

=

AR aplikace pro přípravu a náhled virtuální scény

Rozšířené realitní aplikace pro přípravu AR výstavy s možností náhledu této virtuální scény více uživateli současně

Dokumentace

ID: ASW-13210-2022-02

Vyvinuto v rámci projektu:

**Prezentace a ochrana 3D digitálních objektů v muzejních sbírkách**

Program na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje  
Národní a Kulturní Identity 2020

ID Projektu: **DG20P0OVV027**

# **Obsah**

<b>1</b>	<b>Obecný popis</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Základní charakteristika</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Funkce aplikace</b>	<b>4</b>
3.1	Scénáře užití . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Použité nástroje a technologie</b>	<b>8</b>
4.1	Prezentační zařízení . . . . .	8
4.2	Unity . . . . .	9
4.3	Firebase . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Režimy aplikace</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Tvorba SLAM modelu</b>	<b>10</b>
6.1	Immersal Mapper . . . . .	10
6.2	Pravidla pro vytváření SLAM modelů . . . . .	12
6.3	Portál vývojáře . . . . .	14
<b>7</b>	<b>Tvorba nového obsahu</b>	<b>15</b>
7.1	Tvorba obsahu v aplikaci . . . . .	15
7.2	Tvorba obsahu v databázi . . . . .	17
<b>8</b>	<b>Úprava existujícího obsahu</b>	<b>18</b>
8.1	Načtení obsahu . . . . .	18
8.2	Lokalizace zařízení . . . . .	18
8.3	Přidávání objektů . . . . .	19
8.4	Interakce s objekty . . . . .	20
8.5	Portály . . . . .	22
<b>9</b>	<b>Prohlížení obsahu</b>	<b>22</b>
<b>10</b>	<b>Kopírování obsahu</b>	<b>24</b>
<b>11</b>	<b>Uživatelské rozhraní</b>	<b>25</b>
<b>12</b>	<b>Testování</b>	<b>26</b>
<b>13</b>	<b>Literatura</b>	<b>28</b>

# 1 Obecný popis

Rozšířená realita (AR) umožnuje zobrazení virtuálního obsahu (3D modely, videa, obrázky,...) v reálném prostředí, např. pomocí mobilního zařízení, projektorů, a dalších.. Pozorovatel tento virtuální obsah vidí pomocí daného zařízení umístěný na konkrétním místě, může jej obcházet, prohlížet si jej z více směrů a někdy s ním i interagovat. V rámci této práce se soustředíme na zobrazení AR obsahu pomocí průhledových brýlí pro rozšířenou realitu a mobilních zařízení (mobil, tablet) na platformě Android. Vytvořili jsme nástroj pro přípravu těchto scén přímo na místě (tj. v místnosti s expozicí), kdy více uživatelů se může podílet na přípravě a současném prohlížení virtuální scény. Použití demonstrujeme současným využitím AR brýlí pro rozmístění virtuálních objektů po místnosti a pomocí AR mobilního telefonu dochází k verifikaci umístění. Testování aplikace probíhalo v Národním Muzeu za plného provozu.

Aplikace je řešena jako nativní aplikace pro mobilní zařízení na platformě Android. Pro vývoj bylo použito prostředí Unity, skripty jsou implementovány v jazyce C#. Aplikace musí být připojena k internetu (kvůli synchronizaci scény). Využívá knihovny Immersal pro tvorbu virtuálních map prostředí, ARcore pro podporu rozšířené reality a Google Firebase pro synchronizaci stavu scén přes zařízení. Aplikace obsahuje jak nástroje pro správu AR scén, tak i pro jejich prohlížení. Vytváření map prostředí se řeší přes standardní aplikaci knihovny Immersal, která je volně dostupná pro mobilní platformy (Android i iOS).

Tato dokumentace je upravený text diplomové práce Dominika Truonga, který provedl hlavní implementační práce.

# 2 Základní charakteristika

Základní vlastnosti aplikace a funkční požadavky jsou uvedeny v následujících bodech.

- **P1** - Aplikace bude umožňovat vytváření SLAM modelů (map) místností.
- **P2** - Bude možné vytvářet více map pro jednu místnost, například v závislosti na uspořádání interiéru. Dále je požadavkem, aby vlastnosti virtuálních objektů (poloha, orientace, velikost) zůstala ve všech těchto mapách stejná.
- **P3** - Pro jednu mapu bude možné vytvořit více různých virtuálních obsahů.
- **P4** - Vytvořené mapy si bude možné stáhnout do zařízení a vkládat do nich virtuální objekty, které se budou zobrazovat perzistentně.
- **P5** - Vytvořené mapy si bude možné stáhnout a načítat pomocí QR kódu.
- **P6** - Bude implementována správa virtuálního obsahu. Ke každé vytvořené mapě se budou ukládat informace o umístěních virtuálních objektech (tzv.

metadata), tedy typicky jejich typ, poloha, orientace či velikost. Vlastnosti virtuálních objektů bude možné upravovat, popřípadě bude možné objekty smazat.

