



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

ČVUT

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

VÝUKA VÝPOČTU POVRCHŮ A OBJEMŮ TĚLES VE VIRTUÁLNÍ REALITĚ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

KLÁRA KONOPÁSKOVÁ

2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konopásková** Jméno: **Klára** Osobní číslo: **466365**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra počítačové grafiky a interakce**
Studijní program: **Otevřená informatika**
Studijní obor: **Počítačové hry a grafika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Výuka výpočtu povrchů a objemů těles ve virtuální realitě

Název bakalářské práce anglicky:

Application for teaching calculation of objects surfaces and volumes in virtual reality

Pokyny pro vypracování:

Provedte rešerši postupů výuky povrchů a objemů těles na střední škole využívající jak tradiční přístupy, tak elektronickou formu výuky. Navrhněte a implementujte aplikaci pro výuku výpočtů povrchů a objemů těles ve virtuální realitě. Aplikace bude zpracováním zaměřena na 1. a 2. ročníky středních odborných škol a odpovídající ročníky víceletých gymnázií. Navrhněte virtuální prostředí s geometrickými tvary inspirovanými reálným světem (např. zahrada s domem a bazénem, ...), na kterých se budou výpočty provádět. Analyzujte způsoby zobrazení postupu výpočtu používaných ve výuce, navrhněte a vytvořte systém vhodný pro virtuální realitu. Aplikaci implementujte v Unity 3D pro Windows Mixed Reality headset. Postupujte dle metodiky UCD (User Center Design) pro návrh a testování uživatelského rozhraní s ohledem na dostupnost cílové skupiny. Provedte ověření nabytých znalostí srovnávacím testem dvou skupin (jedna skupina neabsolvuje VR formu výuky).

Seznam doporučené literatury:

- [1] Moderní počítačová grafika: Bedřich Beneš, Jiří Sochor, Petr Felkel, Jiří Žára, 2005, ISBN: 978-80-251-0454-5
- [2] Virtual Reality & Augmented Reality in primary education: Robin De Lange, Maarten Lodewijk, Nesse van der Meer, 2017
- [3] The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality: Jason Jerald, 2016, ISBN: 978-1-97000-112-9
- [4] T. Lowdermilk, User-Centered Design, O'Reilly Media, 2013

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Husák, AVRAR

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

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Jan Husák
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

PODĚKOVÁNÍ / PROHLÁŠENÍ

Chci poděkovat Ing. Janu Husákovi za vedení práce a Asociaci virtuální a rozšířené reality za zapůjčení hardwaru pro její vývoj. Strávila jsem na něm spoustu času nepracováním.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 24. 5. 2019

.....

ABSTRAKT / ABSTRACT

Tato práce se zabývá návrhem a implementací vzdělávací aplikace matematiky pro virtuální realitu. Analyzuje existující hardwarové a softwarové možnosti pro implementaci VR aplikací v herním enginu Unity a již existující vzdělávací aplikace matematiky pro virtuální realitu. Popisuje implementaci vlastního interakčního systému za pomoci knihovny SteamVR cílenou na Windows Mixed Reality zařízení.

Klíčová slova: virtuální realita; vzdělávací aplikace; matematika; Unity; SteamVR; Windows Mixed Reality

This thesis details the process of designing and implementing an educational application focused on mathematics for virtual reality. It analyzes existing hardware and software possibilities for VR apps in Unity game engine and the already existing educational mathematics applications and games. It also describes the implementation of a custom interaction system targeting Windows Mixed Reality devices, on top of the SteamVR code library.

Keywords: virtual reality; educational application; mathematics; Unity; SteamVR; Windows Mixed Reality

OBSAH

1	Úvod	7
2	Analýza	9
2.1	Hardwarová zařízení pro virtuální realitu	9
2.2	Výběr frameworku pro implementaci.....	11
2.3	Způsoby výuky ve školách	12
2.4	Matematické VR aplikace	13
3	Návrh	16
3.1	Rozložení a vzhled scény.....	16
3.2	Interakce	18
4	Implementace	19
4.1	Uživatelská interakce.....	19
4.2	Interaktivní objekty.....	21
4.3	Herní události a postup	23
4.4	Vzhled scény	26
5	Testování	27
5.1	Testování prototypu ve smyslu uživatelské přívětivosti	27
5.2	Testování finální verze aplikace	28
5.3	Test zlepšení matematických dovedností	29
6	Závěr	31
7	Reference	33
	Příloha 1 – Schéma ovládání	35
	Příloha 2 – Test z matematiky	36

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a implementací vzdělávací a popularizační aplikace formou zážitku ve virtuální realitě. Konkrétně se zaměřuje na prostorovou prezentaci matematických (zejména geometrických) úloh na úrovni základních až středních škol.

Aplikace vznikla ve spolupráci s Asociací virtuální a rozšířené reality (AVRAR) v rámci projektu Implementace Krajského akčního plánu Středočeského kraje (IKAP) Výzkumného ústavu pro podnikání a inovace. Jako taková, bude v budoucnu sloužit zejména při prezentování spolu s ostatními aplikacemi vyvinutými či vybranými pro projekt IKAP, a to zejména na středních odborných školách a gymnáziích. Funkcí aplikací bude, vedle výuky daných předmětů, propagace a ukázka použití virtuální reality ve vzdělávání a zároveň motivace jak pro učitele, tak pro žáky, aby se zúčastňovali školení, kde budou mít možnost naučit se navrhovat a vyvíjet vlastní zážitky pro virtuální realitu. Úroveň důležitosti role výukové a popularizační/propagační je na srovnatelné úrovni.

Implementace řešení byla vyvíjena v prostředí herního enginu Unity, v němž jsou a budou také realizována školení pro zájemce ze škol, jak bylo nastíněno výše. Předpokládaný způsob prezentace aplikace je při vyučovací hodině matematiky, kde budou mít všichni žáci k dispozici vlastní brýle pro virtuální realitu a budou si zážitkem procházet nezávisle na sobě. Doba potřebná pro projití všemi úkoly bude tedy směřovat k nepřesazení jedné vyučovací hodiny; 45 minut. Aplikace cílí na headsety Windows Mixed Reality (WMR), na kterých byla také laděna při vývoji. Je ale v principu funkční i na kterémkoliv dalším headsetu podporující rozhraní SteamVR, nad kterým je samotná implementace navržena a stavěna.

Druhy úloh pro aplikaci byly vybírány z celého syllabu matematiky na střední škole, na základě několika kritérií: bylo žádoucí, aby byla aplikace použitelná a zvládnutelná libovolným ročníkem střední školy, a preferenci měla témata, která mohla těžit z prezentace ve virtuálním stereoskopickém prostředí. Z toho důvodu byly hlavními obory pro výběr témata týkající se geometrie, zejména stereometrie, vzhledem k tomu, že jsou přímo obohaceny prezentací v třírozměrném prostředí virtuální reality. Nabízela se například problematika řezů ve stereometrii; disciplína, kdy je často žádoucí umět si představit vnitřek trojrozměrného objektu a dále s ním pracovat. Toto téma ale nakonec nahradily úkoly více orientované na základní výpočty povrchů a objemů za pomoci jednoduchých vzorců a jejich spojování pro plnění složitějších scénářů. Směřuji tak k podpoře vizuální paměti v souvislosti s použitím správných vzorců a zároveň využívám fakt, že prezentace úloh ve virtuální realitě zvedne jejich atraktivnost pro žáky, kteří by velmi podobné příklady počítali běžnými školními postupy. Tj. hodnota a atraktivita úloh bude automaticky obohacena jen tím, že se bude odehrávat ve virtuální realitě.

V kontextu výše zmíněného, je aplikace vyvíjena se záměrem dané úlohy prezentovat co nejpříjemněji pro žáky – zejména z pohledu uživatelské přívětivosti, tak aby měli zájem o další hodiny ve virtuální realitě, ale zároveň zajímavě pro pedagogy. Nedávám si za cíl

vytvořit nejlepší hodinu matematiky, nýbrž spoléhám na to, že v případě, že zaujmu samotné pedagogy, budou případně schopni a motivováni přijít s lepšími návrhy na virtuální zážitky oni sami. Dávám tedy použitelnost, celkový dojem a prezentaci obecných nápadů, co do jejich priority, nad kvalitu samotných úloh. Ultimátním cílem je tedy prezentovat výuku ve virtuální realitě jako takovou, spíše než moji konkrétní implementaci, konkrétních úloh.

2 ANALÝZA

2.1 Hardwarová zařízení pro virtuální realitu

Bavíme-li se o hardwaru pro virtuální realitu, zpravidla tím myslíme propojený systém displeje, na kterém budeme vytvářet hlavní – zrakový vjem, a interakčních doplňků, běžně v podobě různě řešených ovladačů. Důležitou podmínkou pro zážitek, který bychom chtěli nazývat virtuální realitou ve smyslu uvěřitelnosti, je stereoskopický pohled. Dosahujeme ho dvojicí perspektivních projekcí ze dvou bodů ležících vedle sebe (cca 7 cm, simulace vzdálenosti očí), což poté simuluje pocit hloubky takto zobrazené scény. [1, p. 529] Stejně tak je žádoucí, aby byl svět do nějaké míry interaktivní a nešlo tedy jen o přehrávání videa.

V dnešní době se jedná téměř vždy o náhlavní displej se dvěma čočkami, které se starají o výše zmíněný stereoskopický pohled. Spolu s ním se pak používají bezdrátová zařízení pro držení v ruce a interakci s virtuálním prostředím. Někdy mohou mít tato zařízení podobu rukavic pro komplexnější snímání celých rukou včetně prstů, výjimečně může ovladače zcela nahradit zařízení, které se snaží ruce snímat přímo (např. Leap Motion). [2]

Headsety pro chytré telefony

Za zmínku stojí též zařízení, která jako výpočetní i zobrazovací jednotku používají mobilní telefon. Jedná se běžně o headset obsahující minimum přidané funkcionality, kromě toho, že se do něj dá zasadit mobilní telefon, na který se pak uživatel dívá skrz dvě průhledné, přibližovací čočky, které věrohodný stereoskopický obraz umožňují. Interakce uživatele s virtuálním zážitkem je ale s takovými zařízeními minimální. Pro příklad různých úrovní možnosti interakce můžeme použít dvě známá zařízení: Google Cardboard a Samsung Gear VR. Zatímco Google Cardboard těží především z nízké pořizovací ceny, přidaná možnost interakce je u nejjednodušších modelů nulová. Fungování s Google Cardboard je možné na telefonech s iOS nebo Androidem po stažení aplikace. Samsung Gear VR, který funguje pouze s konkrétními modely značky Samsung, má microUSB (novější verze USB-C) výstup pro připojení k mobilu, několik dotykových tlačítek navíc k tlačítku zpět a vlastní akcelerometr, napomáhající k vyšší přesnosti snímání polohy headsetu, která by se jinak řídila pouze senzory v telefonu. K headsetu se dá též připojit ovladač, jehož poloha ale není snímána. [3] [4]

Headsety pro počítače

HTC Vive

HTC Vive a jeho následníka Vive Pro vyvíjí firma HTC exkluzivně pro fungování s platformou SteamVR společnosti Valve. Jde o soupravu brýlí, dvou ovladačů a minimálně dvou základních stanic, které zajišťují snímání pomocí infračervených paprsků. Vive ale používá metodu snímání inside-out, což znamená, že informace o poloze získává sám headset a nikoli zmíněné základní stanice. [5] Ovladače i headset zaznamenávají infračervené impulsy ze

základních stanic a podle nich určují, kde mezi nimi se nacházejí. K dobrému fungování musí základní stanice (předpokládáme-li minimální počet dvou stanic) sdílet přímou viditelnost k sobě navzájem. Ovladače nevyžadují Bluetooth pro připojení k počítači. Používají vlastní bezdrátový protokol, přes který komunikují přímo s headsetem, případně mohou být připojeny kabelem k počítači přes jejich microUSB rozhraní, kterým se ovladače také nabíjí.

