual reality" AND "VR") OR TITLE-ABS-KEY ("Extended reality" AND "XR") OR TITLE-ABS-KEY ("Augmented reality" AND "AR") OR TITLE-ABS-KEY ("Mixed reality" AND "MR")) AND ALL (experiment OR methodology OR method) AND PUBYEAR >2010
Web of Science	TS=(education AND (evaluation OR experience OR comparison OR "comparative study") AND ("primary school" OR "secondary school")) AND (TS=("Virtual reality" AND "VR") OR TS=("Extended reality" AND "XR") OR TS=("Augmented reality" AND "AR") OR TS=("Mixed reality" AND "MR")) AND ALL=(experiment OR methodology OR method) AND PY=(2011-2021)

Tabuľka 2.2: Vyhľadávaný dopyt v databázach

¹Stránka digitálnej knižnice Scopus - Dostupné na: <https://www.scopus.com/>

²Stránka digitálnej knižnice Web of Science - Dostupné na: <https://login.webofknowledge.com/>

Po vyhľadávaní článkov v databázach Scopus a Web of Science pomocou do-
pytov v Tabuľke 2.2 sme uskutočnili triedenie daných výsledkov. Odstránili sme
11 duplicit v databáze Web of Science. Obrázok 2.2 znázorňuje prienik databáz.
Na zistenie duplicit z celkového počtu článkov z oboch databáz sme využili soft-
vérové nástroje JabRef³ a Excel⁴. Po odstránení duplicit sme analýzu zobrazili gra-
ficky v nasledujúcej kapitole.



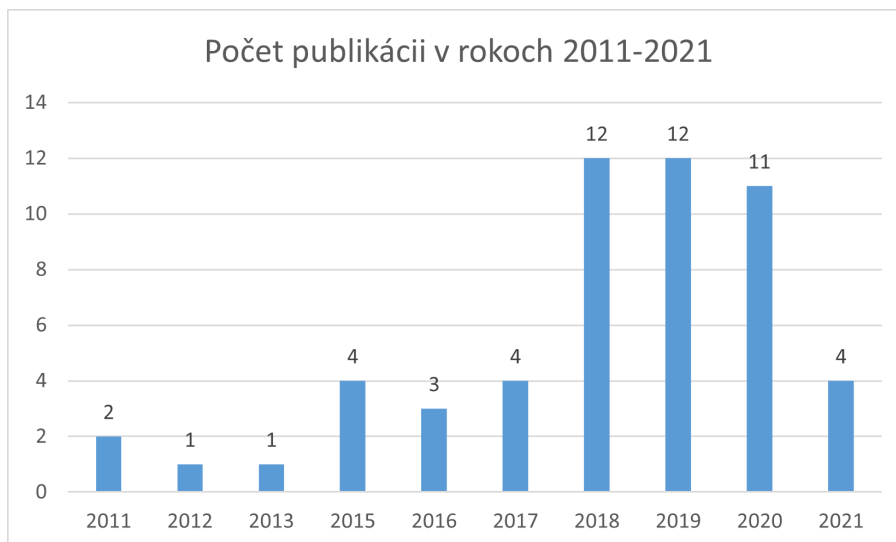
Obr. 2.2: Prienik vo výsledkoch v databázach Scopus a Web of Science.

2.3 Analýza výsledkov

Táto kapitola sa venuje analýze získaných dát z databáz, ktoré boli vytriedené od
duplicit. Graf na Obr. 2.3 znázorňuje distribúciu nájdených publikácií v období
2011-2021. Graf má stúpajúci charakter, konkrétne v rokoch 2018 a 2019 bolo pub-
likovaných 12 príspevkov. Najmenej, teda 1 publikácia bola publikovaná v rokoch
2012 a 2013. Na základe týchto výsledkov je možné hovoriť o rastúcom záujme
vzdelávania pomocou technológií XR, ktorý je čiastočne poháňaný širokou po-
nukou zodpovedajúcich hardvérových zariadení, dostupných za prístupnú cenu.
Najdôležitejšie sú náhlavné prilby pre VR, ktoré je možné získať za približne 500
EUR. Okrem toho je možné štandardný smartfón zmeniť na náhlavnú súpravu s
Google Cardboard za približne 10 EUR. Nižší počet prác v roku 2021 môže pris-
pieť k času kedy bola táto štúdia vykonaná a skutočnosť, že zvyčajne trvá niekoľko
mesiacov, kým sa publikácia objaví v databázach.

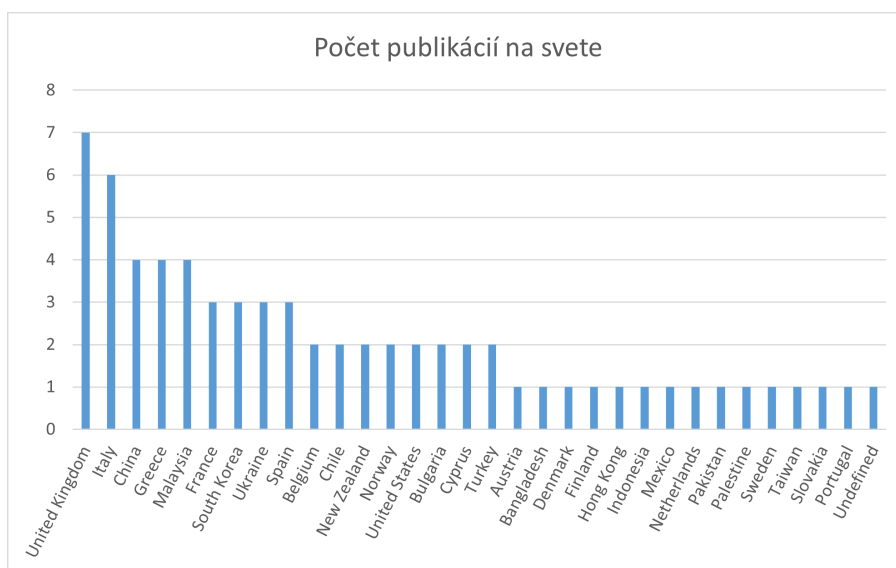
³Stránka softvéru JabRef - Dostupné na: <https://www.jabref.org/>

⁴Stránka softvéru Excel - Dostupné na: <https://www.microsoft.com/sk-sk/microsoft-365/excel>



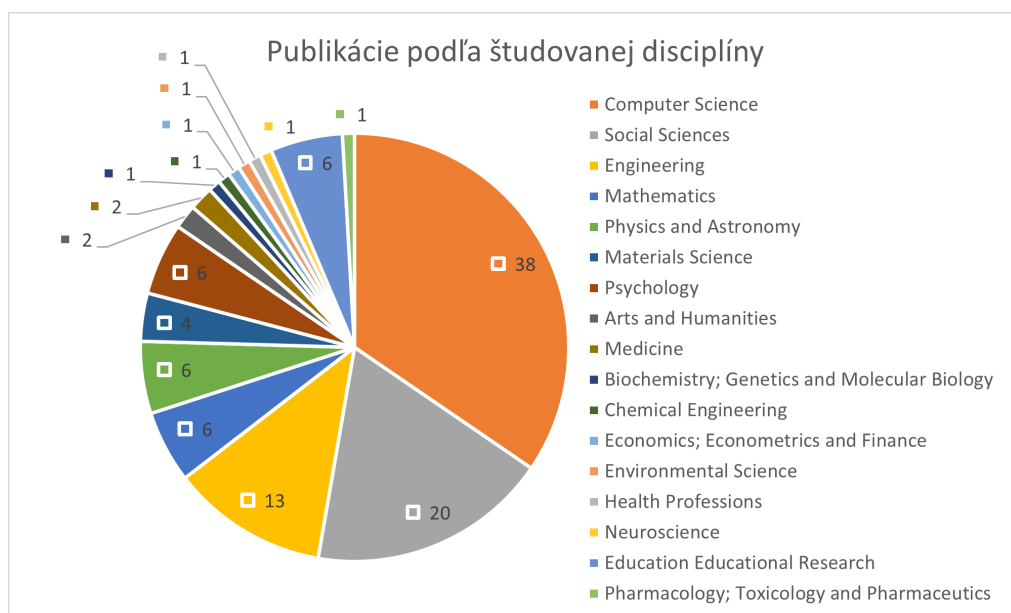
Obr. 2.3: Publikácie v databázach za posledných 10 rokov.

Graf na Obr. 2.4 znázorňuje počet publikácií rozdelený podľa krajiny výskytu. Najvyšší počet publikovaní má Spojené kráľovstvo a Taliansko. Objavila sa aj publikácia zo Slovenska, konkrétne z Univerzity v Žiline.



Obr. 2.4: Publikácie v databáze Scopus podľa krajiny.

Nasledujúci graf na Obr. 2.5 znázorňuje zoznam publikácií rozdelený podľa študovanej disciplíny vzdelávania. Najvyšší počet publikácií v tejto databáze je z oblasti počítačových vied. Najnižší počet publikácií je zaznamenaný z oblastí biochémie, chémie, ekonómie, oblasti environmentálnych vied a medicíny.



Obr. 2.5: Publikácie v databáze Scopus podľa študovanej disciplíny.

2.4 Najrelevantnejšie práce

V tejto kapitole sa venujeme vyhodnocovaniu najzaujímavejších publikácií. Vyhodnocovanie sme uskutočnili čítaním získaných článkov. Potom sme vybrali tie najrelevantnejšie, ktoré nám poskytli informácie týkajúce sa výskumných otázok, formulovaných v Tabuľke 2.1. Pokúsili sme sa tiež nájsť inšpiráciu z dostupných riešení, kde sme sa zamerali na použité technológie vo vývoji týchto aplikácií.

Aplikácia Math VR

Táto aplikácia[12]⁵, pomáha študentom porozumieť priestorovým tvarom a približuje základy z problematiky 3D geometrie. Aplikácia umožňuje prihlásenie pod rolou učiteľa alebo študenta. Učitelia môžu pridať úlohy, na ktorých študenti môžu pracovať.

Aplikácia NeoTrie VR

Aplikácia NezoTrie⁶, tiež prezentovaná v[12] umožňuje vytvárať, manipulovať a interagovať s geometrickými objektmi v 3D priestore. Navyše umožňuje navrhovať oveľa viac aktivít na požiadanie pre vytváranie nových zážitkov vo VR. Niektoré dostupné funkcie sú:

⁵ Stránka aplikácie Math VR - Dostupné na: <https://www.ace-learning.com/app/math-vr>

⁶ Stránka aplikácie NeoTrie VR - Dostupné na: <http://www2.ual.es/neotrie/>

- Vloženie objektov do scény VR pomocou systému Windows Rozpoznávanie reči Cortana. Dostupná knižnica obsahuje viac ako 100 geometrických objektov.
- Vkladanie 3D objektov v štandardizovaných formátoch, ako STL, OBJ alebo umiestňovanie obrázkov, 360° panorám, videí, zvukov a textov do scén VR na vytvorenie zložitejších aktivít.
- Možnosť ukladania scén v proprietárnom formáte NEOT.
- Zachytenie všetkého, čo sa deje na scéne, pomocou virtuálnych kamier s vysokým rozlíšením.
- Úprava objektov vo formáte STL priamo v rámci VR scény, pre neskoršiu 3D tlač.

Aplikácia je kompatibilná s náhlavnými prilbami VR, ako napr Valve Index, HTC Vive / Pro, Oculus Rift / S, Windows MR, Oculus Quest 1/2 + Oculus link / AirLink. Oculus Quest 1/2 (bez počítača). Riešenia podobné Google Cardboard s možnosťou použitia aj smartfónov.

Aplikácia Shapes 3D

Aplikácia Shapes 3D[12]⁷ inšpiruje študentov k skúmaniu geometrických telies. Umožňuje znázorniť rôzne typy trojrozmerných telies vrátane hranolov, kvádrov, pyramíd a Platónskych telies. Používatelia môžu tiež vykonávať akcie, ako napr rotácia telesa a overiť ich parametre (výška, šírka, hĺbka, atď. . .). Kresliť čiary, uhlopriečky, osy, alebo umožňuje skladanie a rozkladanie tvarov. Shapes 3D je ponúkaný ako Software as a service. Je založený na webe, takže ho možno použiť na akomkoľvek počítači s webovým prehliadačom.

Platforma zSpace®

zSpace®⁸ obsahuje niekoľko vzdelávacích a simulačných aplikácií zameraných na rôzne oblasti. Jednotlivé aplikácie obsahujú zbierku modelov z rôznych tematických oblastí a sady vopred pripravených aktivít pre prácu na hodinách.[13] Príklady dostupných aplikácií sú:

- **Human Anatomy Atlas** - umožňuje vizualizáciu presných mentálnych modelov ľudského tela.

⁷ Stránka Oculus Rift - Dostupné na: <https://shapes.learn-teach-explore.com/>

⁸ Stránka platformy zSpace® - Dostupné na: <https://zspace.com/>

- **MEL Chemistry** - poskytuje pútavú vizualizáciu a vysvetlenie konceptov chémie.
- **Euclid's Shapes** - obsahuje aktivity na precvičenie matematiky pre žiakov základných a stredných škôl.

Aplikácia AR Globe

Aplikácia AR Globe [14] je navrhnutá na zobrazovanie informácií o zemeguli. Obsahuje rôzne pohľady na zobrazenie častí vody, pôdy, rozdelenie kontinentov alebo menší pohľady na zemeguľu. Študenti sa môžu tiež dozvedieť o rôznych krajinách sveta a interaktívne hľadať ich polohu na povrchu zemegule. Aplikácia bola vyvíjaná za pomoci vývojového jadra Unity⁹.

Projekt MuraVagando

Tento projekt [15] bol vyvinutý, aby podporil lepšie porozumenie miestnej kultúry študentov žijúcich v meste Grosseto v Taliansku. Aplikácia umožňuje používateľom navštíviť rekonštrukciu svojho domovského mesta v 3D priestore. Konečným produktom je rozsiahla 3D interaktívna scéna znázorňujúca mesto Grosseto. Aplikáciu je možné spustiť cez web, aplikáciu spustiteľnú na smartfónoch, rovnako aj na platforme Oculus Rift¹⁰.

Projekt AIBLE-HELIOS®

Tento projekt [16] bol vytvorený za účelom výučby základných astronomických poznatkov pre deti základných škôl. Výsledky spracovaných štúdií naznačujú, že Helios poskytuje nové príležitosti na identifikáciu a vytvorenie nových stratégií výučby. Tvorcovia implementovali riešenie AR aplikácie takým spôsobom, kde kamera sníma skutočné prostredie a následne zaznamenané video je rozšírené o virtuálne objekty, zobrazované v reálnom čase. Prvý prototyp bol vyvíjaný v Unity⁹.

VR hra Trials of the Acropolis

VR hra Trials of the Acropolis [17] je založená na princípe gamifikácie vzdelávania. Študenti sa v priebehu hrania zoznámia s mýtmi starovekého Grécka. Celou

⁹ Stránka Unity - Dostupné na: <https://unity.com/>

¹⁰ Stránka Oculus Rift - Dostupné na: <https://www.oculus.com/rift/>

hrou sprevádza študentov rozprávač. Hrateľnosť spočíva v zoznamovaní sa s archeologickým náleziskom, zoznámením a pochopením starovekých mýtov. Rovnako študenti v priebehu hry riešia rôzne virtuálne hádanky a odpovedajú na otázky. Príbehová hra je vyvíjaná pomocou herného enginu Unity9.

2.4.1 Ostatné relevantné práce

Existovali aj ďalšie aplikácie zamerané na podobné oblasti. Najrelevantnejšie z nich sú uvedené a stručne opísané v tabuľke 2.3.

Rok	Ref.	Technológia	Typ publikácie	Opis
2020	[18]	AR	Konferencia	Vzdeláva na tému tepelná vodivosť fyzikálnych predmetov.
2020	[19]	VR	Článok	Aplikácia VR navrhnutá a používaná v procese učenia sa mentálnej aritmetiky pre žiakov základných škôl.
2021	[20]	AR	Článok	Implementácia AR príručky na zapojenie žiakov do vzdelávacieho procesu a tým skvalitnenie ich pochopenie histórie prostredníctvom interakcie s relikviami alebo prezeraním informácií o nich v reálnom čase.
2020	[21]	AR	Konferencia	Aplikácia AR používaná v literárnych publikáciách. Pomáha rozvíjať kreatívnu predstavivosť a formuje kreatívne myslenie, vytvára zaujímavú a zábavnú interakciu pri rozprávaní príbehov.
2020	[22]	AR	Článok	Kurzy AR použiteľné v učebných osnovách geografie pre stredné školy v Číne.
2019	[23]	IVR	Konferencia	Zameriava sa na pochopenie toho, ako sú stavebné konštrukcie navrhnuté, a konkrétnejšie na históriu a výstavbu prvého mosta. Aplikácia je vytvorená na pomoc študentom pochopiť, na čo tieto konštrukcie štruktúry slúžia a ako vyzerá dobrá stavebná konštrukcia.
2018	[24]	AR	Článok	Aplikácia pomáha žiakom základných škôl rozlišovať a naučiť sa tradičné hudobné nástroje.