- **P7** - Virtuální objekty a informace o nich budou uloženy na serveru, aby bylo možné je sdílet mezi více uživateli. Tato data se budou stahovat před načtením mapy.
- **P8** - Pokud si uživatel načte více map najednou, bude se mu zobrazovat pouze virtuální obsah mapy, v níž se právě nachází. Konkrétním příkladem použití je přechod mezi místnostmi, kdy je žádoucí, aby se uživateli zobrazil virtuální obsah místnosti, do které vchází a naopak skryl obsah místnosti, z níž vychází.
- **P9** - Mapy a jejich virtuální obsahy bude možné sdílet mezi různými zařízeními. Více uživatelů si tak bude moci prohlížet stejnou mapu se všemi virtuálními objekty na různých zařízeních. Pokud jeden z uživatelů upraví virtuální obsah, pak se tyto změny provedou i na zařízeních ostatních uživatelů.
- **P10** - Virtuální objekty v dané mapě bude moci upravovat vždy jen jeden uživatel.
- **P11** - Bude dostupná česká a anglická jazyková lokalizace aplikace.
- **P12** - Aplikace bude kompatibilní s brýlemi Nreal a vybranými mobilními zařízeními či tablety s operačním systémem Android.
- **P13** - Aplikaci bude moci používat laická obsluha, typicky správci expozic, u kterých se nepředpokládá znalost technologií rozšířené reality.

### 3 Funkce aplikace

Funkci aplikace je možné rozdělit do pěti částí: tvorby SLAM modelů, načtení vytvořených modelů a lokalizaci, úpravu virtuálního obsahu, sdílení vytvořených modelů a kopírování virtuálního obsahu.

#### Tvorba SLAM modelů

Dle provedené rešerše jsme jako základ pro AR podporu aplikace vybrali knihovnu Immersal [3], především díky alespoň částečné kompatibilitě s brýlemi Nreal. Immersal vytváří mapy prostředí pro zarovnání AR ze série fotek, viz sekce 6. V této části aplikace tedy bude muset uživatel vytvořit dostatečné množství snímků dané místnosti tak, aby snímky pokrývaly místnost ze všech úhlů. Následně budou snímky zpracovány cloudovou službou, která vytvoří mapu. Celý proces bude vyžadovat stálé internetové připojení. Při úspěšném vytvoření mapy bude možné si ji prohlédnout v portálu vývojáře po přihlášení do stejného účtu, pod kterým se uživatel přihlásil do aplikace v zařízení. Jelikož vytváření map nebude možné provádět pomocí brýlí Nreal (mapovací aplikace se pro brýle nedá přeložit a brýle nemají vhodnou kameru

pro tvorbu těchto map), bude tato část implementována pouze pro mobilní zařízení či tablety.

### **Načtení vytvořených modelů a lokalizace**

V této části bude možné si stáhnout všechny mapy, které byly vytvořeny pod daným uživatelským účtem. Uživatel si bude moci v daném okamžiku zobrazit pouze jednu mapu, aby bylo jednoznačné, do které mapy se budou vkládat virtuální objekty v následující části. Pokud se v mapě již budou nacházet virtuální objekty, pak budou tyto objekty společně se svými metadaty staženy do zařízení. Po načtení mapy dojde k lokalizaci zařízení a zobrazení mapy a všech jejích virtuálních objektů na správném místě ve fyzickém prostředí. Pro stažení mapy bude nutné stálé internetové připojení.

### **Úprava virtuálního obsahu**

Po načtení mapy a lokalizaci bude možné do mapy přidávat virtuální objekty. Uživatel si bude moci vybrat ze seznamu objektů dostupných na serveru. Dále bude moci objektům měnit jejich polohu, orientaci a velikost. Informace o objektech budou uloženy na serveru tak, aby bylo možné si je stáhnout do libovolného zařízení, například pro sdílení map s více uživateli. Aby se předešlo potenciálním kolizím při úpravě mapy více uživateli najednou, bude mapu v jednu chvíli moci upravovat pouze jeden uživatel. Prvnímu uživateli, který začne v dané mapě provádět úpravy, se mapa uzamkne a ostatní uživatelé nebudou moci obsah této mapy měnit.

### **Sdílení SLAM modelů**

Vytvořené mapy s virtuálními objekty si budou uživatelé moci sdílet mezi sebou. Uživatelé si budou moci načítat i více map zároveň, a pokud budou v těchto mapách definovány přechody mezi mapami v podobě tzv. portálů, bude se uživateli načítat pouze virtuální obsah mapy, ve které se právě nachází a přepínat se při průchodu těmito portály. Informace o virtuálním obsahu se bude pravidelně aktualizovat, bude tedy například možné vidět změny, které právě provádí jiný uživatel.