Vive nabízí velmi dobrou kvalitu snímání prakticky všude, kde jsou ovladače i headset v zorném poli základních stanic. Diskutujeme-li ale použití v různých prostředích (tedy časté stěhování) a ve větším počtu uživatelů, zjistíme, že jeho poměrně složitá montáž a vysoká cena není takovému scénáři příliš příznivá.

Oculus Rift

Oculus Rift, jehož výrobce Oculus VR koupila společnost Facebook Technologies v roce 2014, je podobný HTC Vive v tom, že k fungování je potřeba rozmístit dvě další zařízení, vedle headsetu a dvou ovladačů. Ke snímání pozice totiž Rift používá dva snímače, které sledují headset a ovladače. Ty mají pod povrchem rozmístěná infračervená světla blikající v konkrétních časech. Způsob snímání polohy tedy můžeme klasifikovat jako outside-in, vzhledem k tomu, že určení polohy probíhá na straně externích snímačů, nikoli na straně headsetu. [5] Podobně jako Vive není potřeba mít počítač s Bluetooth. Ovladače komunikují přímo s headsetem.

Windows Mixed Reality

Windows Mixed Reality (WMR) headsety vyrábí na rozdíl od ostatních zmíněných hned několik značek nad několika pevně danými principy, zejm. vzhledem ovladačů (tzv. Motion Controllerů), technologií snímání a softwarem, s kterým fungují. K použití je potřeba počítač s operačním systémem Windows 10 verze ne starší než Fall Creators Update (též 1709) z října 2017. [6] Podobně jako Vive má inside-out snímání pohybu, ovšem na rozdíl od obou výše zmíněných zařízení nepotřebuje žádné další zařízení, aby snímání fungovalo. Kamery jsou umístěny přímo na headsetu a orientují se podle okolí. Ovladače zase mají na sobě rozmístěnou síť světél, které headset interpretuje v jejich pozici. V případě, že je linie pohledu mezi kamerami a ovladači přerušena, je počítač stále schopen zachycovat rotaci ovladačů z informací z jejich vnitřních akcelerometrů, které ovladače pošlou přes Bluetooth spojení s počítačem. Na rozdíl od předchozích zařízení je tedy Bluetooth v počítači nutností pro používání WMR ovladačů.

Zacílení vývoje

Aplikace je od začátku cílená zejména pro použití na Windows Mixed Reality headsetech, jenž jsou z aktuálních možností VR hardwaru nejvhodnější pro scénář hromadných prezentací na půdě různých škol, vzhledem k jejich snadnému uvedení do provozu, malé velikosti vhodné pro převoz a zároveň i nízká cena.

2.2 Výběr frameworku pro implementaci

Unity, v kterém je vyvinuta tato aplikace, má nativní podporu vývoje pro VR. Je možné v něm pomocí existujících komponent vytvořit stereoskopickou kameru, která se bude vykreslovat do headsetu, a zachycovat pozice ovladačů nebo jiných zařízení. Všechny zmíněné hardwarové možnosti (ze sekce 2.1, „Headsety pro počítače“) ale nabízejí vlastní knihovny, které se dají v Unity použít pro usnadnění práce. Všechny knihovny obsahují různé skripty pro běžné interakce, modely ovladačů různých VR souprav nebo v případě WMR jejich načítání z dat operačního systému. Vzhledem k zacílení na Windows Mixed Reality headsety jsou dále vypsány pouze možnosti, které tato platforma podporuje.

Virtual Reality Toolkit (VRTK)

Virtual Reality Toolkit je open-source knihovna pro vývoj v Unity pro headsety podporující platformu SteamVR, pro headsety značky Oculus a experimentálně zařízení Daydream od společnosti Google nebo Ximmerse, obě z kategorie headsetů pro zasazení mobilního telefonu. Nativně nepodporuje WMR, ale existují neoficiální rozšíření, která toto spojení mají umožňovat. [7]

Dokumentace VRTK je uspořádána na dedikovaném webu pod nadpisy různých kategorií v jednom sloupci, což ji činí vzhledem k více než 200 takovýchto nadpisů velmi nepřehlednou. Při testování se též nepodařilo zprovoznit ono neoficiální rozšíření, které mělo umožnit práci s VRTK a WMR.

Mixed Reality Toolkit (MRTK)

Mixed Reality Toolkit je oficiální knihovna pro vývoj pro VR headsety od společnosti Microsoft, tj. WMR headsety a HoloLens/HoloLens 2, a ke květnu 2019 též podporuje i zařízení OpenVR/SteamVR, tj. HTC Vive a Oculus Rift. MRTK se z velké části věnuje holografickým zařízením a je jim i proto věnováno nejvíce prostoru v návodech a dokumentaci, která už tak není příliš rozsáhlá. Ze všech možností má tato knihovna nejmenší bázi podpory od jiných uživatelů. [8]

SteamVR

Pravděpodobně nejpoblárnější platforma pro vývoj VR her dnes je SteamVR. I proto, že za rozhraním stojí herní gigant společnost Valve, se postupně podpora SteamVR dostavila jak na Oculus Rift, tak – v květnu 2018 – i na Windows Mixed Reality headsety. Jako podpůrný blok slouží Windows Mixed Reality for SteamVR – software, který vyšel na Steamu 1. května 2018. [9] Podobně jako i u ostatních knihoven je v balíčku SteamVR rozsáhlá testovací scéna s příklady použití různých komponent, které v rámci SteamVR jsou. Tato scéna slouží z velké části i jako jakási dokumentace, vzhledem k tomu, že žádná kompletní uspořádaná dokumentace neexistuje. [10]

Výběr knihovny

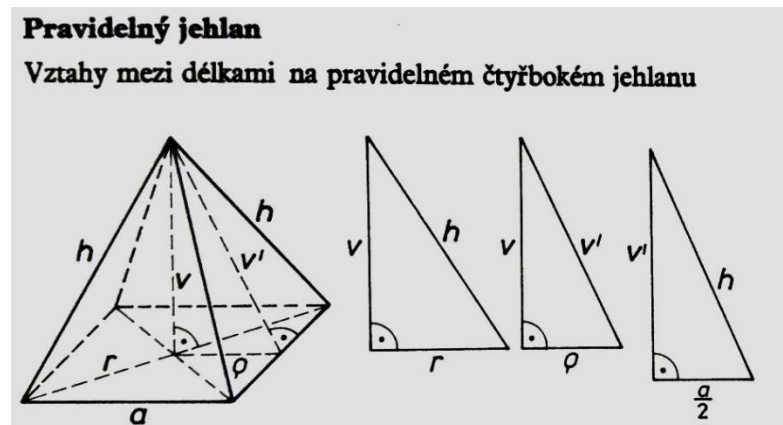
Pro vývoj aplikace bylo nakonec zvoleno SteamVR, vzhledem k tomu, že je pro něj nejjednodušší najít podklady na internetu, ať už z rozsáhlých ukázkových scén nebo cizích projektů. Jedním z hlavních důvodů také byla předchozí zkušenost s touto knihovnou a potenciální možnost aplikaci spustit na kterémkoliv z hlavních VR headsetů, které se dnes používají.

2.3 Způsoby výuky ve školách

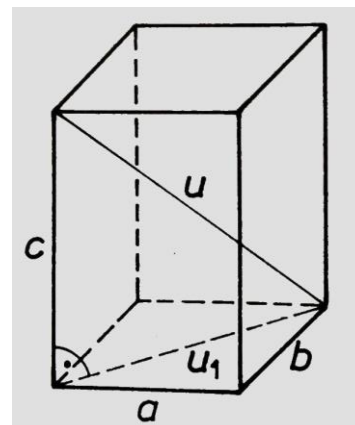
V současné době se na středních školách setkáváme zejména s tradičním způsobem výuky geometrie, tj. vysvětlování problematiky výpočtů nad trojrozměrným prostorem za pomoci dvojrozměrných nákresů. Příklad takovýchto je vidět níže na obrázcích 1-2, které jsou z dosud používaných matematických tabulek pro střední školy z roku 1988. [11] Takovéto znázornění má výhodu toho, že ho lze snadno zanezt na běžnou třídní tabuli nebo na papír. V některých případech může být k dispozici ve třídě způsob projekce z počítače, v tom případě je možné žákům ukazovat trojrozměrné modely. Vždy bude ale takové zobrazení limitováno konečným průmětem na projekční plochu.

Jedním ze způsobů, jak zpestřit výuku se stala open-source platforma Moodle. V té je možné vytvářet testy a studijní materiály a používat v nich spektrum mediálních prvků jako jsou obrázky, zvuky a za pomoci zásuvného modulu i 3D modely. [12] [13]

Ani 3D modely na monitoru ale nefungují tak přínosně na zapamatování si různých spojitostí tak, jako jejich zobrazení ve virtuální realitě. [14, pp. 12-13] Bylo ukázáno, že uživatelé, kterým byly k zapamatování předloženy dvojice fotografie-místo ve virtuální realitě, prokázali o 8,8 % lepší schopnost si dvojice vybavit než lidé, kteří stejné dvojice sledovali pouze procházením stejného 3D prostoru na běžném monitoru. [15] Studií, které by se zabývaly výhradně působením zahrnutí virtuální reality do vzdělávání není mnoho. Existují ale práce naznačující, že rozmanitější prostředí, se kterým člověk interaguje, obohacuje komplexitu rozvětvení jeho mozkových neuronů. Tohoto efektu by prostřednictvím virtuální reality šlo za určitých podmínek dosáhnout. [16]



Obrázek 2 - Nákres pravidelného jehlanu



Obrázek 1 - Nákres kvádrů

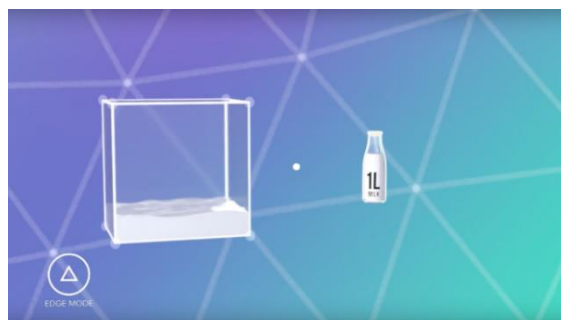
2.4 Matematické VR aplikace

Co se týče dalších existujících a podobných aplikací, dělí se zejména na ty pracující s prostorovou představivostí a na aplikace, které jako mechaniku používají ty nejjednodušší matematické operace až jako druhotný prvek.