Tabuľka 2.3: Ostatné relevantné práce

2.5 Záver systematického prieskumu

Vypracovaním systematického prehľadu literatúry sme získali odpovede na výskumné otázky položené vo fáze formulácie daných otázok definovaných v Tabuľke 2.1.

O1: V akých predmetoch/učivách má zmysel použiť technológie XR (VR/MR/AR) ?

Na základe prečítaných publikácií sme zistili, že pri návrhu aplikácií pomocou technológií XR (VR/MR/AR) prevláda implementácia aplikácií v odbore prírodných vied. Príkladom sú aplikácie uvedené v kapitole 2.4, kde autori sa zamerali na výučbu predmetov ako sú matematika, geografia, astronómia alebo biológia. Rovnako sme zaznamenali riešenia v odbore spoločenských vied, no bolo ich podstatne menej. Tu trendom bola historická rekonštrukcia miest alebo historických udalostí.

O2: V akých oblastiach, technológie XR (VR/MR/AR) boli použité ?

Prečítaním publikácií sme došli k záveru, že jednotlivé riešenia sa venujú výučbe menších celkov z rôznych oblastí a je možné ich vyvíjať a rozširovať nakoľko pri-nášajú študentom obohatenie výučby.

Výučba pomocou technológií, ako sú XR (VR/MR/AR) má význam, čo sme zaznamenali aj pri uskutočnení SLR, kde sme pozorovali nárast publikácií v tejto oblasti. Na to poukazuje Graf 2.3, kde môžeme pozorovať nárast zverejnených publikácií od roku 2018. Zistili sme, že návrh aplikácií, ktoré sa zameriavajú na vy-zobrazenie historických udalostí je v nižšom zastúpení v porovnaní s aplikáciami zameranými na prírodné vedy. To nás inšpirovalo k návrhu riešenia zameraného na prezentovanie časti histórie pomocou technológií XR.

Nové technológie prispievajú k digitalizácii školstva. Tento typ výučby prispieva k väčšiemu záujmu študentov o výučbu a podporuje lepšie zapojenie študentov do procesu výučby. Táto analýza potvrdila, že existuje veľká budúcnosť pre využitie XR vo výučbe. Tento spôsob výučby má stúpajúcu tendenciu. Podľa [25] bude v budúcnosti 9 z 10 pracovných miest vyžadovať digitálne znalosti a až polovica pracovných miest, ktoré dnes poznáme v priebehu 20 rokov nebude existovať. Preto je potrebné začať s lepším výučbovým plánom už teraz.

3 Systematický prehľad literatúry návrhu scenára pomocou Petriho sietí

Nasledujúca kapitola sa venuje SLR, zameranému na tvorbu herných scenárov pomocou Petriho sietí. Petriho siete sú podľa [26], špecifické grafické a matematické typy modelovacích konštrukcií užitočných pri analýze údajov, simuláciách, modelovaní obchodných procesov a návrhu iných typov scenárov. Petriho siete využívajú prvky, ako miesta (reprezentované kružnicami alebo elipsami), prechody (reprezentované obdĺžnikmi) a hrany (reprezentované šípkami) na opis zložitých postupov a modelovanie určitého systému. Domnievame sa že Petriho siete môžu byť využité pri návrhu a verifikácii herného scenára nejakého konkrétneho zážitku uskutočneného pomocou technológií XR.

Tento prehľad literatúry je implementovaný na základe návrhu uskutočneného podľa kapitoly 2. Preto je potrebné spomenúť, že jednotlivé fázy tohto prieskumu zodpovedajú návrhu znázornenému na obr. 2.1. Rovnako, ako v predošlej SLR, vyhľadávanie článkov bolo uskutočnené pomocou 2 digitálnych databázach *Scopus* a *Web of Science*. Našli sme 60 článkov publikovaných od roku 2002 do roku 2021. Implementácia a vyhodnocovanie tohto SLR bolo uskutočnené v období 6.12.2021 až 3.1.2022. Ďalšie podkapitoly podrobnejšie popisujú proces dosiahnutia výskumných cieľov v jednotlivých fázach. Postupy v nasledujúcich kapitolách sú uskutočnené podľa návrhu v predošlom SLR.

3.1 Formulácia výskumných otázok

Táto fáza sa skladá z polozenia výskumných otázok a vypracovania metodiky získavania dát, zhodnej podľa predošlej kapitoly 2. Cieľom tohto SLR je nájsť publikácie, ktoré sa zaoberajú návrhom a verifikáciou herných scenárov pomocou Petriho sietí. V tejto podkapitole sme položili výskumnú otázku ktorá nám pomôže odpovedať na vyššie spomínaný cieľ. Otázka je zobrazená v nasledujúcej Tabuľke 3.1.

Výskumné otázky	Motivácia
O1. Boli použité Petriho siete pri návrhu a implementácií scenárov ?	Motiváciou tejto otázky je nájsť príklady použitia Petriho sietí pri návrhu scenárov.

Tabuľka 3.1: Výskumná otázka

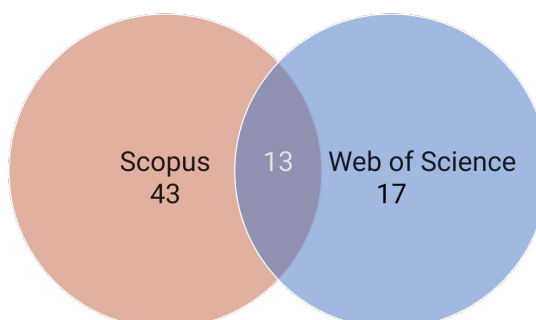
3.2 Metodika získavania dát a ich spracovanie

V tejto podkapitole popisujeme stratégie vyhľadávania a následnej extrakcie údajov. Cieľom tejto časti je opísať nasledujúci postup na vyhľadanie najrelevantnejších štúdií týkajúcich sa použitia Petriho sietí pri návrhu herných scenárov. Pri vyhľadávaní dát a verejne dostupných publikácií sme použili databázy *Scopus* a *Web of Science*. Nasledujúca tabuľka 3.1 znázorňuje použité dopytovacie frázy pre vyhľadanie publikácií zaoberajúcich sa stanovenou problematikou.

Databáza	Dopyt na databázu
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("petri net" AND (game OR "virtual environment" OR "virtual scene") AND (story OR "story management" OR scenario))
Web of Science	TS=("petri net" AND (game OR "virtual environment" OR "virtual scene") AND (story OR "story management" OR scenario))

Tabuľka 3.2: Vyhľadávaný dopyt v databázach

Po dopytovaní na publikácie v databázach Scopus a Web of Science, uskutočnených podľa dopytov v tabuľke 3.2 sme uskutočnili triedenie daných výsledkov. Pre spracovanie dát sme uskutočnili odstránenie duplícít nad získanými výsledkami. Dáta získané pri vyhľadávaní v databáze WoS obsahovali 13 duplícít z celkového počtu 60 publikácií, ako to je znázornené na obrázku 3.1.

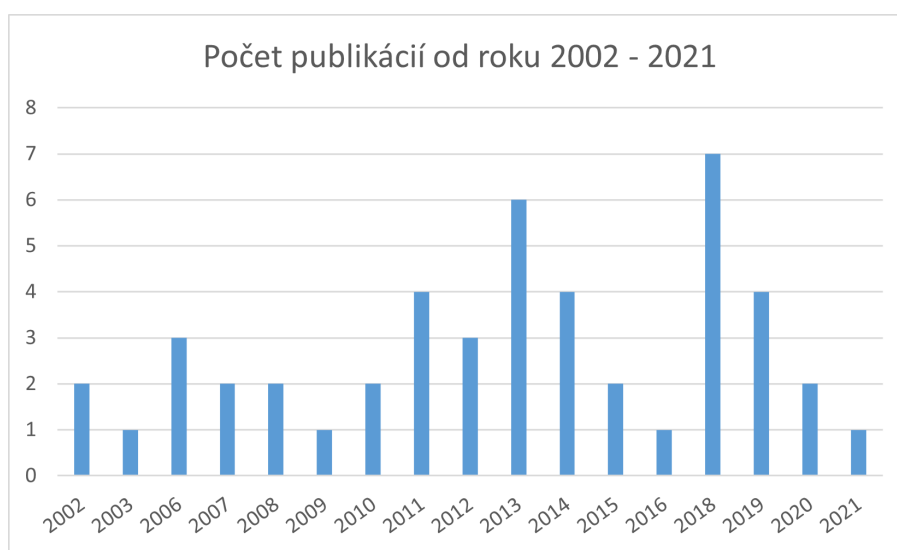


Obr. 3.1: Prienik vo výsledkoch v databázach Scopus a Web of Science.

3.3 Analýza výsledkov

Táto kapitola popisuje informácie a dáta získané pomocou knižníc *Scopus* a *Web of Science*. Dáta sú ďalej reprezentované graficky nad získanou vzorkou 47 publikácií. Táto vzorka bola spracovaná po odstránení duplicit, to znamená, že nasledujúce grafy obsahujú iba unikátne publikácie zo získanej vzorky celkového počtu publikácií.

Nasledujúci graf 3.2 naznačuje početnosť publikácií za obdobie od roku 2002 až 2021. Môžeme pozorovať najväčšiu početnosť zverejnených publikácií v rokoch 2018 (7) a 2013 (6).



Obr. 3.2: Publikácie v databázach od roku 2002 až 2021.

Graf 3.3 znázorňuje dáta, ktoré určujú krajinu výskytu publikovania. Najvyšší známy počet publikácií je zaznamenaný vo Francúzsku, a to s počtom 9. S počtom 6 publikácií sú na druhom mieste krajiny Brazília a Čína.



Obr. 3.3: Publikácie v databáze Scopus podľa krajiny.

3.4 Najrelevantnejšie práce

Okrem výsledkov získaných pomocou metodiky popísanej vyššie, do nasledujúcej časti sme zahrnuli publikácie, ktoré sme našli na sociálnej sieti ResaerchGate¹.

Návrh tréningového scenára pre obsluhu CNC strojov

V článku [27] je prezentovaný návrh architektúry tréningových systémov založených na VR. Návrh popisuje praktický prístup k modelovaniu tréningových scenárov systémov s využitím Petriho sietí. Pre overenie správnosti a následnú ilustráciu realizovateľnosti a efektívnosti tohto prístupu bol vyvinutý prototyp virtuálneho tréningového systém frézovacích operácií s počítačovým numerickým riadením (CNC).

Návrh školiaceho scenára pre obsluhu strojov vstrekovania plastu

V článku [28] je prezentovaná implementácia školiaceho systému na báze VR, ktorý sa zaoberá problematikou vstrekovania plastov. Návrh tohto systému a následný návrh školiaceho scenára je uskutočnený pomocou Petriho sietí. Pre dosiahnutie a určitého tréningového cieľa, súbor tréningových úloh je organizovaný do plánu nazývaného tréningový plán. Tento plán je v podstate špecializovaná Petriho sieť.

¹Stránka sociálnej siete ReaserchGate: <https://www.researchgate.net/>.

Návrh príbehu pre hru Europe 2045

V práci [29], autori využívajú návrhovú metodiku, ktorou upravujú Petriho siete pre tvorbu interaktívnych scenárov v hre **Europe 2045**. Špecifickou vlastnosťou týchto scenárov je, že sa rozvetvujú na základe používateľovej interakcie a môžu sa vyvíjať paralelne. Táto publikácia uvádza techniku špecifikácie grafov týchto scenárov, ktorá je podkladom pre návrh príbehového manažéra Európy 2045. Europe 2045 je online strategická hra pre viacerých hráčov zameraná na vzdelávanie stredoškôľakov v oblasti ekonómie, politiky a mediálnych štúdií. Hra umožňuje hráčom čeliť rôznym simuláciám herného scenára a riešiť krízy, ktoré riešia súčasné kľúčové problémy zjednotenej Európy.

Návrh príbehu pomocou hierarchických Petriho sietí

Práca [30] demonštruje, že Petriho siete možno použiť na vytváranie zápletok a predstavuje niekoľko príkladov, ako napríklad implementácie serióznej hry Karo zaoberajúcou sa občianskou náukou. Hra využíva príbehového manažéra odvíjajúceho príbehové zápletky reprezentované a kontrolované Petriho sieťami. Návrhom tejto publikácie je implementácia spomínaného príbehového manažéra, ktorý zahrňuje špecifické vylepšenie Petriho sietí. Toto vylepšenie je hierarchický model využívajúci časované farebné Petriho siete a nedeterministické konečnoscstavové automaty v spoločnej kombinácii.

Návrh generovania herného obsahu pomocou modulu Petriho siete

V článku [31] je popísaný návrh, ktorý znázorňuje generovanie úloh (angl. quest) pomocou modulov Petriho siete. Úloha v hernom svete je generovaná pomocou Petriho siete na základe hráčovej angažovanosti sa alebo charakteru hráča, ktorý je určený na základe Bayesovskej siete². Návrh využíva hru Never Winter Night³, ako hernú platformu na demonštráciu uskutočniteľnosti navrhovanej metódy. Hra je založená na žánri hrania rolí (RPG angl. role playing genre) využívajúcou pohľad z perspektívy tretej osoby.

²Bayesovská sieť je pravdepodobnostný grafický model, ktorý predstavuje množinu premenných a ich podmienených závislostí prostredníctvom orientovaného acyklického grafu

³ Stránka s informáciami o hre Never Winter Night - Dostupné na: <https://www.beamdog.com/games/neverwinter-nights-enhanced/>

Návrh vývojového rámca pre správu scenárov v aplikáciách virtuálnej reality

V [32] sa autori rozhodli pri návrhu vývojového rámca pre správu scenárov využiť Petriho siete pretože podporujú paralelizmus. Okrem toho boli Petriho siete široko rozšírené v literatúre pri návrhu podobných modelov, čo môže potvrdiť aj náš SLR. Pri návrhu a implementácii sa zamerali na uskutočnenie týchto 3 vlastností modelu pre návrh vývojového rámca:

- Podporovanie rôznych rolí aktérov: prípad prístupu k vykonaniu špecifických akcií.
- Vyjadrenie obmedzení parametrov sledu udalostí: prípad identity aktérov.
- Používanie úloh na modelovanie schopnosti: prípad používania nástrojov.

Autori model integrovali do aplikácie kolaboratívnej virtuálnej reality pre návrh tréningu pre zamestnancov v pneuservise. Aplikácia má za cieľ vyškoliť používateľov, ktorých úlohou je vymeniť koleso na aute.

3.5 Záver systematického prieskumu

Tento systematický prehľad skúmal použitie Petriho sietí pri návrhu scenárov využitých v hrách alebo v interaktívnych zážitkoch, ako sú aj tréningové scenáre pre zamestnancov uskutočnené pomocou XR technológií. Vykonali sme rozsiahli rešerš v dostupnej literatúre obsahujúcej relevantné štúdie publikované v období rokov 2002 až 2021 a napokon sme identifikovali 60 primárnych štúdií, ktoré nám poskytli potrebné odpovede na položené výskumné otázky sformulované v tomto prehľade v kapitole 3.1. Závěry a zistenia pre jedinú vytýčenú otázku tohto prehľadu sú zhrnuté nasledovne.

O1: Boli použité Petriho siete pri návrhu a implementácii scenárov ?

Po uskutočnení SLR a následným čítaním publikácii je možné konštatovať, že využitie Petriho sietí pri návrhu a implementácii scenárov je možné a dokonca aj zaužívané. Zaznamenali sme, že tieto scenáre sa využívajú prevažne pri návrhu takzvaných serióznych hier, čo sú hry navrhnuté pre iný účel, ako primárne na zábavu. Teda tieto hry možno využiť v oblastiach, ako je aj vzdelávanie. Vyššie popísané podsekcie popisujú tento typ návrhu:

1. **Návrh príbehu pre hru Europe 2045**
2. **Návrh príbehu pomocou hierarchických Petriho sietí**
3. **Návrh generovania herného obsahu pomocou modulu Petriho siete**

Rovnako sme zaznamenali aj publikácie, ktoré popisujú túto problematiku pri návrhu scenárov, no pri návrhu pre využitie na tréningové účely. Tieto publikácie sú nasledovné:

1. **Návrh tréningového scenára pre obsluhu CNC strojov**
2. **Návrh školiaceho scenára pre obsluhu strojov vstrekovania plastu**
3. **Návrh vývojového rámca pre správu scenárov v aplikáciách virtuálnej reality**

Tento prehľad dokazuje, že využitie Petriho sietí pri návrhoch scenárov je bežný. Sila týchto sietí je v tom, že umožňujú grafické znázornenie, čo poukazuje na ich jednoduchosť pochopenia a taktiež umožňujú formálny zápis. V tomto SLR sme pozorovali návrh scenárov na využitie v hrách ale aj pri návrhu tréningových postupov. Na základe získaných poznatkov budeme nasledovne postupovať pri návrhu nášho scenára v nasledujúcich kapitolách.