### **Kopírování virtuálního obsahu**

V případě, že dojde ke změnám fyzických prostor a nebude již možné provést přesnou lokalizaci, bude možné překopírovat virtuální obsah ze staré mapy do nové. Uživatel si vytvoří novou mapu místo a do ní přenese virtuální obsah z mapy staré. Tím se vytvoří nový obsah, který se bude správně načítat a zobrazovat v rámci nově vytvořené mapy.

### **3.1 Scénáře užití**

Scénáře užití umožňují si lépe představit použití aplikace, které nás motivovalo k výše popsané funkctionalitě.

#### **Scénář 1 - Vytvoření nového virtuálního obsahu**

Karel dostal za úkol připravit novou expozici týkající se dinosaurů. Jelikož je Karel pečlivý, začal s přípravami s velkým předstihem. Některé exponáty se však po cestě zdržely a nebylo jasné, za jak dlouho dorazí. Karel se proto rozhodl si chybějící exponáty zobrazit alespoň virtuálně, aby měl představu, jak výsledná expozice bude vypadat. Pomocí aplikace v mobilu si nejprve celou místoňost nafotil. Tím si vytvořil mapu, do níž následně vložil virtuální modely chybějících exponátů.

#### **Scénář 2 - Úprava virtuálního obsahu**

Před zahájením expozice o dinosaurech bylo při kontrole zjištěno, že jeden z exponátů byl při přepravě poškozen a musí se ihned poslat zpět původnímu majiteli. Nyní se místo něj musí najít jiný exponát, který by ho nahradil. Karel využil faktu, že si pro tuto expozici již vytvořil mapu místoňosti a začal si do ní zkoušet přidávat nové virtuální exponáty, které by mohly nahradit ten původní.

#### **Scénář 3 - Sdílení virtuálního obsahu**

V rámci nové expozice týkající se vesmíru dostal Karel za úkol rozmístit po místoňosti planety Sluneční soustavy. Aby si práci usnadnil, rozhodl se si planety umístit nejprve virtuálně. Po dlouhém prototypování expozice se však nemohl rozhodnout na konečném rozmístění planet. Požádal proto svého kolegu Michala o jeho názor. Michal se proto připojil ke Karlovi do jeho virtuální expozice, prošel si všechny varianty rozmístění ze všech úhlů a tu nejlepší Karlovi doporučil.

#### **Scénář 4 - Kopírování virtuálního obsahu**

Po třech letech se do muzea opět vrátila expozice o vesmíru. I když se některé části expozice změnily k nepoznání, část týkající se Sluneční soustavy měla zůstat stejná. Protože však došlo k rekonstrukci místoňosti, kde se tato část původně nacházela, chtěl si Karel být jistý, že původní umístění planet bude vhodné i pro zrekonstruovanou místoňost. Kvůli rekonstrukci však nemohl využít starou mapu s virtuálními planetami. Aby ale nemusel planety umisťovat znova v nové mapě, rozhodl se je jen překopírovat z té staré, čímž si ušetřil spoustu času.

### **Hierarchické diagramy**

Pro demonstraci jsou zde ukázány hierarchické diagramy dvou úkolů: vytvoření nového virtuálního obsahu (obrázek 1) a úpravy virtuálního obsahu (obrázek 2). Hierarchická analýza úkolů (angl. hierarchical task analysis, HTA) je jednou z technik analýzy úkolů jejíž metodologie je založená na teorii lidského výkonu.