VR Math

Vývojář: VARP Education · **Rok vydání:** 2018 · **Platformy:** Android, iOS · **Cena:** zdarma

VR Math je z výběru nejpodobnější mé aplikaci, vzhledem k tomu, že se zabývá zejména vizualizací těles a dovoluje zkoumat jednotlivé jeho prvky (hrany, příčky, strany, vrcholy). Je též zaměřená na vzdělávání, spíše než pro zábavu. V aplikaci je možnost zobrazit si výukové zážitky k různým tématům nebo vytvoření a vstoupení do virtuální třídy. Interakce s aplikací je spíše primitivní, vzhledem k tomu, pro jakou platformu byla vyvinuta. Je tedy omezena zejména na výběr různých prvků nebo možností v nabídce. Má mít také funkce podporující rozšířenou realitu. [17]



Obrázek 3 - VR Math

Na aplikaci je velmi zajímavá funkce vizualizace některých konceptů, jako je objem, na každodenních příkladech (viz Obrázek 3).

Kromě prohlížení těles, případně předpřipravených vysvětlovacích scén, neexistuje žádná hlubší interakce uživatele (vzhledem k platformě to ani není příliš možné, viz sekce 2.1). Ráda bych dosáhla podobné míry vizualizace, která by ale měla přímou souvislost s interakcemi uživatele.

Number Hunt

Vývojář: PaleBlue XYZ · **Rok vydání:** 2018 · **Platformy:** Oculus Rift, HTC Vive, WMR · **Cena:** 11,99€

Number Hunt je rychlá VR střílečka pro více hráčů, která používá základní matematické operace – sčítání, odčítání, násobení, dělení – jako mechaniku k dosažení vítězství nad protihráči. Každý hráč si před začátkem vybere vlastní barvu, hra se poté hraje na tři kola, přičemž v každém kole je 5 cílových čísel, která se hráči pokouší dosáhnout každý na svém počítadle začínajícím na nule. K této hodnotě může uživatel přičítat a odčítat tak, že odpovídající zbraní trefí některé z všudypřítomných pobíhajících cifer. K dispozici jsou 4 zbraně: dvě odpovídají přičtení, resp. odečtení



Obrázek 4 - Number Hunt

zasažených číslic k počítadlu, další po výstřelu naklonuje zasažené cifry, ve výsledku násobíc získatelnou hodnotu dvěma, a poslední zbraň funguje jako dělení, tj. že ze sudé číslice zásahem vzniknou dvě o polovinu menší. Dosáhne-li některý hráč cílového čísla, označí se pro všechny uživatele jeho barvou, reprezentující jeden bod pro něj v aktuálním kole. Žádný další hráč už za stejné číslo nemůže bod získat. Vítěz je rozhodnut dle počtu bodů na konci hry, kde každé ze tří kol trvá určitý čas. [18]

Jak je naznačeno v popisku, jedná se skutečně o hru a nikoli primárně vzdělávací aplikaci. Byť je potřeba zapojit matematické myšlení, není ve skutečnosti o mnoho důležitější než pohyb po mapě a hledání a zaměřování číslic. Prvky jako střelba a soutěž o skóre proti jiným uživatelům jsou typické pro herní žánr, spíše než pro zážitek s cílem vzdělávat.

Medieval Math VR

Vývojář: Lucerna Studios · **Rok vydání:** 2018 · **Platformy:** Android, iOS · **Cena:** zdarma

Medieval Math VR sama sebe nazývá „vzdělávací hrou pro děti, rodiny a učitele.“ Jde o aplikaci pro mobilní telefony a je tedy potřeba vlastnit headset, do kterého se dá mobilní telefon zasadit (shrnutí v sekci 2.1). Hra požaduje, aby takový headset na sobě měl tlačítko pro interakci s ní. Jde o variaci na žánr tower defense („obrana věží“, též někdy „věžovka“), kde hráč stojí na místě za ohradou,



Obrázek 5 - Medieval Math VR

za kterou se k němu z různých směrů postupně přibližují různé druhy nepřátel. Hlavní mechanikou je pak míření a střelba po nich. Na zemi před hráčem leží tabulka, na které se zobrazují matematické problémy – příklady na sčítání, odčítání, dělení a násobení, nebo taky zlomky a základy algebry. Hráč může tyto úlohy vyřešit vybráním jedné ze čtyř možností a získat tak silnější zbraň nebo další munici, které má konečné množství. Nepřátelé přicházejí, jak je pro žánr běžné, ve vlnách. Hráč je poražen, prorazí-li nepřátelé jeho obranu (plot, hradbu), na kterou nepřátelé útočí, když se dostanou dostatečně blízko. Výhra je dosažena přečkaním daného počtu vln. [19]

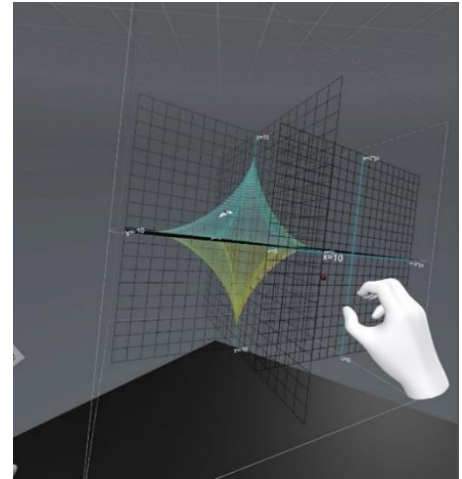
Aplikace obsahuje prvky přímo cílené na vzdělávání. Zejména to, že úspěšnost hráče řešit různé druhy úloh se ukládá a je na konci hraní vyhodnocována na známkovací stupnici A-F. Uživatel si může i podle svých výsledků vybrat, který druh úloh chce při hraní řešit. Různé druhy úloh mají také několik úrovní obtížnosti.

CalcFlow

Vývojář: Nanome · **Rok vydání:** 2016 · **Platformy:** Oculus Rift, HTC Vive · **Cena:** zdarma

CalcFlow na rozdíl od předchozích příkladů nemá žádné výlučně herní prvky. Aplikace se zaměřuje na vizualizaci velkého spektra matematických témat, jako jsou grafy funkcí, výpočet objemu pomocí integrálu, vysvětlení sférických souřadnic a další. Aplikace nemá žádný dosažitelný cíl, jde spíše o prostředí pro interakci, které si může uživatel přizpůsobit a vyplnit podle svých představ. Jako taková slouží spíše jako pomoc k pochopení daných matematických konceptů, případně k vytváření poznámek. [20]

Jako prvek, který bych chtěla napodobit, považuji zaměření na pomoc uživateli představit si složitější koncepty za pomoci virtuálního prostředí. Způsob provedení, tedy sandbox bez cíle nebo motivace uživatele konkrétní věci zkoušet, ale není cíli této aplikace blízký. Stejně tak jako spektrum témat, kterým se tato aplikace věnuje.



Obrázek 6 - CalcFlow

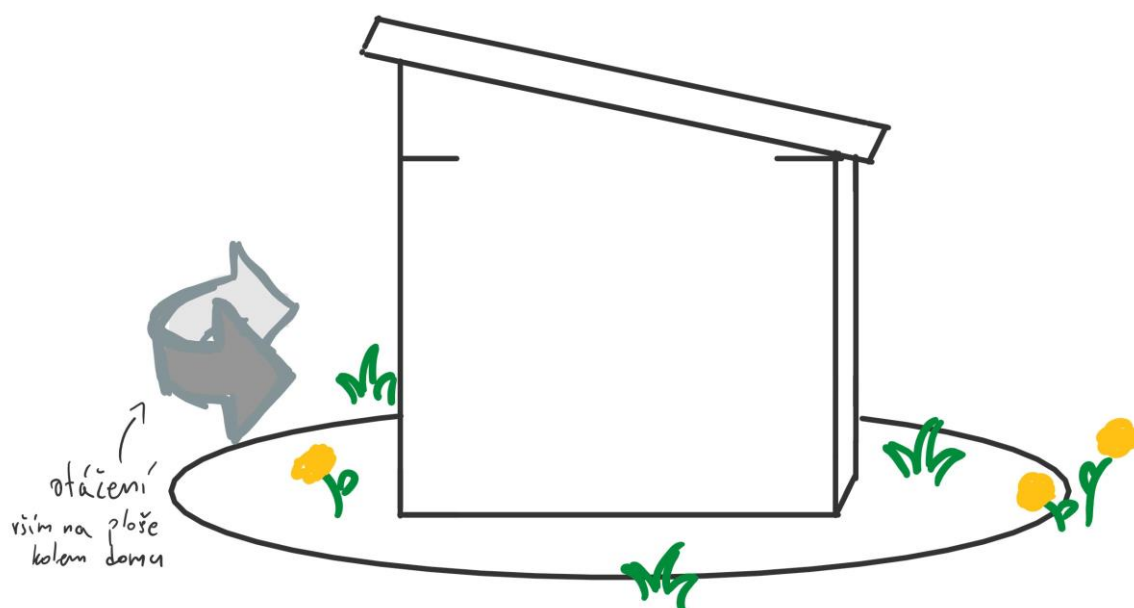
3 NÁVRH

3.1 Rozložení a vzhled scény

Jako předlohu objektů, na kterých budou prováděny výpočty, jsem vybrala známé prvky, které se mohou nacházet v okolí rodinného domu či vily, a to především z důvodu, že se v takovém prostředí najde dostatek případů z reálného světa, kdy může být potřeba procvičovanou látku použít. Úkoly by totiž měly být prezentovány spíše jako různé cíle, kterých se snažíme dosáhnout, spíše než pouhý návod, co by mělo být spočítáno („kolik je potřeba vody na...“ vs „objem bazénu“).