4 Návrh z pohľadu používateľa

Táto kapitola sa zaoberá návrhom špecifickej aplikácie pomocou technológií XR. Po ukončení analýzy sme prešli ku konkrétnemu návrhu aplikácie. Po uskutočnení analýzy v kapitole 2 sme zistili, že návrh aplikácií, ktoré sa zameriavajú na vyzobrazenie historických udalostí je v nižšom zastúpení v porovnaní s aplikáciami zameranými na prírodné vedy (matematika, geografia, astronómia alebo biológia). Pre tento dôvod sme sa rozhodli návrh našej aplikácie zamerať na prezentovanie časti histórie pomocou technológií XR. Pre náš návrh sme vybrali v súčasnosti používanú učebnicu Dejepis pre 7. ročník ZŠ a 2. ročník gymnázia s osemročným štúdiom [33]. Výber sme zúžili na aktuálnu výučbu, ktorá je usmerňovaná Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky. Učivo v knihe je rozdelené na 4 tematické celky. Vybrali sme posledný celok s názvom **Habsburská monarchia**. Táto časť je predmetom výučby v závere druhého polroka školského roka. Tento celok s názvom **Habsburská monarchia** sa skladá z týchto častí:

- **Bitka pri Moháči**
- **Osmanská ríša**
- **Reformácia v Uhorsku**
- **Hlavné mesto Uhorska**
- **Mária Terézia**
- **Jozef II.**
- **Osvietenský vzdelanci**

Následne sme sa sústredili na výber zaujímavých informácií z tém spomenutých vyššie. Zamerali sme sa na prezentovanie historických osobností:

- **Mária Terézia**
- **Karol VI. Habsburský**
- **Jozef II. Habsburský**
- **František I. Štefan Lotrinský**

Ďalšie informácie, ktoré sme využili pri návrhu aplikácie sú zamerané na tematické obdobie osvietenského absolutizmu. Presnejšie na tereziánske reformy a reformy Jozefa II., syna Márie Terézie:

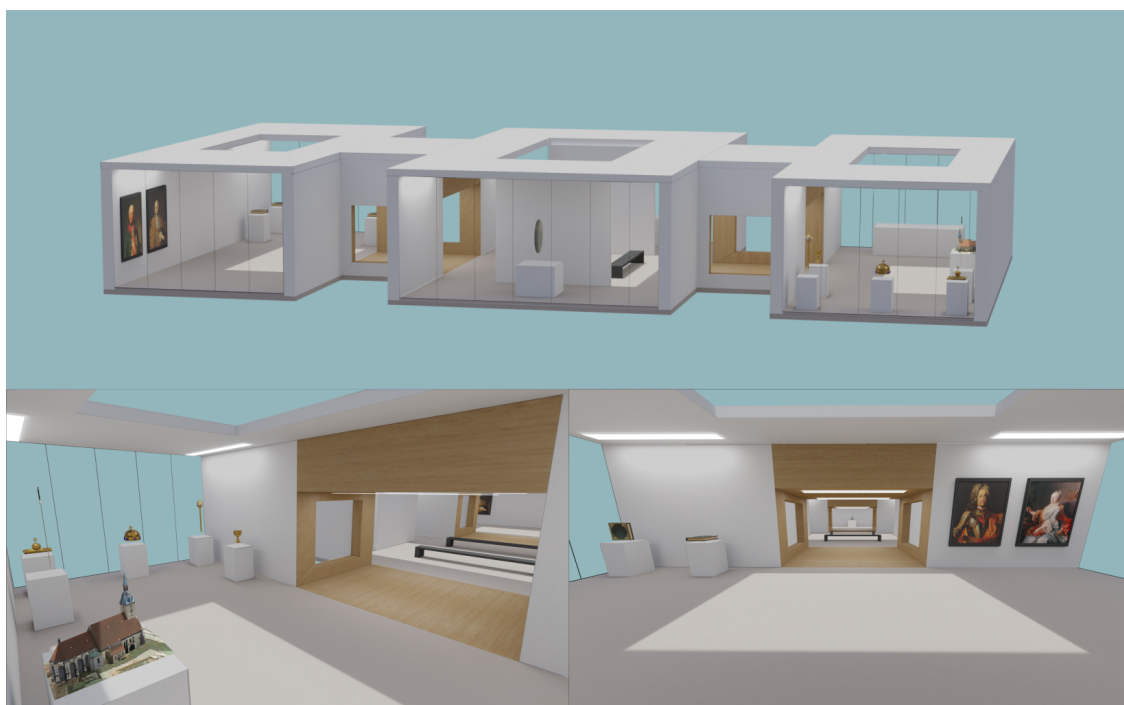
- **Reforma zriadenia zdravotných komisií**
- **Všeobecný školský poriadok**
- **Tereziánsky urbár**
- **Patent o zrušení nevoľníctva**

Použili sme fakty ohľadom korunovácií v Uhorsku, korunovačných klenotov a miesta korunovácie.

- **Uhorské korunovačné klenoty**
- **Bratislavský hrad**
- **Katedrála sv. Martina**
- **Iné zaujímavé informácie Tereziánsky toliar a erb Marie Terézie**

Pre výučbu sme sa zamerali na malú časť z celkového učiva. Cieľom tohto výberu výučbových materiálov je použiť ich na výučbu zaujímavým spôsobom. Rovnako dôležité je navrhnúť finálne riešenie aplikácie, tak aby jednotlivé témy boli prezentované vizuálne. Virtuálny zážitok môže ponúknuť vítanú zmenu oproti tradičnému čítaniu a písaniu výučbových materiálov. Tento spôsob pomáha udržať pozornosť študentov. Navyše mnohí učitelia chápu, že je dôležité ponúkať rôzne vyučovacie metódy, ktoré pomáhajú študentom učiť sa rôznymi spôsobmi. Nie každý študent sa pri tradičnom vyučovaní dobre učí a VR ponúka vynikajúci spôsob, ako zaujať študentov.

Po zhromaždení výučbových materiálov sme uskutočnili návrh scény. Naša virtuálna scéna je zameraná na obdobie osvietenských reforiem v Habsburskej monarchii a teda vhodný spôsob, akým by sme túto tematiku mohli prezentovať je v rámci múzejnej expozície. Scéna má podobu múzejnej expozície a pozostáva z troch vzájomne prepojených miestností. Miestnosti obsahujú 16 zaujímavých exponátov a musíte v nich splniť určité úlohy. Pre vyplnenie scény edukačným obsahom sme použili vyššie spomenutú knihu a dostupné informácie na internetovej encyklopédii Wikipedia. Pre prípravu scény sme použili Blender a začali sme modelovať model múzea. Kapitola 7 sa zaoberá návrhom scény oveľa podrobnejšie no výsledný návrh je znázornený na Obr.4.1. Obrázok znázorňuje koláž niekoľkých pohľadov kamery finálnej scény vymodelovanej v programe Blender. Horný obrázok znázorňuje perspektívny pohľad na celý model. Dolné 2 obrázky znázorňujú špecifickejšie náhľady na 2 najvzdialenejšie sekcie modelu múzea.



Obr. 4.1: Koláž znázorňujúca finálny návrh scény.

5 Architektonické riešenie aplikácie

Na základe návrhu z pohľadu používateľa sme uskutočnili návrh a implementáciu aplikácie. V špecifikácii práce je zadefinované, že je potrebné využiť vývojový rámec A-Frame¹, ktorý je overený a vhodný pre vývoj zážitkov pomocou technológií XR.

Síce v súčasnosti sú tie najprepracovanejšie a najvýkonnejšie aplikácie postavené na herných softvérových riešeniach, ako je Unity² alebo Unreal³. A-Frame predstavuje novú alternatívu, pretože moderné prehliadače ako Firefox, Microsoft Edge alebo prehliadače vytvorené od základov s ohľadom na VR, ako Supermedium⁴ majú podporu pre polohové sledovanie HMD a príslušných ovládačov, ako aj udalostí spúšťaných týmito ovládačmi. Ľudia, ktorí stoja za vyššie spomínaným prehliadačom Supermedium, vytvorili svoju vlastnú knižnicu A-Frame, ktorá bola postavená na 3D JavaScript knižnici Three.js⁵. A-Frame umožňuje vytvárať 3D scénu, importovať 3D modely, pridávať objekty a text, to všetko pomocou HTML a JavaScript.

Vývoj XR aplikácií, na rozdiel od vývoja tradičných webových stránok, vyžaduje množstvo nových odborných znalostí a tém na preskúmanie, ako je modelovanie a pridávanie 3D modelov do scény, vytváranie a pridávanie zvukov na obohatenie vytváraných zážitkov. Rovnako návrh a vytváranie používateľských rozhraní, ktoré sú prispôbené pre XR. Žiadna z vyššie uvedených aktivít nie je triviálna. A teda nutnosť naučiť sa vyvíjať na Unity alebo Unreal vrátane jazykov C# alebo C++, je neuveriteľne časovo náročné. Pretože A-Frame je rámec, ktorý umožňuje ľuďom používať konvenčné jazyky na vývoj webových aplikácií na navrhovanie a skriptovanie ich 3D zážitkov, A-Frame je o mnoho prístupnejší ako Unity a Unreal.

¹Domovská stránka A-Frame - Dostupné na: <https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/>

²Domovská stránka Unity - Dostupné na: <https://unity.com/>

³Domovská stránka Unreal Engine 5 - Dostupné na: <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5?sessionInvalidated=true>

⁴Domovská stránka Supermedium - Dostupné na: <https://www.supermedium.com/>

⁵Domovská stránka Three.js - Dostupné na: <https://threejs.org/>

5.1 ECS architektúra

A-Frame poskytuje deklaratívnu, zostaviteľnú a opakovane použiteľnú architektúru entita-komponent-systém (angl. Entity component system) (ECS). Architektúra ECS je bežným a často používaným vzorom pri návrhu 3D aplikácií a vývoji hier, ktorý je zameraný na kompozíciu pred dedičnosťou a princípom hierarchie. Riešenie podľa [34, 35] obsahuje:

- **Entita** - sú kontajnerové objekty, do ktorých je možné pripojiť komponenty. Entity sú základom všetkých objektov v scéne. Bez komponentov entity nič nerobia ani nevykresľujú.
- **Komponent** - sú opakovane použiteľné moduly alebo dátové kontajnery, ktoré možno pripojiť k entitám, aby poskytli vzhľad, správanie a dodatočnú funkčnosť.
- **Systém** - je systém riadenia, ktorý spája komponenty vo všetkých entitách, ku ktorým patria v rámci scény.

A-Frame posúva ECS na inú úroveň tým, že je deklaratívny a založený na DOM. Tradične by vývojové rámce založené na ECS vytvárali entity, pripájali komponenty, aktualizovali komponenty, odstraňovali komponenty cez kód. Ale A-Frame využíva HTML a DOM. Rovnako pri vývoji XR aplikácií A-Frame umožňuje prístup k využitiu JavaScriptu, DOM API, Three.js, WebVR⁶ a WebGL⁷.

5.2 Špecifikácia návrhu riadenia scény pomocou Petriho sietí

Táto kapitola sa venuje špecifikácii návrhu aplikácie. Na základe vykonanej analýzy v kapitole 3, sme zistili, že Petriho siete sú vhodné pri návrhu scenárov v hrách ale aj pri návrhu tréningových postupov. Preto považujeme využitie Petriho sietí za vhodné pri návrhu aplikácie pre XR. Budeme potrebovať vhodný nástroj pri tvorení týchto sietí. Pre návrh a tvorenie Petriho sietí použijeme nástroj CPN Tools⁸. Nástroj obsahuje inkrementálnu kontrolu syntaxe a generovanie kódu, ktoré prebiehajú počas vytvárania siete. Podporuje základné Petriho siete, časované Petriho siete a farbené Petriho siete. Obsahuje simulátor a nástroj

⁶Domovská stránka WebVR - Dostupné na: <https://webvr.info/>

⁷Domovská stránka WebGL - Dostupné na: <https://get.webgl.org/>

⁸Domovská stránka CPN Tools - Dostupné na: <https://cpntools.org/>

na analýzu stavového priestoru. CPN Tools pôvodne vyvinula CPN Group na Arhúskej univerzite v rokoch 2000 až 2010[36]. Požiadavky na riešenie sú aby implementácia podporovala aspoň základné Petriho siete.

Podľa [30, 37] Petriho siete sú špecifikačná technika často používaná v softvérovom inžinierstve. Základ Petriho sietí pozostáva z miest (angl. places), prechodov (angl. transitions) a hrán (angl. arcs). Jednotlivé miesta uchovávajú tokeny (angl. tokens). Hrany smerujú z miesta na prechod alebo naopak, nikdy nie medzi miestami alebo medzi prechodmi. Miesta, z ktorých prechádza hrana k prechodu, sa nazývajú vstupné miesta prechodu. Miesta, do ktorých smerujú hrany z prechodu, sa nazývajú výstupné miesta prechodu. Petriho siete majú zadefinované základné pravidlá. Ak je v konkrétnych miestach obsiahnutý dostatočný počet tokenov, je možné odpálenie prechodu. Po odpálení prechodu sa odstránia tokeny, ktoré umožnili odpálenie daného prechodu a následne sa vytvoria nové tokeny do výstupného miesta prechodu. V jednom okamihu môže niekoľko miest obsahovať rôzny počet tokenov.

V našom prípade sme použili Petriho siete na modelovanie poradia akčných sekvencií webového virtuálneho zážitku. Tento prístup nám umožňuje popísať logickú následnosť úloh, ktoré musí používateľ splniť pre úspešné dokončenie zážitku. Preto nasledujúca implementácia obsahuje:

- **Načítanie Petriho siete** - CPN Tools podporuje ukladanie siete v 3 rôznych formátoch. Jeden z nich je proprietárny formát *CPN*. No ďalšie 2 formáty *XML* a *PNML* sú pre nás omnoho zaujímavejšie. Jednou z najžiadanejších funkcií nástrojov na správu Petriho sietí sú funkcie na exportovanie Petriho sietí do ďalších nástrojov, ktoré pracujú s Petriho sieťami. Problém s touto zdanlivo jednoduchou a čisto technickou vlastnosťou je množstvo rôznych typov Petriho sietí. Za týmto účelom vznikol formát *PNML*. *PNML* je syntax na báze *XML* pre Petriho siete na vysokej úrovni, ktorá je navrhnutá ako štandardný formát výmeny pre nástroje Petriho sietí. Preto naše riešenie musí podporovať formát *PNML*.
- **Počiatkové značenie** - Načítanie siete je potrebné uskutočniť takým spôsobom, že sieť bude inicializovaná do počiatkového značenia. Umiestnenie tokenov do príslušných miest, pred prvým odpálením určitého prechodu.
- **Podpora pre násobné hrany** - Riešenie musí podporovať násobné hrany. To znamená, že hrany musia mať špecifikovanú váhu.
- **Podpora pre obojsmerné hrany** - Obojsmerné hrany v CPN Tools po exporte

do *PNML* formátu sú reprezentované, ako 2 samostatné hrany medzi špecifikovaným prechodom a miestom. Jedna smeruje do prechodu z miesta a druhá do miesta z prechodu.

Ďalšej špecifikácii riešenia a prezentovaní návrhu riešenia sa venujeme v nasledujúcej kapitole.

5.3 Implementácia architektúry riadenia scény pomocou Petriho sietí

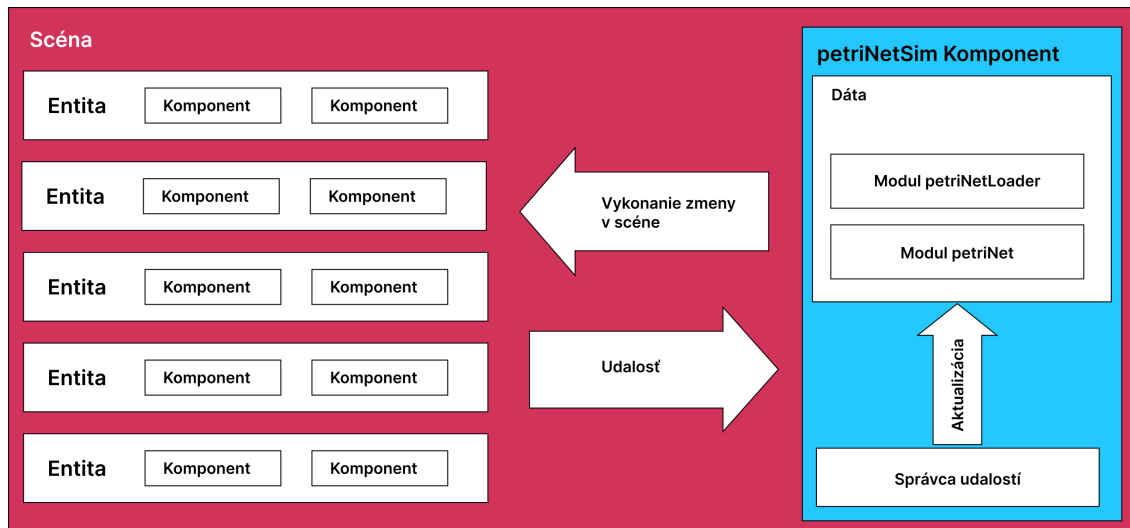
Táto kapitola sa zaoberá konkrétnym architektonickým riešením aplikácie. Výsledkom aplikácie je čisto klientská aplikácia. Pri implementácii riešenia sme rozdelili logiku aplikácie na znovupoužiteľné ES6⁹ moduly a A-Frame komponenty, ktoré môžu byť použité nezávisle od seba. Väčšie aplikácie XR potrebujú spôsob, ako jednoducho a čisto spravovať stav aplikácie alebo hry. Riadenie množstva stavov na strane klienta nekomplikovaným spôsobom bolo za posledných pár rokov veľkou témou vo vývoji 2D webových stránok, čo viedlo k vzniku mnohých knižníc, ktoré sa pokúšajú tento problém riešiť. V nasledujúcej časti ukážeme, ako sme navrhli naše riešenie riadenia stavu do architektúry ECS založenej na DOM implementovanej v A-Frame. Na obrázku 5.2 je znázornená štruktúra výslednej klientskej aplikácie na úrovni súborového systému.