### Diagram 1 - Vytvoření nového virtuálního obsahu

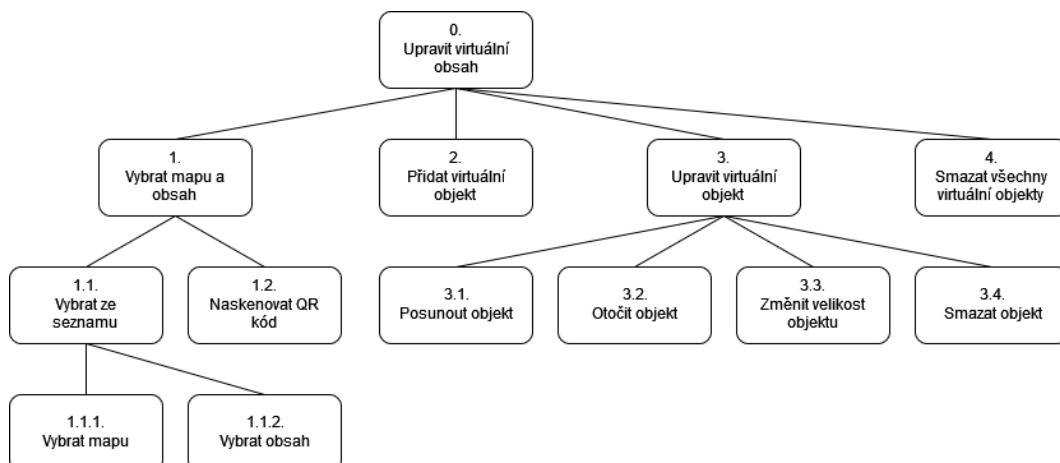


Obrázek 1: Hierarchický diagram pro vytvoření nového virtuálního obsahu

Plán 0.: Proved' 1., poté 2., poté volitelně 3., poté 4., poté skonči

Plán 2.: Proved' buď 2.1., anebo 2.2., poté skonči

### Diagram 2 - Úprava virtuálního obsahu



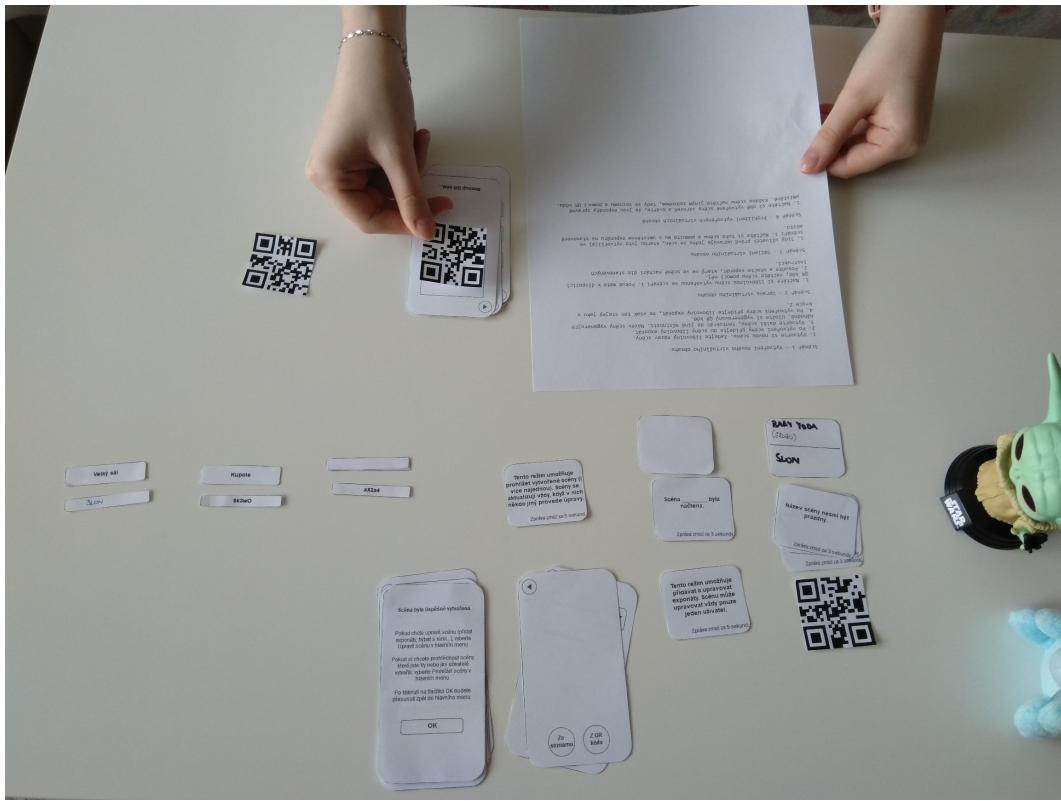
Obrázek 2: Hierarchický diagram pro úpravu virtuálního obsahu

Plán 0.: Proved' 1., poté volitelně 2., poté volitelně 3. (pokud existují virtuální objekty), poté volitelně 4., poté libovolně opakuj 2., 3., 4., poté skonči

Plán 1.: Proved' buď 1.1., anebo 1.2., poté skonči

Plán 1.1.: Proved' 1.1.1., poté 1.1.2., poté skonči

Plán 3.: Proved' volitelně 3.1. nebo volitelně 3.2. nebo volitelně 3.3. nebo volitelně 3.4., poté libovolně opakuj 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., poté skonči



Obrázek 3: Ukázka návrhu UI aplikace a jeho testování na tzv. Lo-fi prototypu

## 4 Použité nástroje a technologie

### 4.1 Prezentační zařízení

Naše aplikace podporuje zařízení se systémem Android pro zobrazování rozšířené realitního obsahu, včetně AR brýlí. Jediným omezením verze systému je podpora rozhraní ARcore<sup>1</sup>.