Hlavním objektem bude obytná stavba a další budou struktury nacházející se přirozeně v jejím prostředí, jako bazén, garáž apod. V podrobnějším návrhu už figurují tři hlavní stanoviště, každé na svém vlastním podstavci. Ta budou rozmístěna jedno před uživatelem a každé další na levé a pravé straně. Tématem stanovišť budou dům, bazén a dětské hřiště. Jednotlivá stanoviště budou umístěna kolem uživatele na cylindrických podstavcích, které lze otáčet, a tak interagovat s objektem ze všech stran, jak je znázorněno na úplně prvním návrhu níže na Obrázku 5. Na těchto podstavcích bude teleportační plocha. Další, čtvercová teleportační plocha bude vyplňovat prostor uprostřed mezi těmito podstavci.

Objekty, ke kterým se budou vztahovat úkoly, budou mít na pozicích vrcholů označníky, které půjdou vybírat a společně budou tvořit hrany, které pak bude možné dosazovat už do jednotlivých proměnných konkrétních vzorců.



Obrázek 7 - První návrh prostředí

Vzorce

Vzorce budou reprezentovány trojrozměrnými texty a půjdou umístit kamkoliv do prostoru. Všechny vzorce budou umístěny v databázi vzorců v menší zploštěné podobě, odtud také bude možné jejich zkopírování ve 3D verzi do scény (detaily níže v sekci 3.2).

Jednotlivé proměnné mohou mít několik stavů:

- konstanty – nejedná se o skutečnou proměnnou ale o pevně danou hodnotu (například π),
- volné proměnné – do takových proměnných lze dosadit hodnota vybrané hrany nebo výsledku z jiného vzorce,
- výsledky – proměnná, jež zůstala poslední nedosazená v jednom vzorci, se stane výsledkem; její hodnota bude automaticky dopočítána a bude ji možné dosadit do dalších vzorců,
- upravitelné proměnné – hodnotu upravitelných proměnných si může uživatel navolit sám, například v situaci, kdy chce jinou hodnotu vynásobit nebo vydělit nějakým konkrétním číslem a nikoli délkou jiné hrany nebo hodnotou jiné proměnné,
- konstanty úloh – zadané proměnné u konkrétních úkolů s pevnou hodnotou, pro účely dosazování se chovají jako výsledky.

Volné proměnné, do kterých je dosazena hodnota, změní svoji barvu na jednu z předdefinovaných barevných možností. Takovýchto barev – a tedy i možných obsazených proměnných – je konečné množství. Toto omezení slouží i jako mechanika v některých úlohách (více níže v sekci 4.3). Výsledky mají všechny stejnou barvu, tato barva není součástí předdefinovaných barev a neubírá počtu dosaditelných proměnných. Po dosazení výsledku do dalšího vzorce se mezi spojenými proměnnými zobrazí jejich spojení včetně indikace, odkud kam spojení vede (tj. od výsledku k proměnné, do které kopírujeme její hodnotu).

Všechny vzorce budou fungovat dynamicky, a tak změna některé proměnné (její smazání nebo změna hodnoty) ovlivní výsledek jejího vzorce i všechny další vzorce, do kterých je výsledek dosazen. Vzorců půjde do scény umístit neomezené množství a půjdou ze scény odstranit. Také se budou vždy otáčet přední částí k uživateli, aby mohl uživatel volně měnit svoji pozici ve scéně a nepotýkal se s nečitelnými vzorci, které by musel ručně otáčet.

3.2 Interakce

Interakce uživatele bude rozložena podle nastavení, zdali je pravák či levák. Toto nastavení proběhne na samém začátku. Toto nastavení je nutné vzhledem k tomu, že vyjma HTC Vive mají WMR i Oculus Rift nezaměnitelný levý a pravý ovladač. Většina interakcí s prostředím bude probíhat za pomoci laserového ukazovátka umístěného na primárním ovladači, místo druhého ovladače bude tablet, sloužící jako databáze vzorců a aktuálních úkolů.

Laserem na hlavním ovladači (na straně dominantní ruky) bude uživatel mířit na různé interaktivní prvky a tímto způsobem s nimi pracovat. Takto se také budou označovat vrcholy, doplňovat proměnné, přemísťovat vzorce, otáčet podstavce se stanovišti a vybírat objekty z tabletu. Dále hlavním ovladačem půjdou mazat proměnné, oddalovat a přibližovat držené vzorce, přepínat volitelné proměnné a také se jím bude uživatel schopen teleportovat (podrobný popis ovládání v příloze 1).

Sekundární ovladač bude sloužit jen pro obsluhu tabletu, na kterém si uživatel vybírá vzorce a čte a plní úkoly. Na tabletu bude ze spodní strany zmíněný diagram s přehledem ovládání.

Zaměřování vrcholů, jež můžeme označit za nejčastější úkon uživatele v aplikaci, bude uživateli usnadňovat přichytávání laseru k vrcholům, na které uživatel přímo nemíří ale které se nachází v určité blízkosti k laseru. To také umožní, aby měly označníky vrcholů poměrně kompaktní velikost a zároveň nedocházelo k obtížím při jejich zaměřování.

Úkoly

V aplikaci bude možnost volby obtížnosti. Po zvolení jedné z nich se bude zážitek lišit zadanými úlohami, které budou různě složité jak matematicky, tak z pohledu toho, jak komplexní síť vzorců bude muset uživatel vytvořit. Matematická složitost bude ale až druhotná, vzhledem k tomu, že všechny vzorce, které budou v aplikaci k dispozici, budou pro základní, nepříliš složitá tělesa a obtížnost úloh se jimi tedy bude lišit jen subjektivně.

Vedle toho, kolik vzorců bude muset uživatel použít, může být ztížením zadání i omezené množství proměnných. To znamená, že dosazeno může být jen do určitého množství proměnných najednou. Tato mechanika je ale čistě herní a nemá paralelu v reálných obtížích počítání (na rozdíl třeba od složitosti sítě vzorců, kde nutný počet použitých vzorců můžeme označit jako ukazatel obtížnosti i u běžného způsobu výpočtu).

Tutoriál

Po spuštění aplikace bude pro uživatele, po výběru dominantní ruky, připraven tutoriál, který ho provede všemi mechanikami, které bude potřebovat ke splnění libovolných úkolů. Záměr je, aby bylo k vysvětlení použití potřeba minimum a ideálně žádný zásah zvenčí. Je ovšem možné, že bude nutné nějakou asistenci poskytnout zejména těm uživatelům, kteří nemají zkušenost s VR a budou potřebovat nějaké základní rady, jak zacházet s ovladači nebo jak správně používat některá tlačítka.

4 IMPLEMENTACE

4.1 Uživatelská interakce

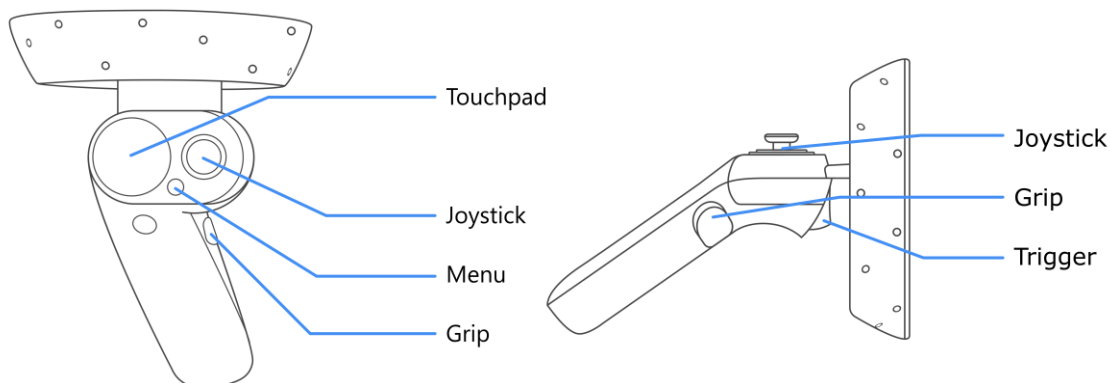
Jako základ pro uživatelskou přítomnost a interakci ve scéně byl použit a následně upraven prefab `Player` z balíčku `SteamVR`.

HandInput

Centrální třída, z které dědí jakýkoliv objekt, který chce číst vstupy z ovladačů. V každém snímku přečte stav všech používaných ovládacích prvků a uloží je ve formě vnořené třídy `ButtonState`, který zároveň udržuje aktuální informaci o tom, jestli od poslední kontroly nastala ve stavu tlačítka změna. K `HandInput` je možné přiřadit instance typu `Raycastable` (detail níže), které veškerému vstupu této instance naslouchají. Typicky objekt tabletu, který naslouchá všem interakcím sekundárního ovladače – sekundární ovladač má připnutou komponentu typu `HandInput`.

Vstupy (schéma použitých vstupů níže na Obrázku 8), které `HandInput` monitoruje jsou:

- primární interakce mapovaná na trigger,
- sekundární interakce mapovaná na grip,
- čtyři směry scrollování mapované na stlačení touchpadu na severu, východě, západu a jihu,
- zoom mapovaný na vertikální osu joysticku,
- tlačítko vyvolání menu.



Obrázek 8 - Popis tlačítek WMR ovladače

LaserPointer : HandInput

Jádrem interakční mechaniky je laserové ukazovátko, připojené k modelu ovladače. Toto chování obsluhuje třída `LaserPointer`, která v každém snímku přepočítá podle směru ovladače vrhaný raycast a na základě kolizí jej vykreslí. Dále pak obsluhuje, jestli a co laser v daném snímku zasáhl a která tlačítka byla mezi posledním a aktuálním snímek stisknuta či uvolněna (převzato z rodičovské třídy). Vyhodnocení zásahu raycastů probíhá tak, že je

nejdříve vržen paprsek s maskou a vyhodnoceno, zdali něco zasáhl a zdali to něco má komponentu typu Raycastable. V případě, že paprsek nic nezasáhl, se kontroluje, jestli je v dostatečné blízkosti laseru nějaký vrchol. Tato kontrola probíhá pomocí Capsule Collideru obklopujícího laser, který je nastaven jako Trigger registrující pomocí maskování kolizí pouze vrcholy.

Pokud laser zasáhl objekt s komponentou typu Raycastable, nebo pokud byl nalezen vrchol v dostatečné blízkosti, je nad tímto objektem zavolána metoda odpovídající aktuální situaci pozice a stavu tlačítek laseru (podrobnosti níže u popisu typu Raycastable).