⁹Domovská stránka ES6 modulov - Dostupné na: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide/Modules>



Obr. 5.1: Štruktúra riešenia klientskej aplikácie.

Ako je možné vidieť na Obr.5.2 prvým krokom bola jednoznačná separácia kódu v aplikácii. Pri návrhu sme museli prísť na spôsob, akým oddeliť implementáciu, ktorá sa zaoberá inicializáciou a manipuláciu Petriho siete od implementácie A-Frame kódu aplikácie. Preto sme využili ES6 moduly na zaobalenie riešenia kódu, ktorý sa zaoberá Petriho sieťami. V priečinku `src/js/modules` máme 2 moduly **petriNet.mjs** a **petriNetLoader.mjs**. Tieto moduly sa venujú čisto Petriho sieťam a komponent, ktorý zaoberá ich funkcionality sa nazýva **petriNetSim.component.js**. Ostatné komponenty komunikujú práve s komponentom **petriNetSim.component.js**, zatiaľ čo obsahujú vlastnú funkcionality použiteľnú v aplikácii. Pomocou JavaScriptu a DOM existuje jednoduchý spôsob, ako môžu entity a komponenty navzájom komunikovať. Je možné použiť udalosti (angl. events) a správcov udalostí (angl. event listeners). Udalosti sú spôsob, ako vyslať signál, ktorý môže iný kód zachytiť a reagovať naň. Riešenie, ktoré sa zaoberá riadením stavu aplikácie a jeho architektonické riešenie je zobrazené na obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Architektúra riešenia z pohľadu A-Frame aplikácie.

Obr.5.2 znázorňuje riešenie riadenia scény pomocou Petriho sietí na základe A-Frame architektúry ECS. Toto riešenie zahŕňa:

1. Jediný globálny komponent A-Frame **petriNetSim**, ktorý je zaregistrovaný na jedinečnej entite scény.
2. Počiatočný stav je špecifikovaný na základe Petriho siete, ktorá je načítaná pomocou **petriNetLoader** modulu do modulu **petriNet**. Modul **petriNet** je inicializovaný v životnom cykle inicializácie komponentu **petriNetSim**.
3. Stav Petriho siete je dostupný prostredníctvom údajov komponentu **petriNetSim**.
4. Ostatné komponenty v scéne komunikujú s komponentom riadenia Petriho siete (**petriNetSim**), pomocou odosielania HTML alebo vlastných udalostí.
5. Správcovia udalostí (angl. event listener) registrovaní v komponente **petriNetSim** sú zodpovední za odpálenie prechodov v sieti a tým pádom aktualizujú Petriho sieť na základe odpálených prechodov.
6. Komponent **petriNetSim** na základe odpálenia príslušných prechodov v sieti, vykoná zmeny nad komponentami registrovanými v scéne.

Na odoslanie odpáleného prechodu stačí, že ktorákoľvek registrovaná A-Frame entita vygeneruje udalosť nad komponentom scény **petriNetSim**. Nie je potrebné aby ostatné entity vedeli o stave v akom sa nachádza Petriho sieť. Funkcionalita jednotlivých modulov a komponentov je bližšie opísaná v nasledujúcej časti.

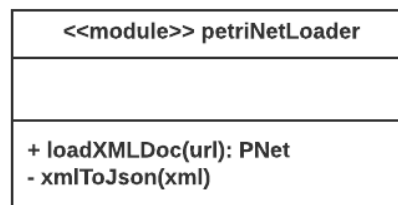
5.4 Implementácia modulov

Pri návrhu sme sa sústredili, aby jednotlivé časti kódu boli oddelené a znovu použiteľné. Preto sme implementáciu riadenia Petriho sietí rozdelili do 2 modulov. Moduly sa delia na:

- Modul **petriNetLoader**, ktorý sa venuje načítaniu Petriho siete.
- Modul **petriNet**, ktorý sa venuje manipulácií Petriho siete.

5.4.1 Modul načítania Petriho siete

Pre implementáciu nášho riešenia sme potrebovali navrhnutú Petriho sieť reprezentovať nejakým spôsobom v scéne. Preto bolo potrebné vyexportovanú sieť z programu CPN Tools načítať. Modul **petriNetLoader** zabezpečuje načítanie siete, ktorá je vo formáte PNML. Daný modul uskutočňuje požiadavky HTTP za účelom výmeny údajov medzi webovou stránkou a serverom, na ktorom je špecifikovaná sieť podľa parametra *url*. Rovnako daný modul, získaný PNML dokument parsuje a vytvára JavaScript objekt, ktorý obsahuje miesta, prechody a hrany špecifikovanej siete. Nasledujúci Obr.5.3 zobrazuje, špecifikáciu **petriNetLoader** modulu.



Obr. 5.3: Modul zabezpečujúci načítanie Petriho siete.

Modul špecifikovaný na Obr.5.3, znázorňuje modul, ktorý umožňuje načítanie Petriho siete. Obsahuje 2 funkcie, no iba funkcia *loadXMLDoc* je exportovaná z daného modulu. Príklad objektu, ktorý daná funkcia vytvára a následne aj vracia je znázornený v zdrojovom kóde 5.1.

```

petriNet: {
  places: [
    {
      "id": "ID1436202294",
      "name": "P3InsigniasCorrect",
      "marking": 4
    }, ...
  ],
  arcs: [
    {
      "id": "ID1436202581pt",
      "source": "ID1436202294",
      "target": "ID1436202449",
      "markingWeight": 1
    }, ...
  ],
  transitions: [
    {
      "id": "ID1436202449",
      "name": "P3Cplace"
    }, ...
  ]
}

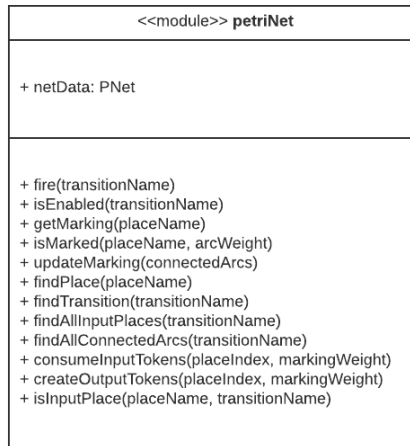
```

Výpis 5.1: Príklad vytvoreného objektu modulom petriNetLoader

Objekt obsahuje 3 polia. Pole dostupných miest, prechodov a hrán získaných zo špecifikovanej siete. Každé miesto obsahuje jedinečný identifikátor, meno a zadané značenie. Podobne prechody majú jedinečný identifikátor a špecifikované meno prechodu. Hrany obsahujú jedinečný identifikátor, váhu hrany a špecifikovaný identifikátor vstupného miesta a výstupného miesta. Teda špecifikáciu miesta z ktorého hrana vychádza a do ktorého smeruje.

5.4.2 Modul manipulácie Petriho siete

Táto časť popisuje modul **petriNet**, ktorého úlohou je implementovať funkcionálnu manipuláciu Petriho siete. Implementácia tohto modulu sa odvíja od formálnej definície a základnej terminológie samotných Petriho sietí. Tento modul inicializuje triedu, ktorá zapuzdruje údaje siete a poskytuje funkcie, ktoré umožňujú s týmito údajmi pracovať. Modul je navrhnutý tak, že konštruktor vytvára a inicializuje objekt vytvorený pomocou modulu **petriNetLoader**, ktorý je špecifikovaný v podkapitole 5.4.1 v zdrojovom kóde 5.1. Nasledujúci Obr.5.4 zobrazuje podrobnejšiu špecifikáciu modulu **petriNet**.



Obr. 5.4: Modul zabezpečujúci manipuláciu Petriho siete.

Daný modul exportuje navrhnutú celú triedu, ktorá sa zaoberá manipuláciou Petriho siete. Modul bol navrhnutý takým spôsobom aby jednotlivé funkcie dodržovali zadanú a zaužívanú terminológiu Petriho sietí. Preto implementácia zahrňuje:

- Možnosť odpálenia špecifikovaného prechodu - *fire(transitionName)*
- Zistenie, či prechod je možné odpáliť - *isEnabled(transitionName)*
- Zistenie značenia špecifikovaného prechodu - *getMarking(placeName)*
- Zistenie, či špecifikovaný prechod má dostatočné veľké značenie pri prípadnom odpálení prepojeného prechodu - *isMarked(placeName, arcWeight)*
- Dodatočné funkcie, ktoré slúžia na prácu s objektom siete

5.5 Implementácia komponentov

V tejto kapitole sa venujeme popisu navrhnutých A-Frame komponentov, ktoré boli využité na dotvorenie XR zážitku. Komponenty sú reprezentované atribútmi HTML na A-Frame entitách. Pod komponentmi sú objekty obsahujúce schému, obslužné programy životného cyklu a metódy. Komponenty sa registrujú cez API *AFRAME.registerComponent (názov, definícia)* [35]. Nasledujúce podčasti sa venujú popisu dôležitých komponentov, ktoré boli navrhnuté pre fungovanie riadenia scény pomocou Petriho sietí. Navrhnuté komponenty sú dôležité z hľadiska architektonického riešenia popísaného v podkapitole 5.3 na obrázku 5.2.

5.5.1 Komponent zaobalujúci Petriho sieť

Tento komponent zaobaluje celú funkcionálnosť a správu nad Petriho sieťou. Komponent musí byť inicializovaný nad jedinečnou entitou scény. Dôvodom je, že ostatné komponenty, ktoré oznamujú udalosti ohľadom zmien vykonaných v scéne to robia práve nad entitou scény. Zdrojový kód 5.2, znázorňuje použitie komponentu **petriNetSim**.

```
<a-scene
  renderer="colorManagement: true"
  light="defaultLightsEnabled: false"
  shadow="type: pcfsoft"
  petri-net-sim="finalPlace: final; taskCount: 3"
  ...>
  ...
</a-scene>
```

Výpis 5.2: Príklad použitého komponentu petriNetSim

Zdrojový kód poukazuje aj na špecifikáciu dát pri inicializácii komponentu. Komponent má zadané meno finálneho miesta siete a počet úloh na vykonanie.

5.5.2 Komponenty odpálenia prechodov siete pri kliknutí

Naša implementácia zahŕňa riešenie 2 komponentov, ktoré reagujú na udalosti kliknutia nad entitou, ktorá deklaruje jeden z týchto komponentov. Navrhnuté komponenty sú:

- Komponent **clkMultiEventHandler**
- Komponent **clkSingleEventHandler**

Zdrojový kód 5.3 znázorňuje použitie komponentu **clkSingleEventHandler**. Komponent môže byť deklarovaný nad akoukoľvek A-Frame entitou.

```
<a-entity
  clk-single-event-handler="name: P1confirm"
  ...>
  ...
</a-entity>
```

Výpis 5.3: Príklad použitého komponentu clkSingleEventHandler

V uvedenom príklade kód 5.3 poukazuje na možnosť špecifikácie dát pri inicializácii komponentu. Schéma komponentu obsahuje definíciu mena prechodu

siete, ktorý bude odpálený po kliknutí na entitu. Komponent po kliknutí na danú entitu oznamuje udalosť s menom odpáleného prechodu nad jedinečnou entitou scény.

Nasledujúci kód 5.4 znázorňuje použitie komponentu **clkMultiEventHandler**. Tento komponent je v svojej podstate veľmi podobný komponentu **clkSingleEventHandler**. Komponent môže byť deklarovaný nad ktoroukoľvek A-Frame entitou, na ktorú je možné kliknúť. Príklad uvedený nižšie znázorňuje použitie komponentu nad všeobecnou A-Frame entitou. Schéma komponentu obsahuje 2 možné udalosti, ktoré budú odpálené nad entitou scény. Zadefinovaná udalosť *firstToggleEvent* znázorňuje prvú udalosť, ktorá sa vykoná pri prvom a každom nepárnom kliknutí na entitu. Udalosť *secondToggleEvent* sa vykoná pri každom párnom kliknutí na entitu. Týmto spôsobom sa tento komponent správa, ako obyčajný prepínač udalostí. Umožňuje prepínať z jednej udalosti, funkcie alebo stavu do iného pomocou prepínača. Schéma obsahuje aj voliteľnú vlastnosť *selected*. Predvolená hodnota je zadefinovaná na hodnotu nepravda (angl. false). Pri dodatočnom nastavení tejto vlastnosti sa správanie prepínača, zmení na opačné. Teda poradie odpálenia udalostí sa zamení.

```
<a-entity
  clk-multi-event-handler=
    "firstToggleEvent: P2Cselect;
    secondToggleEvent: P2Cunselect;
    selected: false"
  ...>
  ...
</a-entity>
```

Výpis 5.4: Príklad použitého komponentu clkMultiEventHandler

5.5.3 Komponent odpálenia prechodov siete pri kolízií

Kód 5.5 znázorňuje príklad použitia komponentu **collisionDetectorEventHandler**. Komponent sleduje udalosti kolízií nad entitou, ktorá deklaruje tento komponent. Schéma komponentu definuje pomocou *collisionEvent* udalosť, v prípade pretnutia s nejakou entitou. Definícia *clearedCollisionEvent* udalosti slúži na zaslanie udalosti entite scény v prípade, keď nejaká entita prestane pretínať entitu deklarujúcu tento komponent. Komponent má v svojej podstate 2 možné využitia. Pomocou *placeColliderType* vieme definovať správanie komponentu. Predvolená hodnota tejto vlastnosti je nastavená na hodnotu pravda (angl. true). Keďže komponent **petriNetSim** sleduje zmenu miestnosti používateľa v scéne, vieme

tento komponent použiť na oznamovanie práve týchto udalostí. No pri nastavení tejto vlastnosti na hodnotu nepravda (angl. false), vieme využiť tento komponent na odpaľovanie udalostí súvisiacich s Petriho sieťou. Teda daný komponent môže odpaľovať prechody Petriho siete pri pretínaní a ukončení pretínania s nejakou entitou scény.

```
<a-entity
  collision-detector=
  "collisionEvent: P2;
  clearedCollisionEvent: Roaming;
  placeColliderType: true"
  ...>
  ...
</a-entity>
```

Výpis 5.5: Príklad použitého komponentu collisionDetectorEventHandler

5.5.4 Komponent zobrazovania informácií

Nasledujúci komponent nesúvisí s implementáciou riadenia scény pomocou Petriho sietí. Kód 5.6 znázorňuje použitie v celku jednoduchého komponentu **toggleInfo**. Komponent nemá žiadne zadané vlastnosti v schéme. Tento komponent slúži na zobrazovanie dodatočných skrytých informácií v scéne, prvého podriadeného HTML prvku (angl. Element) nad použitou entitou.

```
<a-entity
  toggle-info
  ...>
  ...
</a-entity>
```

Výpis 5.6: Príklad použitého komponentu toggleInfo

6 Návrh scenára riadenia scény

Táto kapitola sa zaoberá návrhom konkrétnej Petriho siete, ktorá bude použitá pri implementácii virtuálnej scény výsledného zážitku.

Pri budovaní komplexnej hry je veľmi jednoduché urobiť malú chybu pri návrhu alebo realizácii hernej logiky. Chyby, ktoré môžu vzniknúť môžu vytvoriť situácie, v ktorých používatelia nemôžu pokračovať v hre podľa plánu. Pretože sú v zacyklenom stave donekonečna a nemôžu zmeniť svoj stav z dôvodu, že zdroje, ktoré požadujú sú zablokované. Tieto problémy je možné vyriešiť návrhom herných scenárov vytvorených Petriho sieťami, kde jednotlivé herné prvky sú mapované na príslušné konštrukcie Petriho sietí. Náš návrh nespočíva v kontrolovaní len pre finálne stavy zážitku, ale pre každú možnú interakciu používateľa v scéne. Implementácia tohto prístupu priamo do herného zážitku prináša obrovskú výhodu. Nie je potrebné vyvíjať samostatný verifikačný model súbežne, keďže dobrým návrhom vieme verifikáciu zabezpečiť pri návrhu pomocou Petriho siete.