Aplikaci jsme testovali s brýlemi pro rozšířenou realitu **Nreal Light**. Svou podobou a lehčím zpracováním než konkurenční zařízení, jako jsou například Microsoft HoloLens 2 nebo Magic Leap One, připomínají spíše těžší sluneční brýle (viz obrázek 4). Váží totiž 106 gramů, zatímco HoloLens 2 váží 566 gramů a Magic Leap One 316 gramů [1]. Oproti svým konkurentům jsou s cenovkou 599 dolarů také několikanásobně levnější. Nižší cena je záměrná, výrobci se s její pomocí snaží dostat technologie rozšířené reality do povědomí širší veřejnosti. Nreal Light disponují dvěma displeji o rozlišení 1920x1080 se zorným polem 52 úhlů a obnovovací frekvencí 60 Hz [1]. Napájeny a ovládány jsou pomocí mobilního zařízení<sup>2</sup>, ke kterému se připojují pomocí USB-C kabelu. Mobilní zařízení posléze funguje jako laserové ukazovátko, kterým lze interagovat s virtuálními prvky na displeji. Pro správné sledování pohybu slouží

<sup>1</sup>Zařízení podporující ARcore <https://developers.google.com/ar/devices>

<sup>2</sup>Podporovaná zařízení pro připojení brýlí Nreal <https://www.nreal.ai/compatibility-list/>

2 zabudované kamery umožňující až 6 stupňů volnosti. Nreal Light tedy využívají sledování pohybu metodou inside-out (zevnitř ven), kdy se snímače, jako například kamery, nachází přímo na zařízení a ke sledování pohybu a lokalizaci dochází snímáním okolního prostředí a detekcí referenčních bodů v něm [7].



Obrázek 4: Brýle Nreal Light<sup>3</sup>

## 4.2 Unity

Unity je multiplatformní herní engine vyvíjený společností Unity Technologies od roku 2005. V kontextu tohoto projektu je důležitá aktivní podpora vývoje virtuálně realitních (VR) a rozšířeně realitních (AR) aplikací. Do Unity je možné přidat balíčky umožňující vývoj těchto aplikací kompatibilních s většinou současných zařízení, včetně například brýlí Nreal Light. Pro vývoj tohoto projektu bylo využita verze Unity 2019.4.30f1.

## 4.3 Firebase

Firebase je platforma vyvíjená společností Google obsahující velkou škálu nástrojů a služeb usnadňující vývoj aplikací. Mezi tyto nástroje a služby patří například autentifikace, databáze, analytika nebo měření výkonu. Jedná se tedy především o backendové cloudové služby. Z tohoto důvodu je Firebase také někdy označován jako Backend-as-a-Service (backend jako služba) [5]. Umožňuje tedy vývojářům zaměřit se na frontendovou stránku svých aplikací, tedy typicky logiku na straně klienta a uživatelské rozhraní. Komunikace mezi klientskou aplikací a Firebase probíhá prostřednictvím aplikáčního rozhraní, které Firebase poskytuje. Firebase je zaměřen především na mobilní platformy a webové aplikace, v kontextu tohoto projektu je důležitá především podpora pro engine Unity [8].

---

<sup>3</sup>Převzato z <https://vr-expert.com/nreal-light-now-available-in-spain/>.

## 5 Režimy aplikace

Aplikace je rozdělená do čtyř režimů - tvorby nového obsahu, úpravy existujícího obsahu, prohlížení obsahu a kopírování obsahu. Tvorba SLAM modelů není součástí výsledné aplikace. SLAM modely se vytváří pomocí aplikace Immersal Mapper (viz sekce 6.1). V následujících bodech budou jednotlivé režimy stručně popsány, detailnější popis bude obsažen v následujících sekcích.