V případě, vrhání paprsku neskončilo zásahem a byla zaznamenána kolize s vrcholem, vykreslí se laser jako rovný pouze do určité vzdálenosti a dále je nahrazen křivkou, která směřuje k vrcholu. Pomocí algoritmu de Casteljau jsou vypočítány pozice (jejichž počet je upravitelný modifikátorem) ze tří kontrolních bodů: pozice vrcholu, kolmý průmět pozice vrcholu na laserový paprsek a tento průmět posunutý po linii laseru o skok jednotkové délky blíže k uživateli. [1, pp. 187-189]

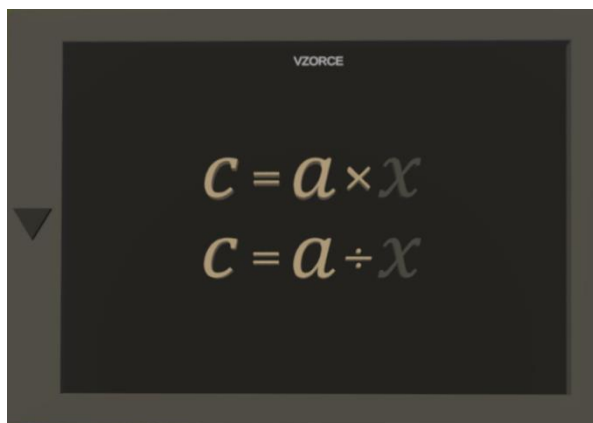
Kromě toho má třída ještě metodu pro připínání objektů k ovladači nastavením ovladače jako hierarchického rodiče. Tato metoda vrací instanci svého Transform a nastavuje svůj stav podle požadavku na Pointing nebo Holding. Ovladačem, který má na sobě instanci třídy LaserPointer je možné se teleportovat. Teleport je ale obsluhován předpřipravenými objekty z balíčku SteamVR.

Tablet

Jedním z hlavních pilířů interakce je tablet dokovaný na nedominantní ruce, držící databázi vzorců a aktuálních úkolů. Tablet je tvořen jednoduchým 3D modelem, pod kterým v hierarchii najdeme, jak větvi s úlohami, tak seznam vzorců. Mezi těmito je přepínáno pomocí komponenty ToggledDisplay, která po zadání, který z herních objektů je výchozí a který ne, přepíná mezi těmito při sekundární interakci nedominantní ruky. Pro listovatelný seznam vzorců má také komponentu Scrollable.

Seznam úloh je aktualizován výhradně z kódu pohánějící herní události (detaily v sekci 4.3). Na zadní straně tabletu je umístěna nápověda k ovládání (v příloze 1).

Na snímku obrazovky z aktuální verze aplikace (Obrázek 9) je vidět jednoduchý model tabletu, jeho rozložení při procházení vzorců a dvě položky, instance třídy Formula klonované komponentou FormulaSeed.



Obrázek 9 - Model a rozložení tabletu

4.2 Interaktivní objekty

Raycastable

Abstraktní třída `Raycastable` obsahuje hlavičky metod, pro obsluhu přichozí interakci uživatele.

- `OnRaycast` – pro situaci, kdy v posledním snímku začal uživatel na objekt mířit.
- `OnRaycastExit` – uživatel v posledním snímku na objekt mířit přestal.
- `OnInteract` – pokud byl během míření na daný objekt v posledním snímku stisknuto tlačítko primární interakce.
- `OnInteractStop` – bylo-li tlačítko primární interakce uvolněno.
- `OnSecondaryInteract`, `OnSecondaryInteractStop` – identické s předchozími dvěma metodami, ale pro sekundární interakční tlačítko.
- `OnScrollUp`, `-Down`, `-Left`, `-Right` – uživatel stiskl tlačítko odpovídající směru scrollování.

Do všech metod se posílá instance třídy `LaserPointer`, která danou metodu vyvolala. V případě, že metodu volá jiný posluchač vstupu než instance `LaserPointer`, posílá hodnotu `null`.

VertexBall : Raycastable

Třída `VertexBall` je hlavní komponenta pro objekt označující vybratelný vrchol.

Obsluhuje `OnRaycast` a `OnRaycastExit` změnou velikosti, jakožto indikace uživateli, jestli na vrchol míří. Dále už pouze `OnInteract`, což spustí pokus o označení vrcholu, které se podaří za předpokladu, že jde o první nebo druhý aktuálně vybraný vrchol. V případě neúspěchu se vrchol na dobu označí barvou signalizující chybný výběr.

`VertexBall` je součástí zejména stejnojmenného prefabu, které jsou kódem generovány na pozicích vrcholů 3D modelů, které jsou označeny konkrétním tagem.

V třídě je také uchovávána statická proměnná s aktuálně vybranou hranou (typ `Edge`).

Formula : Raycastable

Základní třída, z které pak dědí jednotlivé skripty pro konkrétní vzorečky. Každý konkrétní vzorec pak přepisuje abstraktní metodu `EvaluateFor`, kde vrátí vhodným způsobem dopočítanou hodnotu proměnné na *i*-té pozici. Třída obsahuje `List` s instancemi typu `Variable`, kde jsou všechny proměnné, které vzorec obsahuje. Pro snadný přístup k nim obsahuje třída `indexer`, který *i*-tou proměnnou přes volání `this[i]` vrátí.

Důležitou metodou je `VariableStateChanged`, která je volána některou z proměnných v daném vzorci při jakémkoliv změně. Proběhne vyhodnocení stavu a případně dojde

k dopočtení nebo přepočtení výsledku anebo k jeho smazání, není-li dostatek proměnných dosazen.

Vzorec se vždy otáčí k uživateli kolem osy Y a v ostatních osách je bez rotace. Vzorec lze smazat jeho stažením pod zem. Pod vzorcem se při jeho přesunu pohybuje poloprůhledná červená ikona, která se zvýrazní, když se vzorec dostane pod konkrétní hranici pozice na ose Y. Je-li vzorec v ten moment uživatelem puštěn, vzorec je smazán. Jde o pokus napodobit swipovací gesto, které je běžně používané pro mazání položek na dotykových zařázeních.

Třída obsluhuje `OnInteract` pro připnutí vzorce k ovladači pro jeho přemístění. Stejně tak `OnInteractStop` pro ukončení přemístování vzorce. Vzorec také reaguje na zoomování v případě, že je právě držen laserem. Je-li tomu tak, přibližuje se nebo se oddaluje od pozice uživatele ve směru laseru.

Variable : Raycastable

Typ pro reprezentaci proměnné v rámci struktury třídy `Formula`. `Variable` jde přiřadit hodnota z hrany, jiné proměnné nebo může být zadána konstantně. Také může být výsledkem z výpočtu daného vzorce. Jakmile získá proměnná hodnotu, změní barvu, a to na jednu z pevně dané databáze barev. Tyto jsou uloženy staticky uvnitř třídy `Variable`. Je-li proměnná výsledkem, změní se její barva na barvu určenou pro početní výsledky. Konstantní proměnné mají bílou barvu. Po vymazání proměnné je její barva vrácena zpět do množiny odstínů. Obrázek 10 znázorňuje všech dvanáct barev pro doplněné proměnné a barvu pro výsledky zcela vpravo.



Obrázek 10 - Paleta možných barev proměnných

Při propojení dvou proměnných je naklonován pod zdrojovou proměnnou prefab s komponentou `RelativeLineRenderer`, která slouží k vytváření spoje za pomoci komponenty `LineRenderer`. Toto spojení má barvu zprůměrovanou ze všech barev ve vzorci zdrojové proměnné (do této barvy se nepočítá barva výsledku; spojení se nevytváří při propojování z konstantní proměnné).

Třída obsluhuje `OnInteract` pro výběr a dosazení do proměnné a `OnSecondaryInteract` pro smazání proměnné.

Scrollable : Raycastable

`Scrollable` je komponenta, která umožňuje tvorbu herních objektů s listovatelnými seznamy dalších objektů. Hlavním zástupcem objektů využívající tuto komponentu jsou vzorce s nastavitelnou proměnnou (více o druzích vzorců níže) a listovatelná databáze vzorců na tabletu.

Takto vytvořený seznam může mít podobu jednoho sloupce, řádku nebo dvourozměrné sítě o několika řádcích/sloupcích. Vždy je zobrazen pouze aktuální index – souřadnice – v daném seznamu. Ostatní objekty jsou skryté.

Objekt implementuje metody třídy `Raycastable` pro obsluhu scrollování. Směr scrollování závisí na orientaci seznamu, ale zpravidla mění aktuální řádek při scrollování nahoru/dolů a sloupec při scrollování doleva/doprava.

Druhy vzorců

Všechny vzorce jsou tvořeny stejně (tj. v hierarchii pod kořenem je rodič pro jednotlivé znaky a pod ním jednotlivé proměnné, konstanty a znaménka), můžeme ale odlišit vzorce, které mají všechny proměnné dosaditelné ze scény, a vzorce, v kterých si může uživatel sám jednu z hodnot navolit. V takovém případě je na místě jedné z proměnných `GameObject` s komponentou typu `NumberPicker`, která je odvozená z typu `Scrollable` pro použití s rozsahem čísel a hodnotou vybraného čísla (pro přečtení rodičovskou instancí třídy `Formula`). Tento rozsah čísel je celočíselný a v maximálním (volitelném) rozsahu od -9 do 9. Volitelné proměnné nemohou být 0 a při použití tlačítka pro smazání proměnné se resetují zpátky na zástupný symbol bez hodnoty (běžně x).

Kompletní seznam vzorců v aktuální verzi aplikace je:

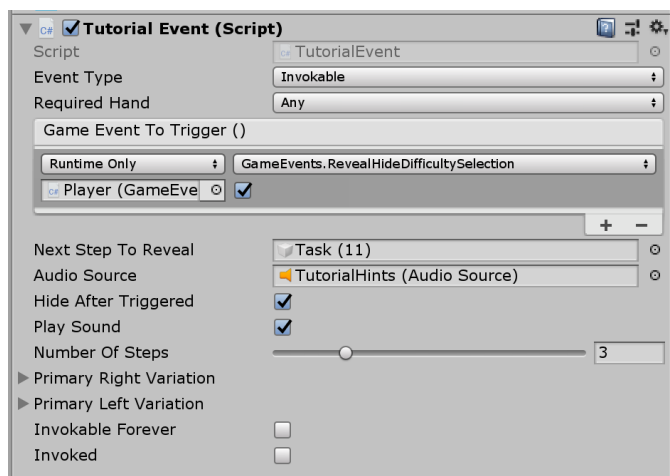
- součet a rozdíl dvou proměnných,
- součin a podíl dvou proměnných,
- součet, rozdíl, součin a podíl jedné proměnné a jedné celočíselné volitelné hodnoty,
- obecný objem (součin obsahu podstavy a výšky),
- obsah kruhu, obdélníku, trojúhelníku a elipsy,
- vzorec jedné konstanty (tento má pouze jednu proměnnou, ze které lze číst; nepovoluje jinou interakci a slouží pro zpřístupnění hodnot zadaných v úlohách).