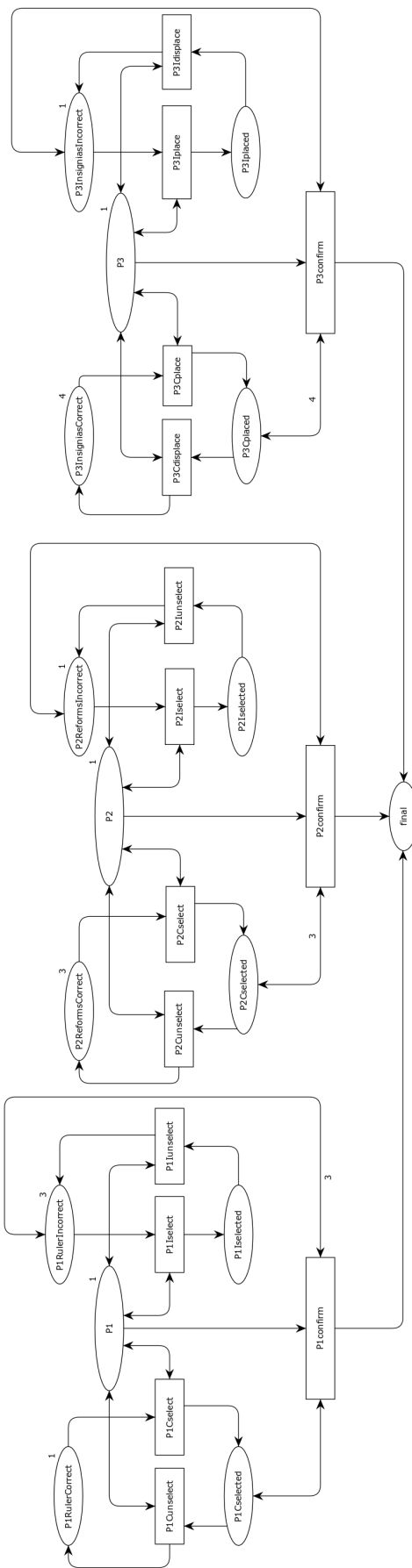
6.1 Navrhnutá Petriho sieť riadiaca virtuálnu scénu

Táto časť obsahuje formálny popis návrhu Petriho siete, ktorý sme využili na definíciu scenára finálneho riešenia zážitku pre webovú virtuálnu realitu.

V nasledujúcej časti sa budeme venovať najdôležitejším vlastnostiam grafickej reprezentácie siete znázornenej na obrázku 6.1. Obrázok znázorňuje sieť popisujúcu možné akcie, ktoré sa dajú v scéne uskutočniť. Výsledný zážitok, ktorý sme navrhli bude podrobnejšie popísaný z pohľadu používateľského rozhrania v nasledujúcej kapitole, no pre pochopenie siete je potrebné uviesť základný princíp používania. Naša virtuálna scéna je zameraná na obdobie osvietenských reforiem v Habsburskej monarchii. Scéna má podobu múzejnej expozície a pozostáva z troch vzájomne prepojených miestností. Miestnosti obsahujú 16 zaujímavých exponátov a je v nich potrebné splniť určité úlohy. Miestnosti sú v sieti označené ako **P1**, **P2** a **P3**. V každej miestnosti musí používateľ vykonať inú úlohu. Pri počítačnom značení siete miesta **P1**, **P2** a **P3** obsahujú 1 token. To znamená, že pou-

žívateľ môže úlohy v scéne vykonávať v akomkoľvek poradí. Každá miestnosť obsahuje exponáty zamerané na iný tematický celok. Exponáty sa delia na správne a nesprávne. Napríklad exponáty v miestnosti **P1** sú reprezentované miestami siete **P1RulerCorrect** s počtom 1 a **P1RulerIncorrect** s počtom 3. Jednotlivé miesta reprezentujúce exponáty sú naviazané na 4 prechody podľa toho, či sú exponáty správne alebo nesprávne. Keď chce používateľ v scéne označiť práve 1 správnu expozíciu, sieť reprezentuje túto akciu pomocou prechodu **P1Cselect**. Odpálením prechodu **P1Cselect** sa vytvorí jeden token v mieste **P1Cselected**. Toto miesto zaznamenáva počet označených správnych expozícií. V prípade zrušenia označenia expozície je potrebné odpálenie prechodu **P1Cunselect**, ktorý odoberie 1 token z miesta **P1Cselected** a vytvorí 1 do miesta **P1RulerCorrect**. Táto logika platí aj pre výber nesprávnych exponátov s tým, že príslušné miesta a prechody sú **P1RulerIncorrect**, **P1Iselect**, **P1Iunselect** a **P1Iselected** pre časť siete miesta **P1**. Následne používateľ, musí svoju odpoveď potvrdiť. Táto akcia sa dá vykonať odpálením prechodu **P1confirm**. Odpálenie prechodu je možné vtedy, keď všetky tokeny správnych exponátov boli odobrané a následne vytvorené v mieste **P1selected**. Zároveň miesto **P1RulerIncorrect** obsahuje rovnaký počet tokenov, ako pri inicializácii siete. Po odpálení daného prechodu nastane odobranie tokenu z miesta **P1** a vytvorenie v mieste **final**. To znamená, že používateľ vybral všetky správne exponáty a neoznačil ani jeden nesprávny.

Správanie siete je identické pre všetky miestnosti. Finálny stav siete nastane keď, miesto **final** má 3 tokeny.



Obr. 6.1: Navrhnutá Petriho sieť riadiaca virtuálnu scénu.

6.2 Mapovanie Petriho siete na logiku v scéne

Táto kapitola sa zaoberá mapovaním jednotlivých miest a prechodov na možné udalosti a stavy v hernom prostredí. V predchádzajúcej kapitole bolo spomenuté, že herný zážitok vo webovej virtuálnej realite má podobizeň múzejnej expozície. Používateľ ma za úlohu splniť 3 úlohy, ktoré sú rozmiestnené po scéne. Miestnosti nachádzajúce sa v scéne sú:

- **Miestnosť 1** obsahuje exponáty habsburských panovníkov. V podobe galérie.
- **Miestnosť 2** obsahuje exponáty osvietenských reforiem Habsburskej monarchie. V podobe vystavených kníh.
- **Miestnosť 3** obsahuje exponáty habsburských korunovačných klenotov.

Nasledujúce tabuľky znázorňujú mapovanie jednotlivých miest a prechodov siete na akcie a udalosti v scéne.

Tabuľka 6.1 znázorňuje interpretáciu miest a prechodov siete naviazaných v miestnosti 1. V tejto miestnosti sa nachádzajú portréty vyzobrazujúce habsburských vládcov. Úlohou používateľa je vybrať správne exponáty podľa zadanej úlohy.

Miesto	Interpretácia
P1	Miesto vykonávania úlohy
P1RulerCorrect	Stav reprezentujúci neoznačené správne exponáty vládcov
P1RulerIncorrect	Stav reprezentujúci neoznačené nesprávne exponáty vládcov
P1Cselected	Stav reprezentujúci označené správne exponáty vládcov
P1Iselected	Stav reprezentujúci označené nesprávne exponáty vládcov
Prechody	Interpretácia
P1Cselect	Udalosť označenia správneho exponátu vládcov
P1Cunselect	Udalosť zrušenia označenia správneho exponátu vládcov
P1Iselect	Udalosť označenia nesprávneho exponátu vládcov
P1Iunselect	Udalosť zrušenia označenia nesprávneho exponátu vládcov
P1confirm	Udalosť potvrdenia odpovede v miestnosti vykonávania úlohy

Tabuľka 6.1: Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 1

Tabuľka 6.2 znázorňuje interpretáciu miest a prechodov siete naviazaných v miestnosti 2. Používateľ má za úlohu označiť správne exponáty habsburských reforiem, zavedených Máriou Teréziou.

Miesto	Interpretácia
P2	Miesto vykonávania úlohy
P2ReformsCorrect	Stav reprezentujúci neoznačené správne exponáty reforiem
P2ReformsIncorrect	Stav reprezentujúci neoznačené nesprávne exponáty reforiem
P2Cselected	Stav reprezentujúci označené správne exponáty reforiem
P2Iselected	Stav reprezentujúci označené nesprávne exponáty reforiem
Prechody	Interpretácia
P2Cselect	Udalosť označenia správneho exponátu reforiem
P2Cunselect	Udalosť zrušenia označenia správneho exponátu reforiem
P2Iselect	Udalosť označenia nesprávneho exponátu reforiem
P2Iunselect	Udalosť zrušenia označenia nesprávneho exponátu reforiem
P2confirm	Udalosť potvrdenia odpovede v miestnosti vykonávania úlohy

Tabuľka 6.2: Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 2

Tabuľka 6.3 znázorňuje interpretáciu miest a prechodov siete naviazaných v miestnosti 3, virtuálnej scény. Používateľ má za úlohu preniesť správne exponáty uhorských korunovačných klenotov na špecifikované miesto virtuálnej scény.

Miesto	Interpretácia
P3	Miesto vykonávania úlohy
P3InsigniasCorrect	Stav reprezentujúci neumiestnené správne exponáty klenotov
P3InsigniasIncorrect	Stav reprezentujúci neumiestnené nesprávne exponáty klenotov
P3Cselected	Stav reprezentujúci umiestnené správne exponáty klenotov
P3Iselected	Stav reprezentujúci umiestnené nesprávne exponáty klenotov
Prechody	Interpretácia
P3Cplace	Udalosť umiestnenia správneho exponátu klenotov
P2Cdisplace	Udalosť zrušenia umiestnenia správneho exponátu klenotov
P3Iplace	Udalosť umiestnenia nesprávneho exponátu klenotov
P3Idisplace	Udalosť zrušenia umiestnenia nesprávneho exponátu klenotov
P3confirm	Udalosť potvrdenia odpovede v miestnosti vykonávania úlohy

Tabuľka 6.3: Interpretácia miest a prechodov v miestnosti 3

7 Návrh virtuálnej scény

Dôležitým cieľom pre tento webový virtuálny zážitok bolo vytvoriť pekne vyzerajúci a dobre fungujúci zážitok, kde by študenti mohli vyskúšať rôzne interakcie a preskúmať viaceré prípady použitia technológií XR pre podporu výučby. Naše riešenie využíva webový prehliadač a naše cieľové zariadenie je stolný počítač. Vytváraním tohto príkladu sa tiež snažíme prísť na najlepší spôsob, ako je možné optimalizovať a vylepšiť postupy návrhu virtuálnych scén pre webové technológie.

Demo bolo vytvorené pomocou webových technológií na základe A-Frame, založeného na architektúre ECS využívajúcu 3D knižnicu Three.js. Použili sme aj najnovšie štandardy, ako glTF¹ s kompresiou Draco² pre modely. Pre optimalizáciu textúr sme využili stratovú JPEG a bezstratovú kompresiu PNG. Modely boli vytvorené a spracované pomocou programu Blender³ a počas celej ukážky sa používa pečené osvetlenie (angl. baked lightning). Použili sme aj obsah tretích strán a to voľne dostupné modely zo stránok Skechfab⁴, 3D Warehouse⁵ a Free3D⁶. Pri návrhu sme používali základné PBR materiály v Blenderi a textúry dostupné cez Quixel Bridge⁷, ktorý podporuje exportovanie svojich textúr a modelov do Blenderu vo verzii 2.93. Použité zvuky v scéne sú pod licenčnou zmluvou, ktorá povoľuje ich voľné šírenie. Pre vyplnenie scény edukačným obsahom sme použili knihu Dejepis pre 7. ročník ZŠ a 2. ročník gymnázia s osemročným štúdiom a dostupné informácie na internetovej encyklopédii Wikipedia.

Pri návrhu sme sa inšpirovali [38], implementáciou projektu Hello WebXR, ktorý bol vytvorený na oslavu vydania špecifikácií WebXR na konci roka 2019. Predstavuje niekoľko malých VR zážitkov, ktoré sú ideálne na testovanie rôznych druhov interakcií a situácií vo virtuálnej realite.

¹ Stránka štandardu glTF - Dostupné na: <https://www.khronos.org/glTF/>

² Stránka knižnice Draco - Dostupné na: <https://google.github.io/draco/>

³ Stránka softvéru Blender - Dostupné na: <https://www.blender.org/>

⁴ Stránka 3D knižnice Sketchfab - Dostupné na: <https://sketchfab.com/feed>

⁵ Stránka 3D knižnice 3D Warehouse - Dostupné na: <https://3dwarehouse.sketchup.com/>

⁶ Stránka 3D knižnice Free3D - Dostupné na: <https://free3d.com/>

⁷ Stránka 3D knižnice Quixel Bridge - Dostupné na: <https://quixel.com/bridge>

V nasledujúcej časti sa budeme venovať aspektom vizuálneho dizajnu našej scény dostupnej na platforme Glitch⁸⁹. Glitch je online integrované vývojové prostredie pre JavaScript¹⁰ a Node.js¹¹ s okamžitým hosťovaním a automatizovaným nasadením a možnou živou pomocou od členov komunity v reálnom čase. Následne popíšeme, ako bolo demo vizuálne urobené a aké technológie a postupy boli zvolené pri implementácii scény.

7.1 Koncept scény

Od začiatku bolo našou myšlienkou vytvoriť jednoduchý, príjemne pôsobiaci a ľahko použiteľný zážitok, ktorý umožní používateľom vykonávať zaujímavé interakcie v scéne. Podmienkou návrhu bolo, aby zážitok bežal takmer na akomkoľvek zariadení VR, ale naším hlavným cieľovým zariadením bol webový prehliadač spustený na stolnom počítači. Začali sme zhromažďovaním referencií a vytváraním koncepčného grafického návrhu, aby sme zistili, ako bude výsledná scéna vyzeráť. Po zhromaždení referencií sme dospeli k záveru, že zážitok a prezentovanie historických informácií je vhodné v podobe múzejnej expozície. Pre zoskupenie týchto referencií a našich počiatočných návrhov sme použili nástroj Figma¹². Figma je vektorový grafický editor a nástroj na vytváranie prototypov, ktorý je primárne založený na webových technológiach. Súbor obsahujúci počiatočne návrhy scény a referenčné koncepčné média je možné nájsť online, ako voľnedostupný FigJam súbor (dostupné na <https://bit.ly/3jUXdrt>). Po príprave koncepčného grafického návrhu pre našu scénu sme použili Blender a začali sme modelovať model múzea. Následne sme model testovali vo VR, aby sme zistili, aké pocity navodzuje pri pohybe v 3D priestore. Mal by byť prívetivý, milý a neutrálny, aby bol vhodný pre všetkých divákov. Obr. 7.1 znázorňuje ekvidištančnú projekciu finálnej scény vymodelovanej v programe Blender. Obrázok je reprezentovaný z používateľovej pozície, ktorý sa nachádza v jednej z miestností.

⁸ Domovská stránka Glitch - Dostupné na: <https://glitch.com/>

⁹ Stránka projektu na Glitchi - Dostupné na: <https://aframe-petri-net-sim.glitch.me>

¹⁰ Domovská stránka JavaScript - Dostupné na: <https://www.javascript.com/>

¹¹ Domovská stránka Node.js - Dostupné na: <https://nodejs.org/en/>

¹² Domovská stránka Figma - Dostupné na: <https://www.figma.com/?fuid=>



Obr. 7.1: Scéna v podobe ekvidištančnej projekcie.

7.2 Návrhový postup

V tejto sekcii sa budeme zaoberať postupmi návrhu scény. 3D modely boli exportované do formátu glb. Blender vo verzii 2.93 prichádza s exportérom glTF a A-Frame obsahuje komponent načítavajúci (angl. loader) tento formát. Program je založený na Three.js knižnici. Textúry boli vo formátoch PNG a JPG, hoci v neskoršom štádiu vývoja dema boli všetky textúry manuálne optimalizované na drastické zníženie veľkosti. Dôvodom bolo zmenšenie výsledných modelov scény. Súbory glb boli exportované s materiálmi, pretože načítavanie takýchto modelov je omnoho pohodlnejšie, ako načítavanie modelov pri načítaní objektu scény a následnému manuálnemu priradeniu textúr na modely scény.

Vo všeobecnosti bol návrhový postup v celku tradičný a jednoduchý. Textúry boli namaľované alebo upravené pomocou nástroja Figma alebo priamo v nástroji Blender. 3D povrchové siete (angl. 3D mesh) a svetelné mapy boli vytvorené pomocou Blender-u v procese zapekania svetiel (angl. baking light).

Na vytvorenie UV svetelnej mapy boli objekty vo väčšine prípadov rozbalené (angl. UV mapping) pomocou predvoleného rozbaľovacieho nástroja obsiahnutého v nástroji Blender. Draco kompresia bola použitá aj v prípade každého 3D modelu, čím sa veľkosť jednotlivých modelov zmenšila v niektorých prípadoch z niekoľkých MB na KB.

7.3 Optimalizácia scény

Keďže cieľové riešenie je mierené na web, je potrebné aby riešenie bežalo v poriadku aj na mobilných zariadeniach. Pre tieto zariadenia si riešenie optimalizácie vyžaduje špeciálny prístup pri riešení počtu polygónov, zložitosti materiálov a textúr. Chceli sme, aby demo fungovalo hladko a bolo na nerozoznanie od natívnych alebo desktopových aplikácií, a toto sú niektoré z techník a rozhodnutí, ktoré sme urobili, aby sme to dosiahli:

- Nechceli sme aby vizuál nášho riešenia pripomínal esteticky low-poly [39] štýl. Skôr sme sa snažili dosiahnuť niečo úhľadné a zamerané na realistickejšie osvetlenie. Počet polygónov sa však v rámci tohto štýlu znížil na minimum.
- 3D povrchové siete (angl. meshes) sa zlučovali vždy, keď to bolo možné. Všetky statické objekty, ktoré by mohli zdieľať rovnaký materiál, boli zlúčené a exportované ako jeden celistvý objekt. Napríklad celá budova múzea obsahujúca rámy na obrazy a podstavce na exponáty bola exportovaná ako jeden objekt.
- Materiály boli zjednodušené. Takmer všetky prvky v scéne majú neosvetlený materiál. Na osvetlenie sú v scéne použité len dva typy svetiel. Na osvetlenie celej scény bolo použité HDRI a dodatočné svetelné panely. Pre ďalšiu optimalizáciu sme využili svetelné mapy, ktoré musia byť vopred vypočítané, aby poskytli pocit realistického osvetlenia.