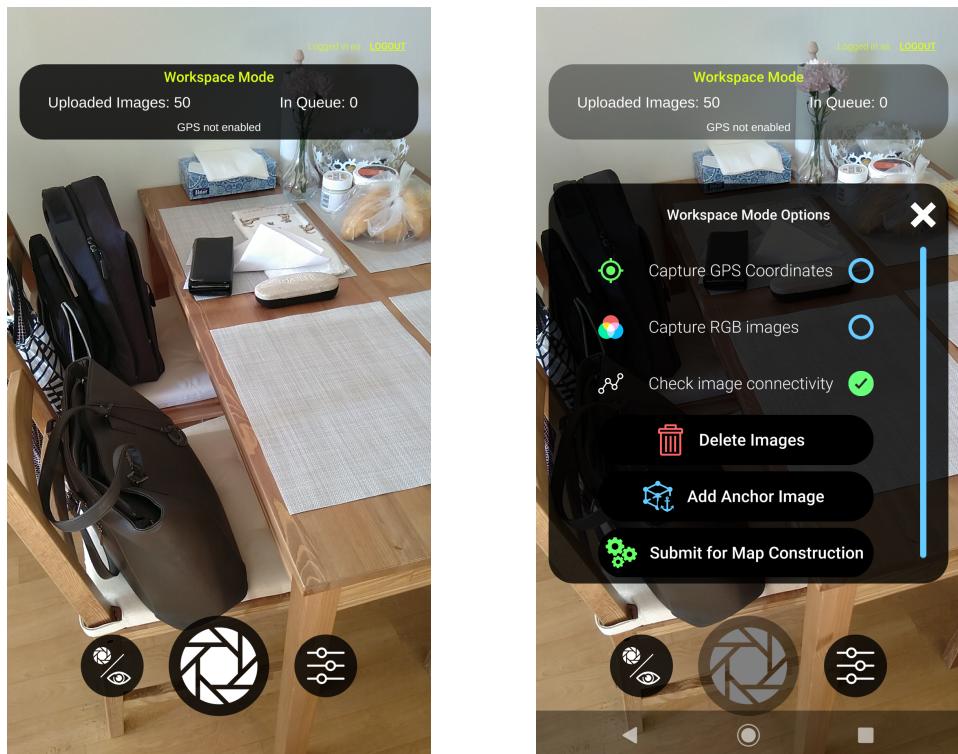
- **Tvorba nového obsahu** - sekce 6 a 7 - Tento režim umožňuje tvorbu nového virtuálního obsahu. Aby uživatel mohl vytvořit nový obsah, musí nejprve vytvořit SLAM model místnosti, do níž chce obsah umístit. Virtuální obsah je možné pojmenovat, případně i vygenerovat QR kód, kterým ho lze posléze jednoduše načíst pro případné úpravy či prohlížení.
- **Úprava existujícího obsahu** - sekce 8 - V tomto režimu může uživatel provádět úpravy vytvořeného obsahu. V rámci úprav může uživatel přidávat a odebírat virtuální objekty, případně měnit jejich vlastnosti (polohu, orientaci a velikost). Veškerá metadata týkající se virtuálního obsahu jsou ukládána na server. S každou úpravou obsahu se nová metadata odešlou na server, aby byla aktuální i pro další uživatele, kteří si daný obsah právě prohlíží. V jednu chvíli může daný virtuální obsah upravovat pouze jeden uživatel.
- **Prohlížení obsahu** - sekce 9 - V tomto režimu si může uživatel prohlížet veškeré vytvořené virtuální obsahy. Může si načíst i více obsahů z různých map. Pokud je některý z obsahů zrovna upravován, tyto změny se projeví i ostatním uživatelům, kteří si ho prohlíží. Tento režim neumožňuje žádné úpravy ani zásahy do načtených obsahů, slouží pouze jako prostředek pro sdílení virtuálních obsahů mezi uživateli.
- **Kopírování obsahu** - sekce 10 - Pomocí tohoto režimu může uživatel překopírovat virtuální obsah z jedné mapy do druhé. Cílem je zarovnat obě mapy tak, aby se virtuální obsah zobrazil správně i v nové mapě.

## 6 Tvorba SLAM modelu

### 6.1 Immersal Mapper

Přestože v rámci návrhu aplikace (viz sekce 3) bylo uvedeno, že tvorba map bude součástí výsledné aplikace, po zjištění, že pro knihovnu Immersal již existuje aplikace, která tuto úlohu řeší, nebyla tato část implementována. V této sekci tedy bude pouze popsána převzatá aplikace Immersal Mapper umožňující tvorbu map. Immersal Mapper je možné stáhnout prostřednictvím služeb Google Play či App Store nebo jako součást demonstračního projektu v Unity. Aplikace je kompatibilní se zařízeními s operačním systémem Android a iOS, které jsou podporovány knihovnami ARCore nebo ARKit.

Immersal Mapper nabízí dva režimy - pracovní (workspace) a vizualizační (visualize). Pracovní režim slouží k tvorbě map. Uživatelské rozhraní aplikace je přímočaré a poměrně jednoduché. V horním panelu se vypisují dvě hodnoty - in queue a uploaded images. In queue (ve frontě) je hodnota udávající počet snímků, které se nachází na zařízení a čekají na odeslání cloudové službě. Uploaded images (nahrané snímky) udává počet snímků, které již byly odeslány. Pokud je v zařízení dostupný signál GPS, zobrazí se v panelu také poloha zařízení. V dolním panelu se nachází tři tlačítka - vlevo je umístěné tlačítko pro přepínání mezi režimy, prostřední tlačítko slouží pro pořizování snímků a vpravo se nachází tlačítko pro nastavení pracovního režimu. V nastavení se nachází přepínače pro zaznamenání GPS souřadnic, zachycování barevných obrázků v režimu RGB a kontrolu návaznosti snímků mezi sebou. V dolní části se nachází tři tlačítka pro smazání snímků, přidání kotevního snímku<sup>4</sup> (anchor image) a zahájení tvorby mapy. Pracovní režim je možné vidět na obrázku 5.