4.3 Herní události a postup

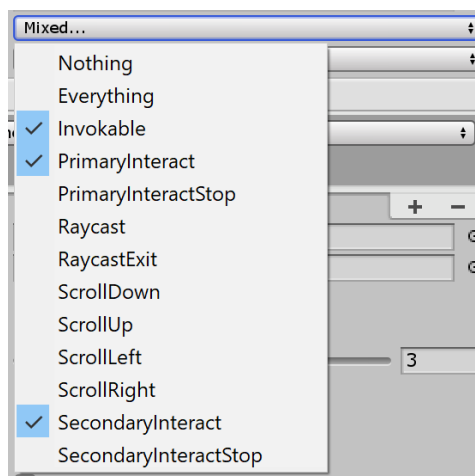
Herní události

Aplikace jako taková může fungovat zcela bez zásahu správní jednotky, která by kontrolovala uživatelův postup. Zejména k účelům vytvoření tutoriálu jsem vytvořila třídu `GameEvents`, která reaguje na většinu hlavních události ve hře (např. splnění úlohy, dosažení do vzorce, smazání vzorce). Ve scéně je povolena pouze jedna instance a obsahuje několik statických metod, které je možné zavolat pro ohlášení nebo vyvolání některých události.

Jako pomocný prvek pro navigaci uživatele existuje ještě komponenta TutorialEvent, která je komplexně přizpůsobitelná z inspektoru uvnitř editoru. Dědí z abstraktní třídy Raycastable, a tak může reagovat přímo na vstupy od uživatele. V editoru je možné nastavit libovolné množství flagů určujících, na které události má událost reagovat (k dispozici jsou všechny vstupy z Raycastable a možnost událost přímo vyvolat z jiného kódu, zpravidla z třídy GameEvents). Také je možné určit, kolik kroků událost potřebuje, a co se má stát po jejím ukončení – zavolat libovolná metoda, odhalit jiný herní objekt, zahrát zvuk a zdali se má tento herní objekt deaktivovat. Na obrázcích 10, 11 je k vidění příklad nastavené tutoriálové události a přehled možností, na které impulsy by měla událost reagovat.



Obrázek 12 – Příklad nastavené komponenty TutorialEvent



Obrázek 12 – Možnosti nastavení

Postup tutoriálem má tyto kroky:

1. teleport do označené oblasti,
2. přepnutí na seznam vzorců na tabletu,
3. nalezení a vytažení vzorců do scény,
4. označení hrany a dosažení jedné, následně i ostatních potřebných hran,
5. propojení dvou proměnných,
6. přepnutí na úkoly, splnění úkolu,
7. použití vzorce s volitelným číslem,
8. smazání vzorce.

Tutoriál lze přeskočit kdykoli v jeho průběhu teleportováním do druhé označené oblasti s popiskem, že jde o přeskočení tutoriálu.

Úkoly

V aplikaci je momentálně celkem 5 ilustračních úloh rozdělených podle obtížnosti do tří kategorií. Úlohy jsou zadány jen svým textem (nadpis, který se zobrazí na tabletu), očekávaným správným řešením a nepovinně sekundárním textem, který se zobrazí při zamíření na text úkolu. Přidání nových úloh je tedy velmi snadné a je pro ně připraven prefab s potřebnou logikou pro jejich vyhodnocování a označování splněných úloh.

Seznam jednotlivých úloh:

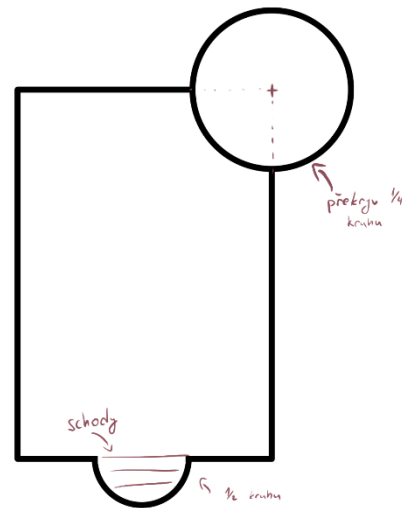
- Tutoriál (podrobněji popsán výše)
 - Objem psí boudy.
(Vzorec pro obsah, vzorec pro objem).
 - Objem dvou psích boud.
(K předchozímu přidán vzorec pro násobení volitelným číslem.)
- Nejnižší obtížnost
 - Počet příček, které je potřeba přidat na žebřík ke stromovému domku.
Je zadán jejich rozestup. Na žebříku dvě příčky zůstaly.
(Vzorec pro podíl dvou proměnných, dosazení z konstanty, rozdíl proměnné a volitelného čísla.)
 - Obsah verandy. Všechny potřebné informace změřitelné ve scéně.
(Dva vzorce pro obsah, vzorec pro součet dvou proměnných.)
- Střední obtížnost
 - Objem menší části bazénu. Všechny potřebné hodnoty změřitelné ve scéně.
(Dva vzorce pro obsah, dva vzorce pro objem a vzorec pro součet dvou proměnných).
 - Počet lidí, kteří se vejdou do stromového domku za předpokladu, že jeden dospělý člověk má nějaký zadaný celočíselný objem.
(Vzorec pro obsah a objem, vzorec pro podíl proměnné a volitelného celého čísla.)
- Vyšší obtížnost
 - Objem celého bazénu. Špatné hospodaření s proměnnými může vést k vyplývání.
(Pět vzorců pro obsah a objem, dva vzorce pro podíl proměnné a volitelného celého čísla, tři vzorce pro součet a jeden pro rozdíl dvou proměnných.)

4.4 Vzhled scény

Všechny interaktivní prvky se nacházejí na nepravidelném travnatém ostrově obklopeném rozsáhlou vodní plochou ohraničenou horami. Kromě terénu ostrova, který je vytvořen za pomoci funkcí Unity editoru, patří mezi modely vytvořené speciálně pro tuto aplikaci bazén. Plní totiž úlohu komplexního 3D objektu, který může být obtížné si představit pouze z popisu nebo nákresu. První návrh bazénu je na Obrázku 12.

Ostatní modely (a s nimi zabalené materiály a textury) jsou z různých balíčků stažených z Unity Asset Store, stejně jako materiál vody a skybox (seznam použitého cizího obsahu přiložen k projektu).

Vizuální styl scény jsem se snažila udržovat na pomezí realistického a zjednodušeného až kresleného vzhledu. Příkladem toho jsou model domu s realistickým vzhledem i texturami, které ale nejsou příliš detailní, materiál vody, který je velmi jednoduchý a vysoce stylizovaný, a skybox a hory, které jsou ve svém zpracování low-poly („low polygon“, vizuální styl napodobující modely s nízkým množstvím plošek a nevyhlazeným stínováním).



Obrázek 13 - Návrh bazénu

Některé prvky uživatelského rozhraní jsou laděné do stylu Windows 10 a WMR. K tomuto účelu jsem do projektu za pomoci doplňku TextMeshPro importovala font Segoe MDL2 Assets. Symboly z něj využívám pro většinu ikon přítomných ve hře (např. popelnice pro mazání vzorce).



Obrázek 14 - Pohled na scénu shora

5 TESTOVÁNÍ

5.1 Testování prototypu ve smyslu uživatelské přívětivosti

V rámci testování uživatelské přívětivosti jsem prototyp aplikace nechala vyzkoušet dva žáky prvního a jednoho žáka čtvrtého ročníku střední odborné školy, všichni studující obor týkající se informačních technologií. Po vysvětlení ovládání dostal každý z nich několik úkolů, které se měl pokusit splnit.

1. Spočítat obsah předního štítu prototypového domu (použití jednoho vzorce, nutná pouze základní interakce)
2. Smazat všechny vyplněné proměnné a teleportovat se k objektu bazénu (použití sekundární interakce a tlačítka pro teleport)
3. Za použití teleportace a otáčení objektů vypočítat objem bazénu nebo podstavu domu (použití více provázaných vzorců, potřeba takticky změnit pozici sebe nebo objektu)

Po skončení testu byl každý tázán, co mu způsobovalo při testování největší potíže a co by mu interakci usnadnilo.

Testování č. 1 s žákyní prvního ročníku

Žákyně měla občasné problémy s vybíráním vrcholů. Velikost je prý ale dobrá, spíše vidí problém s úhlem pohledu. Sama navrhuje, že by jí v jistých situacích pomohl pohled shora. Během testování se párkrát stalo, že jeden z vrcholů označila, ale následně neviděla, co nebo kde. Barva červené oproti oranžové jí přišla málo kontrastní a zvolila by barvu sytější. Hned zezáčátku používání předpokládala, že si označí více hran zároveň a pak je postupně dosadí. Dle jejích slov si na zamýšlený způsob použití ale po prvotní chybě bez problémů zvykla.

Testování č. 2 s žákem prvního ročníku

Problémy nastaly zejména s vrcholy pod zemí. Uživatel čekal, že na vrchol míří správně, když se konec laseru, který se zarazil na úrovni podlahy, překrýval s vrcholem. Vybírání vrcholů označil zároveň za nejhůř zvladatelnou a nejsnáze pochopitelnou mechaniku. Další problémy neměl a úkoly splnil relativně rychle.

Testování č. 3 s žákem čtvrtého ročníku

Neměl žádné problémy s výběrem, velikost vrcholů je dle jeho slov adekvátní. Barva označení je prý dostatečně výrazná, ale představoval by si ji sytější, když je vrchol zacloněn (pod zemí, za dalším objektem). Podle vlastních slov už VR používal a chválil možnost kombinovat teleportaci a otáčení vzhledem k neomezenosti možností pohledu, kterou to nabízí. Navrhoval možnost přesouvat tabuli s úkoly a všechny vzorce zároveň.

Výstup testování

Všichni uživatelé si celkem rychle zvykli na možnost teleportovat se po scéně a hojně ji využívali k usnadnění míření. Nejčastějším problémem byl výběr vrcholů, nikdo by ale jejich velikost zvyšovat nechtěl. Návrhy ze třetího testování týkající se přesouvání vzorců a tabule bylo mým záměrem naimplementovat už v době před testováním. Věřím, že množství problémů s vybíráním zacloněných vrcholů vyřeší odstranění úrovně podlahy, protínající bazén (vrcholy bude možno teleportací blíže vidět nezacloněné). Barvu označených vrcholů pravděpodobně změním na nějakou, která bude s barvou původní ve větším kontrastu.

5.2 Testování finální verze aplikace

Aplikace v této verzi má 3 úrovně obtížnosti a tutoriál. Testování budou mít za úkol projít tutoriálem a s co nejmenším zásahem zvenčí dokončit libovolnou úlohu druhé obtížnosti (úlohy v sekci 4.3). Testování proběhlo se 4 žáky třetího ročníku střední odborné školy.

Testování č. 1

Okamžitě pochopil, jak vybrat dominantní ruku. Teleportoval se blízko k textu tutoriálu, takže se mu obtížně četl. Za polovinou tutoriálu ho přeskočil a šel počítat objem malého bazénu, protože – dle jeho slov – mu v testu z matematiky (5.3) nešla podobná úloha s válci. Pozitivně komentoval, když ve 3D prostoru pohledem odhalil, že bazén špatně odhadl (bazén má dvě úrovně). Líbilo se mu propojování proměnných. Po projití úkolem komentoval, že by se mu aplikace líbila i bez vzdělávacích ambicí jen jako druh „3D kalkulačky“, kam by mohl zadávat vlastní tvary a rozměry. Interakce byla po vysvětlení bezproblémová, příliš se neztotožnil s nahlížením do návodu na ovládání. Bez problému ale používal i oddalování vzorců.