Obrázok 7.2 obsahuje vyrendrované svetelné mapy (angl. light maps), pre scénu múzea. Podľa [40] proces svetelného pečenia (angl. light baking) je predbežný výpočet svetiel a tieňov pre statickú scénu a následné uloženie týchto informácií do svetelnej mapy. Vývojový rámec v procese vykresľovania scény potom vie, kde má model zosvetliť alebo stmaviť, čím vytvorí ilúziu svetla. Výhodou tohto postupu je, že kvalita osvetlenia môže byť lepšia, ako pri osvetlení v reálnom čase. Vývojový rámec v procese vykresľovania (angl. renderer) si vyhladá výsledok v textúre svetelnej mapy. To nám umožňuje vytvoriť globálne osvetlenie so sledovaním svetelných lúčov. Táto technika simuluje svetlo bližšie skutočnému životu.

Svetelné mapy však majú aj nevýhody. Je ľahké získať veľké, zreteľné pixely alebo pixelový šum v textúre pri aplikácii na model, zvyčajne kvôli nedostatočnému rozlíšeniu textúry. V našom prípade sme použili textúry o veľkosti 2048x2048

pixelov s využitím odstraňovania šumu (angl.denoising). Ďalšia možná nevýhoda je, že osvetlenie nie je možné meniť dynamicky, musí byť statické. Toto pre nás v skutočnosti nebol problém, pretože sme nepotrebovali žiadne dynamické osvetlenie.



Obr. 7.2: Svetelná mapa 3D modelu scény.

Ďalšia optimalizačná technika, ktorú sme použili je kompresia 3D modelov. Tento proces je veľmi dôležitý pre návrh aplikácií pre web. Keby jednotlivé modely boli veľmi veľké, stránka by mohla byť neresponzívna a aj jej načítanie by trvalo dlhšie. Toto sme zabezpečili pomocou Draco kompresie nad jednotlivými modelmi. Pri výbere modelov sme sa snažili, aby modely mali čo najmenší počet polygónov a textúry mali čo najmenšiu veľkosť. Preto výsledky kompresie nie sú veľmi veľké, no v niektorých prípadoch dosahuje až 50% kompresiu. Nasledujúca tabuľka 7.1 uvádza dosiahnuté výsledky po vykonanej kompresii nad modelmi scény. Výsledná kompresia je v tabuľke vypočítaná ako dosiahnutá úspora miesta. Úspora miesta je podľa [41] je definovaná, ako zmenšenie veľkosti vzhľadom na nekomprimovanú veľkosť a jej výpočet je uskutočnený:

$$\text{Úspora miesta} = 1 - \frac{\text{Komprimovaná veľkosť súboru}}{\text{Nekomprimovaná veľkosť súboru}}$$

V našom pozorovaní sme postrehli, že kompresia funguje najlepšie pri komplikovaných modeloch, ktoré majú zbytočnú topológiu alebo veľké množstvo polygónov. Pri jednoduchých modeloch sme zaznamenali nepostrehnuteľnú kompresiu.

3D modely	Veľkosť súboru	Komprimovaná veľkosť súboru	Kompresia %
apple_cloak.glb	1,6 MB	690,14 KB	57,76%
book.glb	208,87 KB	201,73 KB	3,42%
bratislava_castle.glb	949,84 KB	441,73 KB	53,49%
coin.glb	543,58 KB	538,33 KB	0,97%
crown.glb	1,02 MB	682,11 KB	34,97%
cup.glb	824,65 KB	632,67 KB	23,28%
mace.glb	3,08 MB	1,06 MB	65,73%
museum.glb	3,06 MB	2,46 MB	19,44%
svMartin_catedral.glb	1,09 MB	854,93 KB	23,52%
sword.glb	1,11 MB	1,09 MB	2,30%

Tabuľka 7.1: Výsledky kompresie nad modelmi použitými vo virtuálnej scéne.

7.4 Miestnosti scény

Táto kapitola sa venuje popisu zážitku vo webovej virtuálnej realite ako celku. Scéna je navrhnutá ako múzejná expozícia, v ktorej sú vystavené expozície zamerané na obdobie osvietenských reforiem v Habsburskej monarchii. Používateľ má za úlohu preskúmať múzeum a splniť úlohy, ktoré majú overiť jeho nadobudnuté poznatky ohľadom zadanej problematiky. Scéna je rozdelená na 4 časti (miestnosti), kde v 3 častiach sú pripravené úlohy zamerané na inú časť učiva. Tieto miestnosti sú:

- **Úvodná hala**
- **Miestnosť vládcov Habsburskej monarchie**
- **Miestnosť osvietenských reforiem**
- **Miestnosť korunovačných klenotov**

Nižšie sa budeme venovať pripraveným zážitkom podrobnejšie, kde vysvetlíme jednotlivé interakcie a použité exponáty.

Úvodná hala

V tejto miestnosti sa používateľ objaví pri načítaní scény. Scéna je navrhnutá tak, aby sa v nej zoznámil s ovládacou schémou a prečítal si o čom je tento zážitok a aké úlohy má v scéne. Miestnosť obsahuje aj navigačnú tabuľu s vizuálnym progresom, ktorý znázorňuje dokončené a nedokončené úlohy v scéne. V miestnosti

sú rozmiestnené aj 3 informačné exponáty. Exponáty Bratislavského hradu, toliar a erb Márie Terézie. Obr.7.3 znázorňuje zobrazenie úvodnej miestnosti.



Obr. 7.3: Obrázok znázorňujúci úvodnú miestnosť virtuálnej scény.

Miestnosť vládcov Habsburskej monarchie

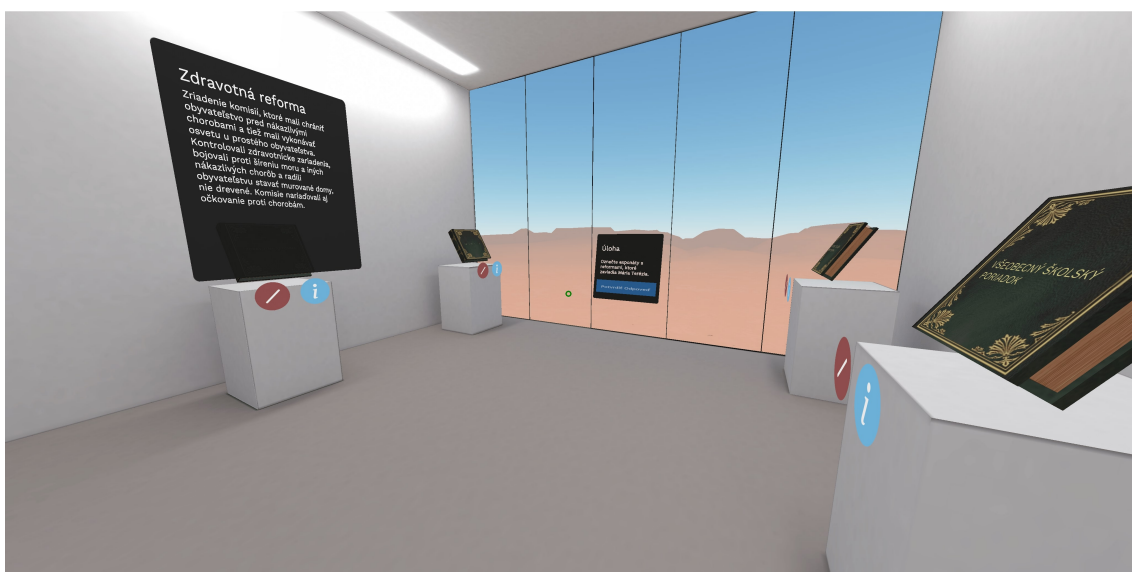
V miestnosti sa nachádzajú 4 exponáty zobrazujúce panovníkov Habsburskej monarchie. Rovnako táto miestnosť obsahuje jednu z úloh, ktorú používateľ musí splniť. Používateľ má za úlohu vybrať exponát, ktorý zobrazuje panovníka, ktorý nastúpil na trón v špecifikovanom roku. Obr.7.4 znázorňuje túto miestnosť. Na obrázku je možné vidieť GUI s ktorým používateľ môže interagovať. Používateľ môže interakciu uskutočniť pomocou kliknutia na GUI viditeľný v scéne ako modrý a červený kruh (ikona). O kliknutí je upozornený vizuálne aj zvukovo. Kliknutím na červený kruh uskutočňuje interakciu vybratia exponátu, ktorý sa následne započítava do odpovede úlohy a v scéne zmení svoju vizuálnu podobu na zelený kruh. Túto akciu vie aj zrušiť opätovným klikom. Kliknutím na modrý kruh sa používateľovi zobrazí informačná tabuľa ku exponátu. Opätovným klikom na modrú ikonu vie informačnú tabuľu znova skryť.



Obr. 7.4: Obrázok znázorňujúci miestnosť vládcov Habsburskej monarchie.

Miestnosť osvietenských reforiem

Miestnosť obsahuje exponáty osvietenských reforiem Habsburskej monarchie. V miestnosti má používateľ za úlohu označiť exponáty, ktoré zaviedla Mária Terezia. Použité GUI je rovnaké ako v miestnosti zaoberajúcej sa vládcami Habsburskej monarchie. Obr.7.5 zobrazuje miestnosť v ktorej sú 4 modely kníh, ktoré obsahujú informácie k reformám. Na obrázku je možné vidieť čierny panel s úlohou, ktorý sa nachádza na konci miestnosti. Po označení jednotlivých exponátov v miestnosti, používateľ musí svoju odpoveď potvrdiť pomocou potvrdzovacieho panela.



Obr. 7.5: Obrázok znázorňujúci miestnosť osvietenských reforiem.

Miestnosť korunovačných klenotov

V tejto miestnosti sú vystavené exponáty korunovačných klenotov. Miestnosť obsahuje úlohu pre používateľa. Používateľ musí preniesť uhorské korunovačné klenoty z ich pôvodných miest na špecifikované miesto v scéne. Obr.7.6 znázorňuje miestnosť s exponátmi. Na obrázku je možné vidieť miesto, na ktoré má používateľ tieto exponáty preniesť. Toto miesto je vyznačené červenou farbou. Po prenesení správnych exponátov musí svoju odpoveď potvrdiť na paneli s úlohou. V miestnosti sa nachádza celkovo 6 exponátov a z toho 5 vie používateľ prenášať ale len v rámci tejto miestnosti. Z piatich exponátov, ktorými vie používateľ hýbať sú len 4 správne. Pokiaľ používateľ preniesie na špecifikované miesto nesprávny klenot, odpoveď sa bude považovať za nesprávnu a klenot bude musieť z vyznačenej zóny vybrať. V miestnosti sa nachádza aj exponát katedrály svätého Martina, ako vtedajšieho korunovačného miesta.



Obr. 7.6: Obrázok znázorňujúci miestnosť korunovačných klenotov.

8 Prieskum použiteľnosti

V tejto kapitole sa venujeme prieskumu pomocou ktorého sme získali informácie ohľadom použiteľnosti finálneho návrhu virtuálneho webového zážitku. Súčasťou našej diplomovej práce je analýza úrovne poznania a získanie spätnej väzby na problematiku ohľadne výučby vo virtuálnej realite. Získané informácie je potrebné spracovať, čo nám pomôže navrhnúť špecifické vylepšenia pre tento prototyp aplikácie zameranej na výučbu vo virtuálnej realite. Vybrali sme spôsob testovania použiteľnosti pomocou metodiky SUS.

Podľa [42], testovanie použiteľnosti je technika na vyhodnotenie toho, aký jednoduchý alebo zložitý je testovaný produkt pre používateľa, ktorý ho otestoval. Môže sa použiť aj na meranie intuitívnosti alebo užívateľskej prívetivosti iných aspektov zákazníckej skúsenosti, ako je navigácia na webovej stránke alebo na testovanie softvéru v skúšobnom období. Podľa metodiky SUS tento spôsob testovania sa najčastejšie používa na vyhodnotenie použiteľnosti softvérov. Na základe tohto testu sa žiadajú respondenti, aby vykonávali konkrétne úlohy v rámci testovania. Na základe odpovedí respondentov tohto testu je možné identifikovať aspekty, ktoré sú vhodné na úpravu testovaných softvérov.

Pre našu prácu sme zvolili metódu dopytovania sa na dané otázky formou dotazníka. Taktiež cieľom dotazníka bolo zvýšenie poznania danej témy medzi respondentmi. Medzi respondentmi boli aj študenti s ukončeným alebo prebiehajúcim základným až nižším stredným vzdelaním, ktorí nami použitú učebnicu používajú. Dotazník sme tvorili pomocou Google formulárov a rozposielali elektronicky.

Používanie SUS sa stalo štandardom pri testovaní produktov. Medzi významné výhody používania SUS patrí, že je veľmi jednoduchý na spravovanie údajov. Môže byť použitý na malých vzorkách respondentov so spoľahlivými výsledkami. Metodika tohto prieskumu je validná, teda dokáže efektívne rozlíšiť použiteľné a nepoužiteľné systémy

8.1 Realizácia prieskumu

Uskutočnený prieskum SUS bol poskytnutý v slovenskom jazyku. Pretože vybraná skupina respondentov pochádza zo Slovenskej republiky. Prieskum SUS zahŕňal žiadosti o demografické informácie od používateľov a bol anonymný. Prieskum prebiehal v časovom období 12.4.2022 až 17.4.2022. Prieskum bol rozdelený na 3 sekcie. Výsledky priesku vo forme Google tabuliek je zverejnený online (dostupne na <https://cutt.ly/uFXemVx>).

- Prvá sekcia je zameraná na zber demografických informácií. Rovnako sa zameriava na zistenie stavu poznania VR a názoru použitia tejto technológie v školstve. Táto sekcia obsahovala 9 otázok.
- Druhá sekcia je zostavená podľa metódy SUS. Bolo použitých 10 otázok.
- Tretia sekcia obsahovala 4 nepovinné otázky a zameriavala sa na získanie názoru respondentov na implementáciu našej VR scény.

Otázky, ktoré boli použité v prieskume formou dotazníka:

Prvá sekcia dotazníka

1. Aké je Vaše pohlavie ?
2. Aký je Váš vek ?
3. Mali Ste predchádzajúcu skúsenosť s virtuálnou realitou?
4. Súhlasíte so zavádzaním technológií ako je virtuálna realita do výučby na školách?
5. Chcel/a by som využívať virtuálnu realitu bežne vo výučbe.
6. Kedy sa virtuálna realita podľa Vás stane plnohodnotnou súčasťou výučby na základných a stredných školách v našej krajine?
7. Na akom zariadení Ste VR scénu skúšali?
8. Vo VR scéne boli prezentované zaujímavé historické udalosti.
9. Táto VR scéna spracovala učivo z predmetu Dejepis. V ktorých ďalších predmetoch si viete predstaviť výučbu týmto spôsobom?

Druhá sekcia dotazníka

1. VR scénu by som v prípade potreby rád/a použil/a.
2. VR scéna je zbytočne komplexná a zložitá.
3. Ovládanie vo VR scéne bolo jednoduché.
4. Potreboval/a by som pomoc, aby som mohol/a VR scénu používať efektívne.
5. Rôzne funkcie vo VR scéne sú dobre spracované.
6. Niektoré veci vo VR scéne nedávali zmysel.
7. Povedal/a by som, že väčšina ľudí sa naučí s VR scénou pracovať rýchlo.
8. VR scéna sa ťažko ovláda.
9. Pri používaní som sa cítil/a pohodlne a isto.
10. Bolo nutné sa naučiť veľa vecí, aby som vedel/a s VR scénou pracovať.

Tretia sekcia dotazníka

1. Čo sa vám vo VR scéne páčilo najviac?
2. Čo sa vám vo VR scéne páčilo najmenej?
3. My sme pre našu VR scénu zvolili podobu virtuálneho múzea. Možno si ale myslíte, že by bola vhodnejšia iná podoba. Napíšte aká.
4. Chcete nám ešte niečo povedať? Napíšte to tu.