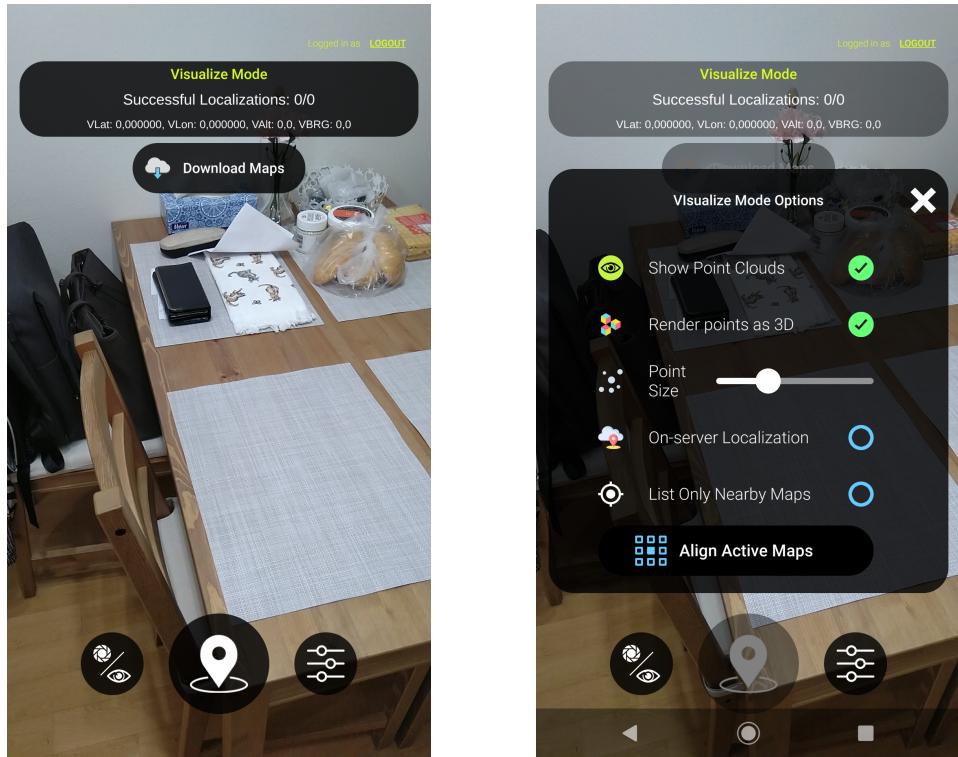


Obrázek 5: Immersal Mapper - pracovní režim (workspace mode)

Vizualizační režim umožňuje načítat a lokalizovat vytvořené mapy, čímž si uživatel může ověřit kvalitu mapy a přesnost lokalizace zařízení vůči mapě. V horním panelu se zobrazuje počet úspěšných lokalizací a počet pokusů o lokalizaci. Pokud byly pro danou mapu zaznamenány i GPS souřadnice, zobrazí se zde i vizuální GPS souřadnice mapy. Pod horním panelem se nachází tlačítko, kterým je možné si stáhnout a načíst mapy, popřípadě je smazat. V dolním panelu se nachází tlačítka pro přepí-

<sup>4</sup>Slouží pro správné nastavení orientace mapy, viz [3].

nání mezi režimy, lokalizování map a nastavení vizualizačního režimu. V nastavení se nachází přepínače pro přepínání viditelnosti mapy (respektive mračna bodů, kterým je mapa reprezentována), zobrazování bodů jako 3D objekty nebo zapínání a vypínání serverové lokalizace. Dále je zde možné nastavit velikost bodů. V neposlední řadě se v nastavení nachází možnost zarovnání aktivních map. Tato funkce je vhodná, pokud si uživatel načte více map v rámci jedné místnosti. Poté, co se mapy lokalizují, si může jejich vzájemnou polohu uložit a nemusí si tak mapy zarovnávat manuálně, například v Unity. Vizualizační režim je možné vidět na obrázku 6.



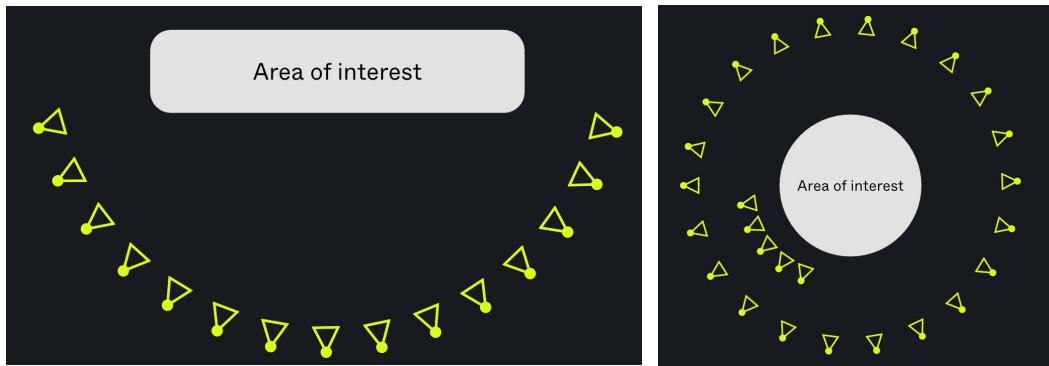
Obrázek 6: Immersal Mapper - vizualizační režim (visualize mode)