Testování č. 2

Okamžitě pochopil, jak vybrat dominantní ruku. V první polovině tutoriálu narazil na chybu v aplikaci a musel začít od začátku. Tutoriál poté přeskočil a počítal objem stromového domku. Musel mu být dovysvětlen princip volitelných proměnných. Konzultoval návod na ovládání, i když občas nebyl schopen interpretovat, jak se na základě něj zachovat.

Testování č. 3

Jako jediný prošel celý tutoriál. Často a podrobně zkoumal návod k ovládání. Pracoval zcela samostatně a vypočítal oba úkoly druhé obtížnosti. Lze označit za zcela bezproblémový test.

Testování č. 4

Teleportoval se příliš blízko tutoriálovému textu a často ani nevěděl, že se mu na něm zobrazují rady a úkoly. Občas měl potíž vybrat správný vzorec nebo číslo. Tutoriál ukončil těsně před koncem a počítal kapacitu stromového domku. Používal funkci otáčení podstavci pod stanovišti. Chválil příjemné používání. Komentoval, že by se aplikace hodila pro mladší děti, které se látku učí poprvé.

Výstup testování

Všichni testovaní se do určité míry teleportovali nevhodně blízko k tutoriálovému textu, který se jim pak hůře četl. Většina jej ale následovala. Nicméně zdá se, že nikdo nevěnoval pozornost popiskům na začátku aplikace po vybrání primární ruky, a schéma ovládání jsem jim musela ukázat nebo jej našli sami spíše náhodně. Menší problémy způsobovaly interakce touchpadem, všichni jej ale nakonec zvládli používat. Kromě výše zmíněného a chyby, která se objevila během testování 2, se ale aplikace zdá být bez větších problémů, zejména bavíme-li se o její hlavní náplň, tedy nezahrnující tutoriál.

Všichni testovaní měli nějakou úroveň předchozí zkušenosti s virtuální realitou. Po zjištění z tohoto testování byla označená oblast pro teleport během tutoriálu posunuta dále od průvodního textu. Byly provedeny změny v kódu, které by měly zabránit výskytu chyby, na kterou jsme narazili během testování č. 2. Chybu se ale nepodařilo replikovat. Také byl upraven způsob, jakým se zobrazuje výběr obtížností tak, aby na něj šlo snáze zaměřit.

5.3 Test zlepšení matematických dovedností

Způsob testování

K otestování, zdali tato aplikace pomohla ke zlepšení matematických dovedností, jsem sestavila test s pěti úlohami. Všechny tematicky příbuzné úlohám v aplikaci. Úlohy jsem vybrala z maturitních didaktických a ilustračních testů z matematiky z let 2013-2019, které jsou volně dostupné na stránkách Nová maturita. [21] Test bude uživatelům předložen bez možnosti nahlížení do matematických tabulek, aby mohl být otestován – vedle schopnosti úlohy řešit – i efekt na zapamatování vzorců. Celý test je k vidění v příloze 2. K testu byla možnost použití kalkulačky. Čas na vyplnění přibližně 10-13 minut. Tento limit jsem považovala za dostatečný vzhledem k počtu úloh, jejich náročnosti a faktu, že všechny až na jeden jsou výběrem z několika možností.

Testování proběhlo se stejnými uživateli jako test uživatelské přívětivosti finální verze. Matematický test byl každému předložen dvakrát – nejprve před projitím virtuální realitou a po něm. Cílem tedy je zjistit, jestli řešení příbuzných úloh ve virtuální realitě zlepší jejich schopnost vyřešit identický test.

Zhodnocení průběhu a výstupů testování

Časové omezení 10 minut bylo nastaveno jako sekundární překážka pro testované žáky i vzhledem k tomu, že test uvidí ještě jednou a přinesou si s sebou své poznatky z předchozího počítání. Tento limit byl ale možná příliš nízký, pravděpodobně z důvodu špatného odhadnutí náročnosti úloh pro žáka střední školy. Výsledky testování byly totiž spíše horší, a to i z pohledu počtu vyplněných odpovědí. Dá se předpokládat, že s dostatkem času by žáci více úloh takřikajíc vymysleli.

Jeden z žáků si při testování v porovnání obou výsledků testu z matematiky pohoršil, a to z jednoho správného výsledku na žádný. Jednu úlohu ponechal v obou případech nevyplněnou a svoji odpověď změnil ve dvou případech – v jednom případě ze špatné odpovědi na jinou špatnou a v druhém ze správné na špatnou. Na papír nevypsal žádné výpočty k posouzení, jestli šlo jen o tip. Pravděpodobně prováděl všechny výpočty na kalkulačce. Tento výsledek je pozoruhodný, vzhledem k tomu, že si vedl ze všech nejlépe při průchodu aplikace ve virtuální realitě.

Jeden žák, který v prvním testování vyřešil polovinu úloh správně a jednu nespočetl, se při druhém testování zasekl na počítání úlohy, kterou předtím neměl, a své ostatní odpovědi nezměnil. Tuto úlohu ale stejně nebyl schopen spočítat.

Další z žáků v prvním testování vypočetl pouze jeden úkol, jeho odpověď ale byla správná. V druhém testu odevzdal stejnou odpověď na úkol z prvního testu a jednu další, která ale správná nebyla.

Poslední testovaný měl v prvním testu správně jednu odpověď a tři nevyplněné. Při druhém pokusu nezodpověděl dvě a polepšil si na 3 správně odpovědi. V úloze, kterou měl předtím správně, ale selhal v převodu jednotek (téma nesouvisející s aplikací). Můžeme tedy ale předpokládat, že jeho správná odpověď při prvním pokusu mohla být pouze odhadnutá.

Ve výsledku si tedy jeden žák polepšil, dva dosáhli pokaždé stejného výsledku a jeden svůj výsledek zhoršil. Směrodatnost tohoto výsledku je ale pochybná vzhledem k problémům, kterými testování trpělo. Nicméně výstup, který stojí za pozornost, je i skutečnost, že porovnatelné úkoly žáci mnohem raději (a z určitého pohledu i úspěšněji) řešili ve virtuální realitě.

6 ZÁVĚR

Aplikace je aktuálně v dobře použitelném stavu. Za obzvláště povedený považuji zejména interakční systém, který funguje spolehlivě a s nepříliš úpravami navíc by mohl fungovat nezávisle na SteamVR. V budoucnu bych se ráda zaměřila na kontrolu a zlepšení jednotnosti tohoto systému a zlepšení přehlednosti úpravou pojmenovávání. Několik menších změn by také pomohlo větší univerzálnosti pro případ, že by bylo jádro interakčního systému použito i v jiném projektu.

Poměrně hodně práce jsem vložila do tvorby tutoriálu pro moji aplikaci. Považuji jej za její důležitou část a domnívám se, že VR aplikace, které nejsou vysvětleny uživateli zevnitř jeho virtuálního zážitku se do jisté míry diskreditují ve smyslu imerse, kterou má virtuální realita především vytvářet. Vysvětlování interakcí uvnitř virtuální reality z vnějšku je též často velmi komplikované, nejen z důvodu, že uživatel nemá vizuální kontakt s vysvětlujícím. Myslím si, že špatná první zkušenost s pochopením a imersí virtuální reality má velký potenciál znehodnotit VR jako médium zejména v očích first-time uživatelů. Tam se mohou řadit mimo jiné i učitelé, kteří zvažují, zdali je VR něco, čím by se mohli chtít zabývat.

Spektrum úloh ve finální verzi aplikace není příliš rozmanité. Myslím ale, že se podařilo obsáhnout esenci několika hlavních konceptů, které jsem chtěla, aby úlohy následovaly. Těmi jsou mimo jiné úlohy zadané ne pouze sdělením, jakou vlastnost, jakého objektu má uživatel vypočítat, ale obsáhnout i nějakou motivaci; úlohy, které – byť jednoduše – nutí uživatel myslet i trochu v kontextu prostředí a ne pouze „vzorečkově.“ Úlohy nicméně považuji pouze za ilustrační a vhodné k nahrazení buďto didakticky funkčnějšími, ideálně tedy pedagogem, nebo naopak zábavnějšími, vedl-li by směr této aplikace spíše k edutainmentu.

Vzhled scény považuji za vcelku povedený a vhodný pro tento druh využití. Je ale několik oblastí, na které bych se v budoucnu chtěla zaměřit. Za prvé je to vzhled uživatelského rozhraní, které může působit poněkud přesyceně, zejména během tutoriálové sekvence. Za druhé lepší vizualizace informací o různých hodnotách pro uživatele. Aktuálně se může stát (zejména na stanovišti bazénu), že délky jednotlivých hran jsou špatně viditelné, vzhledem k jejich nevhodnému umístění relativně ke geometrii. Nakonec jsem se ale rozhodla obětovat tuto informaci ve snaze zamezit potenciální nepřehlednosti scény v případě, že by hodnoty byly viditelné vždy a někdy i v nechtěných situacích (např. skrz geometrii). Toto upřednostnění jsem učinila i z důvodu, že samotné hodnoty hran jsou pro uživatele ve skutečnosti bezcenné a existují pouze, aby měl uživatel pocit substance; že nepočítá se zcela abstraktními proměnnými.