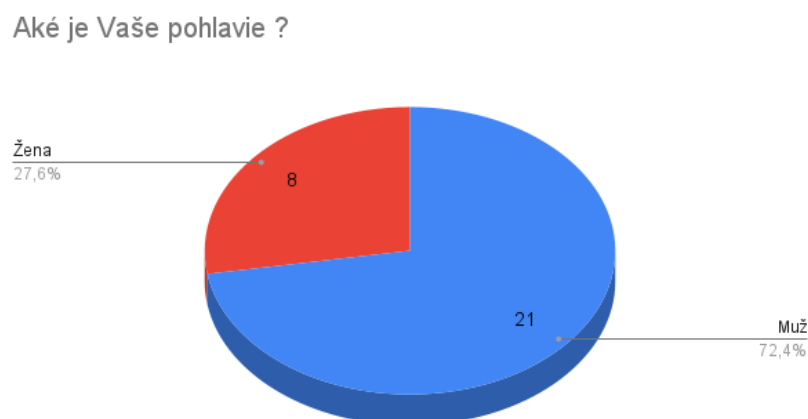
Spracovanie odpovedí prebiehalo elektronicky pomocou Google formulára a Google tabuliek.

8.2 Výsledky prieskumu

V tejto podkapitole sú prezentované výsledky z prieskumu dotazníka k výučbe pomocou VR. Dotazníka sa zúčastnilo 29 respondentov.

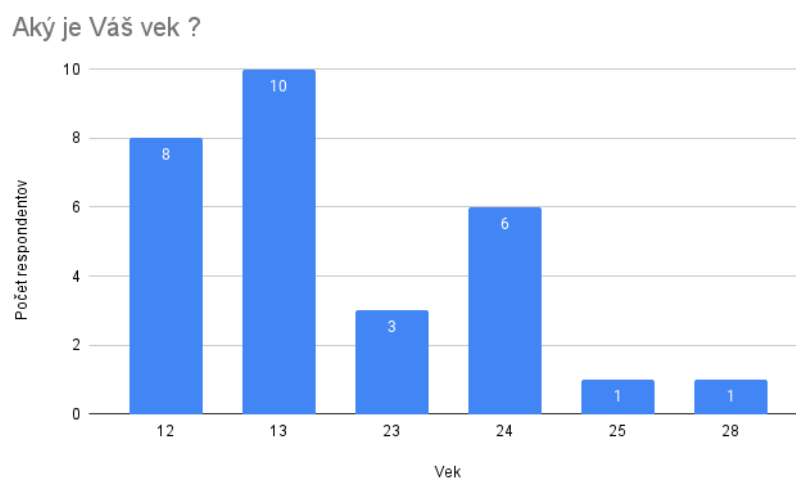
8.2.1 Výsledky prieskumu prvej sekcie dotazníka

Nasledujúci graf na obrázku 8.2 znázorňuje rozdelenie respondentov podľa pohlavia. Z grafu vyplýva 72,4% zastúpenie mužov a 27,6% zastúpenie žien.



Obr. 8.1: Graf znázorňujúci pohlavie zúčastnených respondentov.

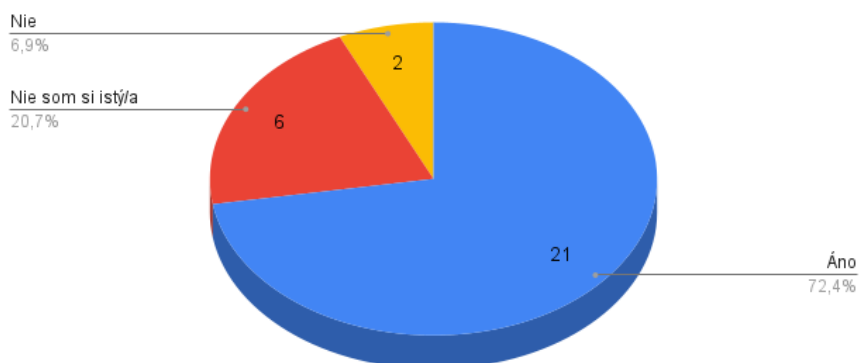
Graf na Obr.8.2 znázorňuje vekové zastúpenie respondentov. Najvyššiu početnosť sme zaznamenali vo veku od 12 až 13 rokov. Išlo o cieľovú skupinu, pre ktorú sme tento zážitok vytvorili.



Obr. 8.2: Graf znázorňujúci vek zúčastnených respondentov.

Graf na Obr. 8.3 znázorňuje, že z celkového počtu respondentov, najväčšiu časť tvorili skúsení respondenti v počte 21 (72,4%). Iba 6 (20,7%) respondentov malo pochybnosti, že VR už niekedy využili. Prvú skúsenosť s VR prostredníctvom nášho testu mali 2 (6,9%) respondenti.

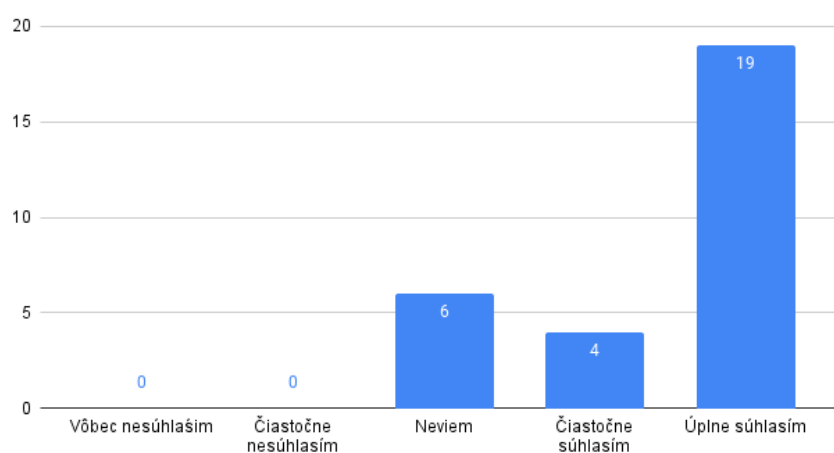
Mali Ste predchádzajúcu skúsenosť s virtuálnou realitou?



Obr. 8.3: Graf znázorňujúci predchádzajúcu skúsenosť respondentov s VR.

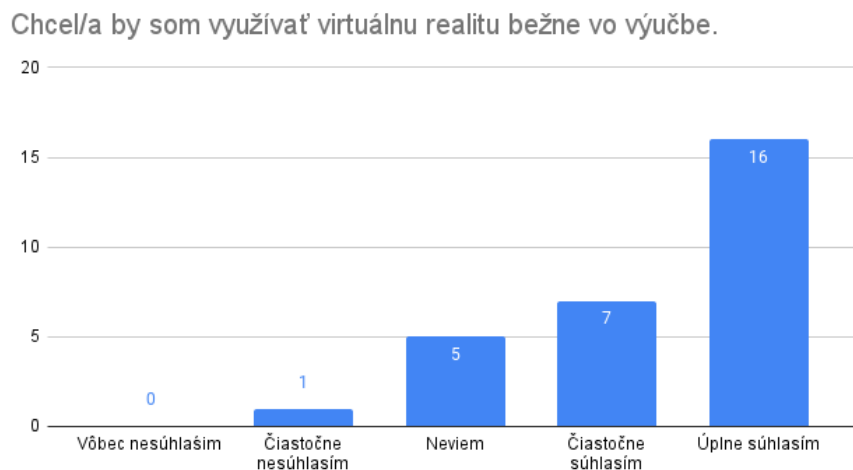
Pokiaľ ide o súhlas so zavádzaním technológií ako je VR do výučby v grafe 8.4, 19 respondentov vyjadrilo úplný súhlas. Čiastočný súhlas vyjadrili 4 respondenti a 6 respondentov označilo odpoveď neviem.

Súhlasíte so zavádzaním technológií ako je virtuálna realita do výučby na školách?



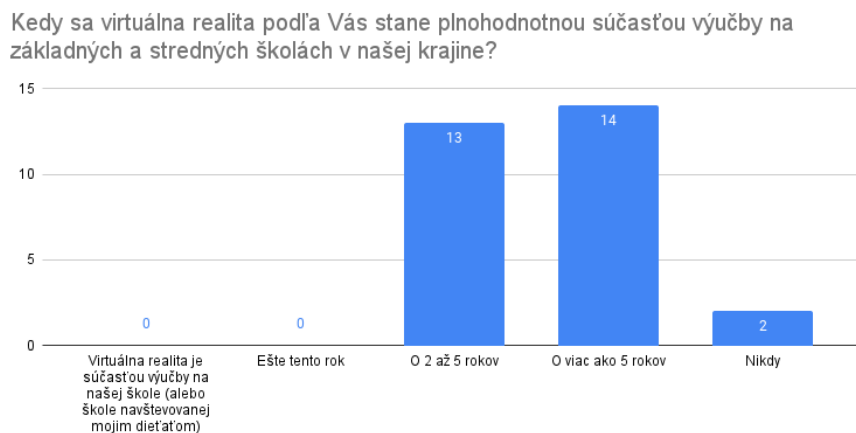
Obr. 8.4: Graf znázorňujúci súhlas so zavádzaním nových technológií na školách pri výučbe.

79% respondentov v nasledujúcej otázke zobrazenej na grafe 8.5, vyjadrili súhlas s využívaním VR vo výučbe. 5 účastníkov označili odpoveď neviem, len 1 nesúhlasil.



Obr. 8.5: Graf znázorňujúci záujem využitia VR pri výučbe.

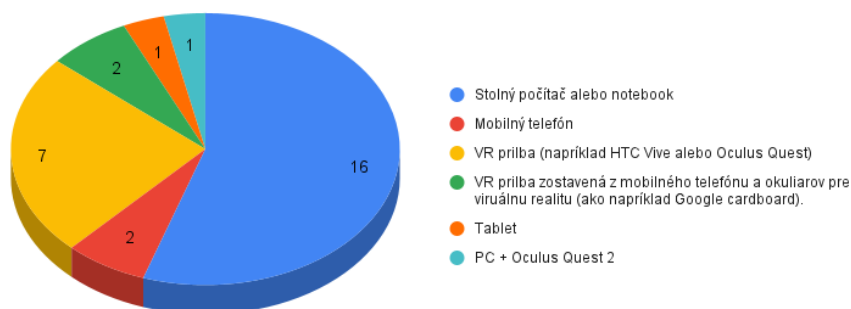
Graf 8.6 poukazuje na to, že nikto zo zúčastnených nevyužíva VR na výučbe. 13 respondentov si myslí, že VR bude plnohodnotnou súčasťou výučby o 2 až 5 rokov a 14 respondentov si myslí, bude súčasťou výučby o viac ako 5 rokov. Dvaja respondenti označili odpoveď, že nikdy k tomu nedôjde.



Obr. 8.6: Graf znázorňujúci názor na časové obdobie zavedenia VR vo výučbe.

Z hľadiska testovania nášho VR zážitku, respondenti využili rôzne zariadenia. Viac ako polovica (55%) respondentov využili stolný počítač alebo notebook. Naše riešenie bolo vytvorené práve pre tieto zariadenia. Sedem respondentov vyskúšali riešenie pomocou VR prilieb.

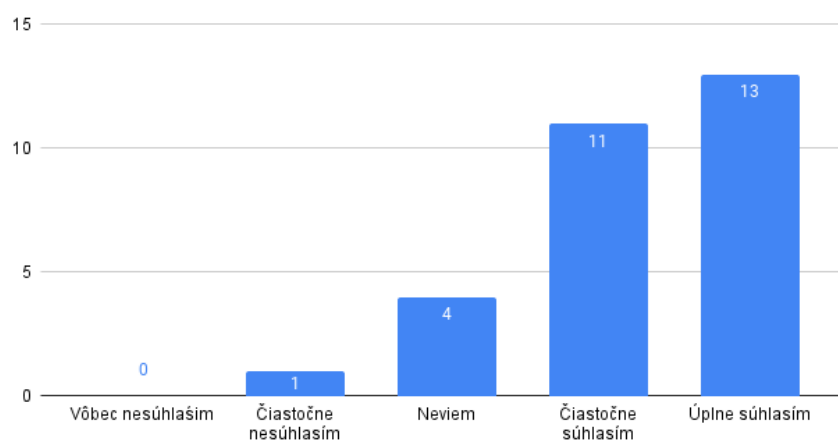
Na akom zariadení Ste VR scénu skúšali?



Obr. 8.7: Graf znázorňujúci zariadenia použité pri testovaní zážitku.

Z hľadiska zaujímavosti historických udalostí použitých v našej scéne, 24 respondentov zaujali nami prezentované historické udalosti. Jeden respondent negatívne označil výber historických udalostí. Štyria respondenti zaujali neutrálny postoj.

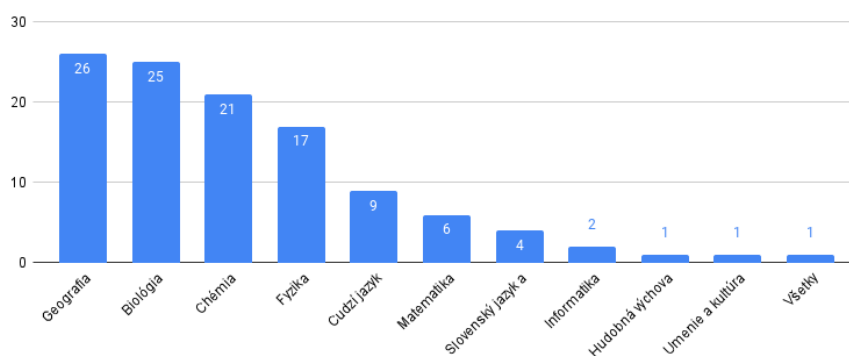
Vo VR scéne boli prezentované zaujímavé historické udalosti.



Obr. 8.8: Graf znázorňujúci názor na zaujímavosť scény.

Nasledujúci graf na obrázku 8.9 znázorňuje ďalšie možnosti využitia VR pri vzdelávaní. Respondenti pri výbere mohli označiť viaceré možnosti, zároveň mohli rozšíriť svoj výber. Zaujímavosťou bolo vybranie hudobnej výchovy, umenia a kultúry alebo informatiky. Najvyššiu početnosť mali predmety, ako geografia(26), biológia(25), chémia(21) a fyzika(17).

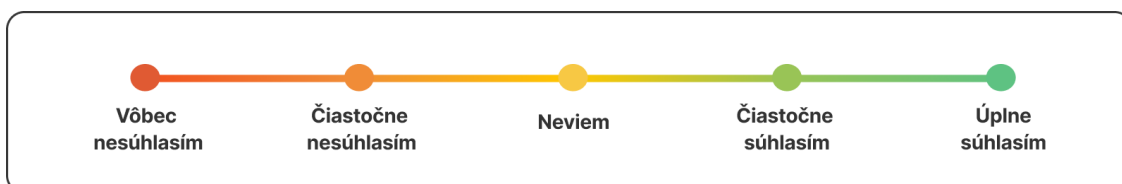
Táto VR scéna spracovala učivo z predmetu Dejepis. V ktorých ďalších predmetoch si viete predstaviť výučbu týmto spôsobom?



Obr. 8.9: Graf znázorňujúci záujem o výučbu v iných predmetoch, ako dejepis.

8.2.2 Výsledky prieskumu druhej sekcie dotazníka

V tejto podkapitole sú prezentované výsledky prieskumu zamerané na použiteľnosť finálneho riešenia. Podľa [43] bodovanie je založené na 5 bodovej Likertovej [44] škále, kde číslo 5 znázorňuje najväčší súhlas a číslo 1 najväčší nesúhlas nad položenou otázkou. Stupnicu je možné upraviť spôsobom, že k určitým stupňom v stupnici sa pridajú označenia ako napríklad znázorňuje Obr.8.10.



Obr. 8.10: Obrázok znázorňujúci škálu SUS prieskumu.

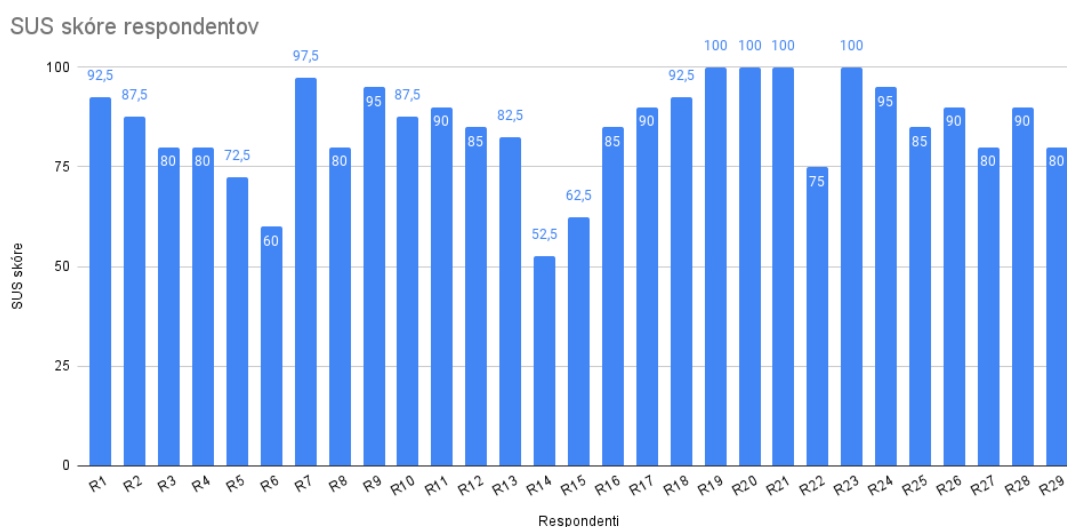
Následne je ku každej odpovedi stupnice priradená hodnota, ktorá je použitá na výpočet finálneho skóre SUS. Hodnoty predstavujú body, ktoré sú rozdelené nasledovne:

- **Vôbec nesúhlasím:** 1 bod
- **Čiastočne nesúhlasím:** 2 body
- **Neviem:** 3 body
- **Čiastočne súhlasím:** 4 body
- **Úplne súhlasím:** 5 bodov

Výpočet skóre nad získanými dátami sa vyjadruje nasledovne:

$$\text{SUS skóre} = ((O_1 - 1) + (O_3 - 1) + (O_5 - 1) + (O_7 - 1) + (O_9 - 1) + (5 - O_2) + (5 - O_4) + (5 - O_6) + (5 - O_8) + (5 - O_{10})) \times 2.5$$

Kde $O_{\text{číslo otázky}}$ reprezentuje skóre nad jednotlivými otázkami získané odpoveďami práve jedného respondenta v prieskume. Následne sa jednotlivé výsledky, každého respondenta spriemerujú a týmto spôsobom získame výsledné **SUS skóre**. Získané výsledky prieskumu zameraného na použiteľnosť riešenia VR scény sú znázornené grafom na Obr. 8.11. Graf znázorňuje výsledné **SUS skóre**, každého respondenta.