Za nešťastnou považuji absenci úloh, které by byly doprovázeny vizuální reprezentací toho, že je uživatel spočítal – ať už správně či nikoli. Některé úlohy a stanoviště jsou na implementaci některých úloh částečně připraveny (například úloha s žebříkem, kde jsem model domku upravila tak, aby žebřík i jeho příčky existovaly zvlášť a šlo s nimi manipulovat). Nakonec jsem se ale rozhodla zaměřit se na jiné oblasti aplikace, vzhledem k tomu, že systém

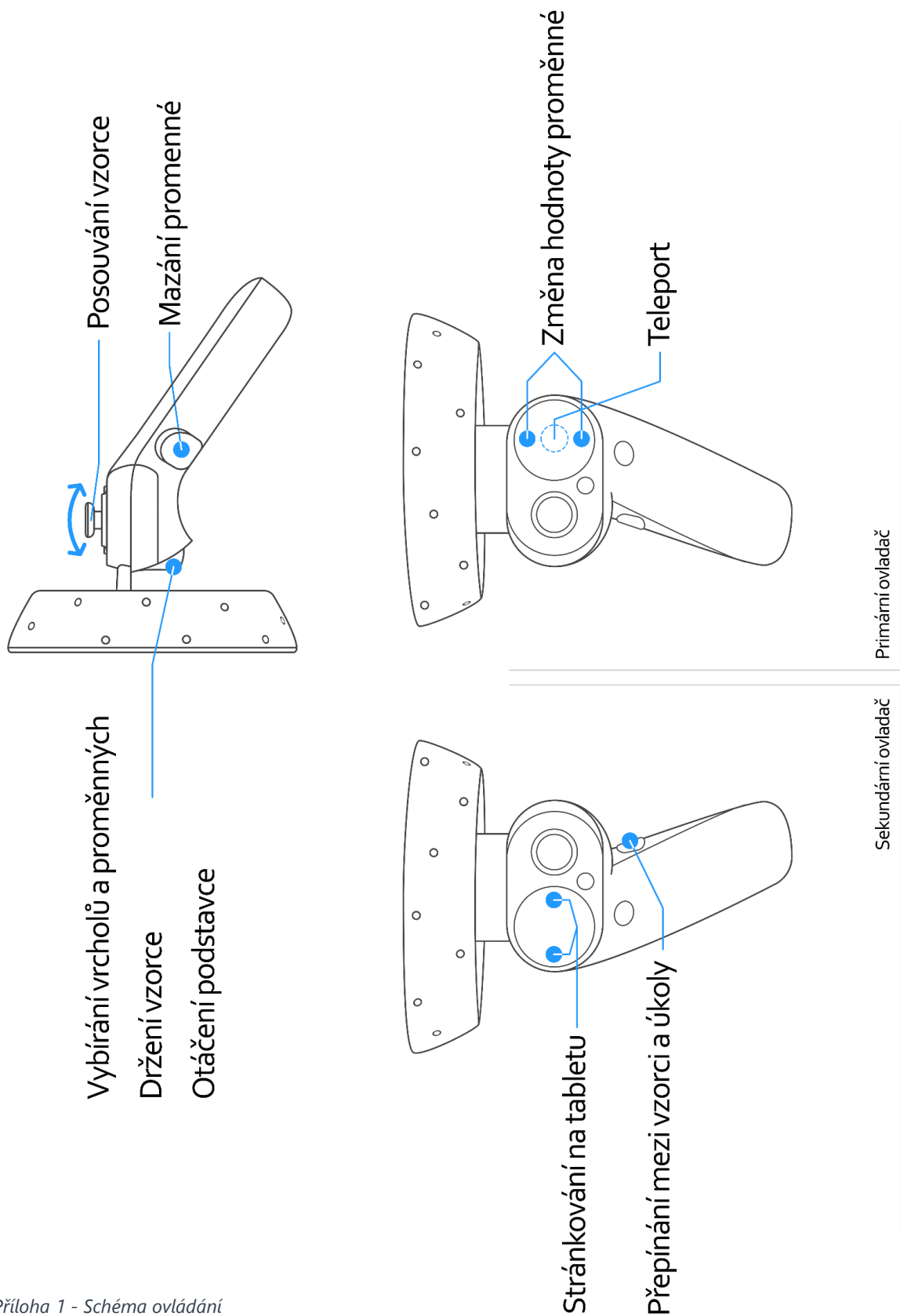
vizualizace výsledků tímto způsobem (tj. v případě se žebříkem zobrazení pouze tolika příček, kolik by uživatel spočetl, případně jejich přebytek s komentářem, že jich je moc) by vyžadoval velké množství práce na jednotlivých úlohách. Nejen jejich logika ale též příprava 3D modelů apod. Místo toho jsem se tedy rozhodla zaměřit na více obecné a více universálně použitelné komponenty pro moji aplikaci, jako například stavební bloky herních událostí.

Díky postavení nad některými skripty ze SteamVR by měla být aplikace spustitelná i na jiných zařízeních podporujících tuto platformu. Ovládání a vizuální vzhled aplikace je ale přizpůsoben použití na Windows Mixed Reality. Nicméně zprovoznění na ostatních headsetech by měla být záležitost pouze úpravy ovládání skrz SteamVR rozhraní. Toto ale není otestováno. Zároveň platí, že Windows Mixed Reality headsety jsou lepší možností pro případné použití ve školním prostředí.

7 REFERENCE

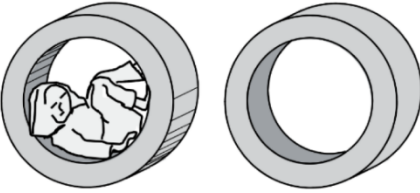
- (1) Žára, J., a další. *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer Press, 2004. 80-251-0454-0.
- (2) *Leap Motion*. [Online] <https://www.leapmotion.com/>.
- (3) Gear VR | Samsung CZ. *Web Samsung Česká republika*. [Online] <https://www.samsung.com/cz/wearables/gear-vr-r325nzvc/SM-R325NZVCXEZ/#specs>.
- (4) Google Cardboard - Official VR Headset. *Google Store*. [Online] https://store.google.com/us/product/google_cardboard.
- (5) Wang, J., a další. *Tracking a Head-Mounted Display in a Room-Sized Environment With Head-Mounted Cameras*. Proceedings of SPIE. Říjen 1990, stránky 45-57.
- (6) What's new in the Windows 10 Fall Creators Update. *Windows Blogs*. [Online] <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2017/10/17/whats-new-windows-10-fall-creators-update/>.
- (7) *VRTK - Virtual Reality Toolkit*. [Online] <https://www.vrta.io/>.
- (8) What is the Mixed Reality Toolkit. *Mixed Reality Toolkit Documentation*. [Online] <https://microsoft.github.io/MixedRealityToolkit-Unity/README.html>.
- (9) *Windows Mixed Reality for SteamVR on Steam*. [Online] https://store.steampowered.com/app/719950/Windows_Mixed_Reality_for_SteamVR/.
- (10) *SteamVR*. [Online] <http://steamvr.com>.
- (11) Mikulčák, J., a další. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: Prometheus, 1988. 978-80-7196-345-5
- (12) Moodle - Open-source learning platform. [Online] <https://moodle.org/>.
- (13) Moodle plugins directory: Wavefront renderer. [Online] https://moodle.org/plugins/mod_wavefront.
- (14) Jerald, Jason. *The VR Book*. San Rafael: Morgan & Claypool, 2016. 978-1-97000-112-9.
- (15) Kelly, Rhea. Research: People Remember Information Better Through VR -- The Journal. *The Journal*. [Online] [Citace: 1. 5 2019.] <https://thejournal.com/articles/2018/06/14/study-people-remember-information-better-through-vr.aspx>.
- (16) de Lange, R., Maarten, L. a van der Meer, N. *Virtual Reality & Augmented Reality in primary*. Leiden: Universiteit Leiden, 2017.
- (17) VARP EDU. *VARP EDU - VR Math*. [Online] <http://varpedu.com/#vrmath>.

- (18) PaleBlue XYZ - Number Hunt. *PaleBlue XYZ*. [Online] <https://www.paleblue.xyz/number-hunt>.
- (19) Lucerna. *Web Lucerna Studios*. [Online] <https://www.lucernastudios.com/>.
- (20) Nanome. *Nanome | CalcFlow*. [Online] <https://nanome.ai/calcflow/>.
- (21) Cermat. Testy a zadání | Oficiální stránky maturitní zkoušky. [Online] <https://www.novamaturita.cz/testy-a-zadani-1404035305.html>.



VÝCHOZÍ TEXT A OBRÁZEK K ÚLOZE 24

Cvičební pomůcka z šedé tvrdé pěny je rotační těleso, které lze popsat jako dutý válec. Dutý válec má výšku 70 cm, vnější průměr 180 cm a vnitřní průměr (tj. průměr dutiny) 120 cm.



(CZVV)

2 body

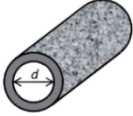
24 Jaký je povrch tělesa (včetně plochy uvnitř dutiny)?

Výsledek je zaokrouhlen na desetiny m².

- A) 4,1 m²
- B) 6,8 m²
- C) 7,2 m²
- D) 9,4 m²
- E) 11,6 m²

VÝCHOZÍ TEXT A OBRÁZEK K ÚLOZE 20

Podél travnatého hřiště je natažena zahradní hadice. V libovolné části hadice řez vedený kolmo k ose hadice vytvoří mezikruží s vnitřním průměrem $d = 26,3$ mm. (Deformaci hadice neuvažujeme.)



(CZVV)

2 body

20 Jaké největší množství vody může obsahovat natažená hadice délky 50 m?

Výsledek v litrech je zaokrouhlen na celé číslo.

- A) 11 litrů
- B) 27 litrů
- C) 86 litrů
- D) 272 litrů
- E) jiné množství vody

VÝCHOZÍ TEXT A OBRÁZEK K ÚLOZE 17

Obrazec je ohraničen třemi půlkružnicemi. Společné krajní body půlkružnic tvoří vrcholy rovnoarmenného trojúhelníku se základnou délky 12 cm. Obsah tohoto trojúhelníku je 48 cm².



(CZVV)

2 body

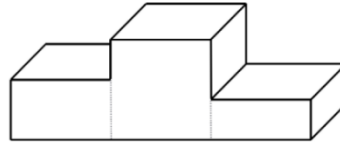
17 Jaký je obvod obrazce ohraničeného třemi půlkružnicemi?

Výsledek je zaokrouhlen na celé cm.

- A) menší než 35 cm
- B) 36 cm
- C) 39 cm
- D) 50 cm
- E) větší než 51 cm

VÝCHOZÍ TEXT A OBRÁZEK K ÚLOZE 9

Stupně vítězů představují těleso, které vzniklo připojením dvou kvádrů ke krychli. Stěna krychle má obsah 25 dm². Pokud by se oba postranní kvádry postavily na sebe, vytvořily by stejnou krychli, jako je ta mezi nimi.



(CZVV)

max. 2 body

9

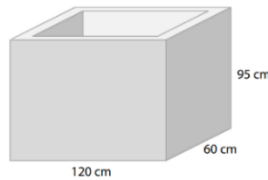
9.1 Vypočítejte v dm³ objem tělesa (stupňů vítězů).

9.2 Čtvercová lepicí fólie má stejný obsah jako jedna stěna krychle. Lepicími fóliemi se má pokrýt celé těleso (stupně vítězů) s výjimkou stěny ležící na zemi. Fólie je možné stříhat.

Určete minimální počet lepicích fólií potřebných k pokrytí.

VÝCHOZÍ TEXT A OBRÁZEK K ÚLOZE 19

Kád' tvaru kvádra je vodou naplněna po okraj. Vnější rozměry kádě jsou 95 cm, 120 cm a 60 cm. Tloušťka všech stěn i dna je 5 cm.



(CERMAT)

2 body

19 Kolik litrů vody se vešlo do kádě?

- A) méně než 57 litrů
- B) 467,5 litrů
- C) 495 litrů
- D) 4 675 litrů
- E) 56 925 litrů