Obr. 8.11: Graf znázorňuje výsledné SUS skóre jednotlivých respondentov.

Po spriemerovaní všetkých výsledných SUS skóre sme dostali výsledne skóre:

$$\text{Výsledné SUS skóre} = 85$$

Podľa stupnice navrhutej v článku [45] sa naše riešenie považuje za prijateľné. Na základe škály vyjadrujúcej skóre prídavným menom sme dosiahli skóre **najlepšie predstaviteľné**. S výsledným skóre sme spokojný. V nasledujúcej časti sú prezentované odpovede respondentov, ktoré nám majú poskytnúť podrobnejšiu spätnú väzbu na riešenie a navrhnúť možné budúce úpravy.

8.2.3 Výsledky prieskumu tretej sekcie dotazníka

V tejto sekcii prieskumu sme sa zamerali na dodatočné nepovinné otázky, ktoré nám napomôžu k implementácii následných vylepšení riešenia. Sekcia obsahuje 4 otázky.

Čo sa vám vo VR scéne páčilo najviac?

V tejto otázke sme zaznamenali 23 pozitívnych odpovedí. Respondenti hodnotili vizuálnu stránku kladne a páčil sa im nápad prepojenia výučby pomocou nových technológií.

Čo sa vám vo VR scéne páčilo najmenej?

Táto otázka bola mierená na zistenie špecifickejších nedostatkov, ktoré sú vhodné na riešenie v nasledujúcich verziách projektu. Aj keď bol k dispozícii manuál, zaznamenali sme odpovede, ktoré naznačovali nevedomosť ovládania virtuálneho zážitku. Tento problém je možné riešiť vylepšením manuálu, ale môže ísť aj o nízku zručnosť pri používaní VR zážitkov a hier. Zaujímavá pripomienka bola k dojmu z prázdnej scény. S touto pripomienkou sa stotožňujeme, nakoľko v scéne boli využité prevažne voľne dostupné 3D modely, nedokázali sme scénu naplniť celú. V budúcej verzii uvažujeme o rozšírení scény o ďalšie modely a doplnenie iného obsahu.

My sme pre našu VR scénu zvolili podobu virtuálneho múzea. Možno si ale myslíte, že by bola vhodnejšia iná podoba. Napíšte aká.

Zaznamenali sme 17 odpovedí, kde prevažne respondenti hodnotili múzejnú scénu ako vhodnú. No odpovede obsahovali nové podnety, kde scéna by mohla byť vizualizovaná bližšie k tématike. Pre naše riešenie sme vybrali múzejnú scénu preto, že sa v nej dajú prezentovať aj iné historické udalosti a stále by scéna dávala zmysel.

Chcete nám ešte niečo povedať? Napíšte to tu.

Ochotu odpovedať na túto otázku prejavilo 11 respondentov. Respondenti vyjadrili spokojnosť. Scéna ich zaujala a predpovedajú úspešnú budúcnosť výučbe vo VR.

9 Záver

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce bolo vytvoriť výučbový zážitok navrhnutý pomocou technológií rozšírenej reality. Tento zážitok podporuje výukové materiály využívané pri výučbe dejepisu na Slovensku. Vytvorili sme zážitok v podobe múzejnej expozície, ktorá približuje tému osvietenských reforiem v Habsburskej monarchii.

Implementácii predchádzal prieskum, ktorý bol zameraný na zistenie doteraz využívaných oblastí výučby študentov stredných a základných škôl s využitím technológií rozšírenej reality. Tento prieskum bol uskutočnený pomocou metodiky systematického prehľadu literatúry. Dáta sme získali z databáz Scopus a Web of Science. V ďalšej analýze sme využili rovnakú metodiku na vyhľadanie publikácií, ktoré riešia tvorbu scenárov pomocou Petriho sietí. Výsledkami týchto analýz sme dospeli k samotnej tvorbe webového virtuálneho zážitku. Vytvorili sme scenár, podľa učebnice dejepisu k výučbe pre žiakov 7. ročníka základných škôl a 2. ročníka gymnázia s osemročným štúdiom. Študent má za úlohu preskúmať múzeum a splniť úlohy, ktoré majú overiť jeho nadobudnuté poznatky ohľadom zadanej problematiky. Scéna je rozdelená na 4 miestnosti, kde v 3 miestnostiach sú pripravené úlohy zamerané na inú časť učiva. Riadenie logiky scény je implementované na základe Petriho siete. Použitá Petriho sieť zabezpečuje vykonanie určitých činností v scéne v určenom poradí podľa návrhu siete. Riešenie bolo overené prieskumom použiteľnosti pre používateľa.

Výslednou analýzou prieskumu, ktorý bol uskutočnený formou dotazníka, na základe testovania našej VR scény, sme spokojní s celkovým riešením. Výborné skóre sme zaznamenali pri testovaní zážitku pomocou metódy SUS. Scéna respondentov zaujala, dokonca hodnotili zážitok veľmi pozitívne. Vyjadrili pripomienky zlepšenia, ako technické tak aj grafické, čo bude prínosom pre budúce zlepšenie scény. Zistili sme, že VR je vhodná pomôcka pre zlepšenie výuky a prispieva k motivácii študentov pri vzdelávaní.

Táto práca vznikla s podporou projektu KEGA č. 048TUKE-4/2022: Technológie zdieľanej virtuálnej reality vo vzdelávacom procese.

Literatúra

1. MANTOVANI, Fabrizia. 12 VR learning: Potential and challenges for the use of 3d environments in education and training. *Towards cyberpsychology: mind, cognition, and society in the Internet age*. 2001, roč. 2, č. 207.
2. JEON, Chihyung. The virtual flier: The link trainer, flight simulation, and pilot identity. *Technology and culture*. 2015, s. 28–53.
3. LELE, Ajey. Virtual reality and its military utility. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2013, roč. 4, č. 1, s. 17–26.
4. PAPAGIANNAKIS, George; LYDATAKIS, Nick; KATEROS, Steve; GEORGIUO, Stelios; ZIKAS, Paul. Transforming medical education and training with vr using mages. In: *SIGGRAPH Asia 2018 Posters*. 2018, s. 1–2.
5. BELLOTTI, Francesco; KAPRALOS, Bill; LEE, Kiju; MORENO-GER, Pablo; BERTA, Riccardo. Assessment in and of Serious Games: An Overview. *Adv. in Hum.-Comp. Int.* 2013, roč. 2013. ISSN 1687-5893. Dostupné z DOI: 10.1155/2013/136864.
6. ALLCOAT, Devon; MÜHLENEN, Adrian von. Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in Learning Technology*. 2018, roč. 26.
7. ARAÚJO, Manuel; ROQUE, Licínio. Modeling Games with Petri Nets. In: *Digra conference*. 2009.
8. REUTER, Christian; GÖBEL, Stefan; STEINMETZ, Ralf. Detecting structural errors in scene-based Multiplayer Games using automatically generated Petri Nets. *Foundations of Digital Games, Pacific Grove, USA*. 2015.
9. *Extended reality*. Dostupné tiež z: https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_reality. (Accessed on 04/21/2021).
10. BURGESS, Simon; SIEVERTSEN, Hans Henrik. *Schools, skills, and learning: The impact of COVID-19 on education*. [B. r.]. Dostupné tiež z: <https://voxeu.org/article/impact-covid-19-education>. (Accessed on 10/01/2021).

11. GARCÍA-GARCÍA, JA; ENRÍQUEZ, José Gonzalez; RUIZ, Mercedes; ARÉVALO, Carlos; JIMÉNEZ-RAMÍREZ, Andrés. Software process simulation modeling: systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*. 2020, roč. 70, s. 103425.
12. VAKALIUK, Tetiana A; SHEVCHUK, Larysa D; SHEVCHUK, Borys V. Possibilities of Using AR and VR Technologies in Teaching Mathematics to High School Students. *Univers. J. Educ. Res.* 2020, roč. 8, s. 6280–6288.
13. PETROV, Plamen D; ATANASOVA, Tatiana V. The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information*. 2020, roč. 11, č. 4, s. 209.
14. MUHAMMAD, Khan; KHAN, Noman; LEE, Mi-Young; IMRAN, Ali Shariq; SAJJAD, Muhammad et al. School of the Future: A Comprehensive Study on the Effectiveness of Augmented Reality as a Tool for Primary School Children's Education. *Applied Sciences*. 2021, roč. 11, č. 11, s. 5277.
15. CARROZZINO, Marcello; EVANGELISTA, Chiara; GALDIERI, Riccardo. Building a 3D interactive walkthrough in a digital storytelling classroom experience. *Informatica*. 2016, roč. 40, č. 3.
16. FLECK, Stéphanie; HACHET, Martin. Helios: a tangible and augmented environment to learn optical phenomena in astronomy. In: *Education and Training in Optics and Photonics*. 2015, OUT08.
17. KAZANIDIS, Ioannis; PALAIGEORGIOU, Georgios; CHINTIADIS, Panteelis; TSINAKOS, Avgoustos. A Pilot Evaluation of a Virtual Reality Educational Game for History Learning. In: *ECEL 2018 17th European Conference on e-Learning*. 2018, s. 245.
18. KRAVTSOV, Hennadiy; PULINETS, Anastasiia. Interactive Augmented Reality Technologies for Model Visualization in the School Textbook. In: *IC-TERI Workshops*. 2020, s. 918–933.
19. JOST, Patrick; COBB, Sue; HÄMMERLE, Isabella. Reality-based interaction affecting mental workload in virtual reality mental arithmetic training. *Behaviour & Information Technology*. 2020, roč. 39, č. 10, s. 1062–1078.
20. LEE, JiHye; LEE, Hyun-Kyung; JEONG, Dabin; LEE, JiEun; KIM, TaeRyun; LEE, JiHyon. Developing Museum Education Content: AR Blended Learning. *International Journal of Art & Design Education*. 2021.

21. NEZHYVA, Liudmyla L.; PALAMAR, Svitlana P.; LYTVYN, Oksana S. Perspectives on the use of augmented reality within the linguistic and literary field of primary education. In: *AREdu*. 2020.
22. XIAO, Jun; CAO, Mengying; LI, Xuejiao; HANSEN, Preben. Assessing the effectiveness of the augmented reality courseware for Starry Sky Exploration. *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*. 2020, roč. 18, č. 1, s. 19–35.
23. CHUA, Yvonne; SRIDHAR, Priyashri Kamlesh; ZHANG, Haimo; DISSANAYAKE, Vipula; NANAYAKKARA, Suranga. Evaluating IVR in Primary School Classrooms. In: *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*. 2019, s. 169–174.
24. TAN, K.; LIM, C. Malaysian music augmented reality (MMAR): Development of traditional musical instruments using augmented reality. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019, roč. 8, č. 4S, s. 340–345. Dostupné tiež z: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061757609&partnerID=40&md5=596610c8f8c83e16d0d584d4328c8b5e>. cited By 0.
25. MCCONNELL, Daniel. *THE DIGITAL SKILLS CRISIS - TIME TO ACT*. 2019. Dostupné tiež z: <https://codeinstitute.net/wp-content/uploads/2019/03/The-Digital-Skills-Crisis-Whitepaper.pdf>. (Accessed on 10/02/2021).
26. PETRI, Carl Adam; REISIG, Wolfgang. Petri net. *Scholarpedia*. 2008, roč. 3, č. 4, s. 6477.
27. LIN, Fuhua; YE, Lan; DUFFY, Vincent G; SU, Chuan-Jun. Developing virtual environments for industrial training. *Information sciences*. 2002, roč. 140, č. 1-2, s. 153–170.
28. MA, Bin; GUO, Zhi-ying; ZHOU, Hua-min. Development of a plastic injection molding training system using Petri nets and virtual reality. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*. 2006, roč. 7, č. 3, s. 302–308.
29. BROM, Cyril; SISLER, Vít; HOLAN, Tomáš. Story Manager in 'Europe 2045' Uses Petri Nets. In: *International Conference on Virtual Storytelling*. 2007, s. 38–50.
30. BALAS, Daniel; BROM, Cyril; ABONYI, Adam; GEMROT, Jakub. Hierarchical Petri Nets for Story Plots Featuring Virtual Humans. In: *AIIDE*. 2008, s. 2–9.

31. LEE, Young-Seol; CHO, Sung-Bae. Context-aware petri net for dynamic procedural content generation in role-playing game. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2011, roč. 6, č. 2, s. 16–25.
32. CLAUDE, Guillaume; GOURANTON, Valérie; ARNALDI, Bruno. Versatile Scenario Guidance for Collaborative Virtual Environments. *GRAPP*. 2015, roč. 15, č. 3, s. 6.
33. TONKOVÁ, M.; LUKAČKA, J.; KAČÍREK, L.; HANOVÁ, S. *Dejepis pre 7. ročník ZŠ a 2. ročník gymnázia s osemročným štúdiom*. 4. vyd. SPN-Mladé letá, s.r.o., 2017.
34. *Entity component system - Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/Entity_component_system]. [B. r.]. (Accessed on 04/02/2022).
35. *Entity-Component-System - A-Frame* [<https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/entity-component-system.html>]. [B. r.]. (Accessed on 04/02/2022).
36. *CPN Tools - Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/CPN_Tools]. [B. r.]. (Accessed on 04/03/2022).
37. *Petri net - Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/Petri_net]. [B. r.]. (Accessed on 04/06/2022).
38. *Hello WebXR* [<https://blog.mozvr.com/hello-webxr/>]. [B. r.]. (Accessed on 04/08/2022).
39. *Low poly - Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/Low_poly]. [B. r.]. (Accessed on 04/08/2022).
40. *Optimizing lighting for a healthy frame rate | Mobile app & game development | Unity* [<https://unity.com/how-to/advanced/optimize-lighting-mobile-games>]. [B. r.]. (Accessed on 04/08/2022).
41. *Data compression ratio - Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/Data_compression_ratio]. [B. r.]. (Accessed on 04/09/2022).
42. MCLELLAN, Sam; MUDDIMER, Andrew; PERES, S Camille. The effect of experience on system usability scale ratings. *Journal of usability studies*. 2012, roč. 7, č. 2, s. 56–67.
43. *System usability scale: meradlo použiteľnosti | by Kristína Ježíková | DESIGN KISK | Medium*. [B. r.]. (Accessed on 04/10/2022).
44. *Likertova škála - Wikipedie*. [B. r.]. Dostupné tiež z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Likertova_%C5%A1k%C3%A1la. (Accessed on 04/10/2022).

45. *5 Ways to Interpret a SUS Score - MeasuringU* [<https://measuringu.com/interpret-sus-score/>]. [B. r.]. (Accessed on 04/15/2022).

Zoznam skratiek

VR Virtuálna realita.

XR Extended reality.

3D Trojrozmerný priestor.

API Application programming interface.

AR Augmented reality.

DOM Document Object Model.

ECS Entity component system.

HDRI High dynamic range imaging.

HMD Head mounted display.

KB Kilobajt.

MB Megabajt.

MR Mixed reality.

PNML Petri Net Markup Language.

RPG Role-playing game.

SLR Systematický prehľad literatúry.

SUS System Usability Scale.

Slovník

Bayesovská sieť je pravdepodobnostný grafický model, ktorý predstavuje množinu premenných a ich podmienených závislostí prostredníctvom orientovaného acyklického grafu.

Rozšírená realita je zastrešujúci pojem označujúci všetky kombinované reálne a virtuálne prostredia a interakcie generované počítačovou technológiou. Zahŕňa rozšírenú realitu (AR), zmiešanú realitu (MR) a virtuálnu realitu (VR).

Software as a service je model nasadenia softvéru, kedy dochádza k hostovaniu aplikácie prevádzkovateľom služby.

Virtuálna realita je prostredie vymodelované prostriedkami počítača simulujúce skutočnosť. Primárne sa ním chápe vytváranie vizuálneho zážitku zobrazovaného na obrazovke počítača, prípadne cez špeciálne stereoskopické zariadenia.

Zoznam príloh

Príloha A CD médium – záverečná práca v elektronickej podobe

Príloha B Používateľská príručka

Príloha C Systémová príručka