## 6.2 Pravidla pro vytváření SLAM modelů

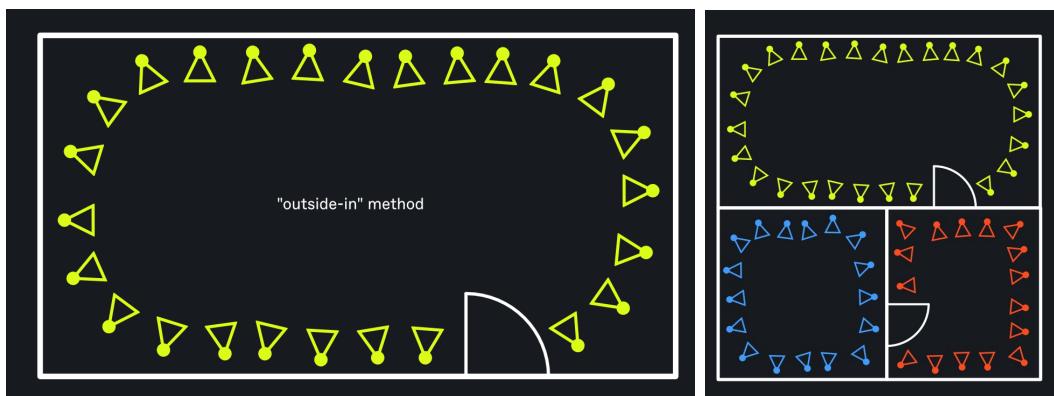
Pro vytvoření kvalitních map, vůči kterým se budou různá zařízení schopna spolehlivě lokalizovat, je nutné splnit požadavky na vlastnosti mapovaných prostor a dodržovat základní pravidla při procesu mapování. Cílem mapování je detektovat co největší počet významných bodů. Za významný bod se považuje jakýkoliv bod v prostoru, který je možné spolehlivě odlišit a detektovat z různých úhlů pohledu. Tato odlišnost může spočívat v barvě, kontrastu, přechodu mezi různými předměty apod. Z těchto důvodů musí být mapovaný prostor v první řadě dobře osvětlený. Obdobně jako lidské oko ani kamera nedokáže správně odlišit jednotlivé předměty v prostoru za špatné viditelnosti [4]. V prostorách by se neměly nacházet lesklé předměty odrážející světlo, jako například zrcadla nebo skleněný nábytek a nádobí. Kamera totiž

může detekovat významné body i v odrazech, které nejsou konzistentní vůči pohybu kamery. Důraz by měl být také kladen na rozmanitost prostoru, typicky například v barevnosti nebo kontrastu mezi jednotlivými předměty. Nevhodnými prostorami jsou například místo s bílými zdmi a nábytkem. Prostor by se neměl při mapování měnit, nemělo by například docházet ke stěhování nábytku při probíhajícím mapování [3].

Při procesu mapování je primární snahou zachytit mapovaný prostor z co největšího počtu různých úhlů pohledu a vzdáleností. Jednotlivé snímky na sebe musí dobře navazovat, pravidlem je v každém snímku zachytit alespoň třetinu ze snímku předchozího. Překryvy mezi snímky umožňují lepší detekci stejných významných bodů mezi jednotlivými snímky, což přispívá k vytvoření kvalitnější mapy. V ideálním případě je dobré zachytit každý významný bod z alespoň tří různých úhlů. Mapování by dále mělo být přizpůsobeno prostorám, které je potřeba mapovat. V případě mapování jednoho konkrétního bodu zájmu, například stěny či rohu dvou budov, je vhodné provádět mapování v oblouku okolo mapovaného bodu, popřípadě v kruhu, pokud je možné bod zájmu vyfotit ze všech úhlů, jako je to například u soch (viz obrázek 7). V případě vnitřních prostor je doporučeno snímky pořizovat po obvodu místo. Pokud je místo více, pak je dobré mapovat každou místo zvlášť (viz obrázek 8) [3].



Obrázek 7: Doporučený způsob mapování jednoho bodu zájmu<sup>5</sup>



Obrázek 8: Doporučený způsob mapování vnitřních prostor<sup>6</sup>

### 6.3 Portál vývojáře

Jak již bylo zmíněno v sekci ??, vytvořené mapy je možné spravovat v portálu vývojáře (viz obrázek 9). Jedná se o webovou aplikaci, do které je možné se přihlásit s účtem Immersal. V horní části stránky se nachází odkazy ke stažení knihovny, na demonstrační příklady pro podporované platformy nebo na dokumentaci. Pod odkazy se nachází seznam všech vytvořených map. Ke každé mapě se zobrazují následující informace:

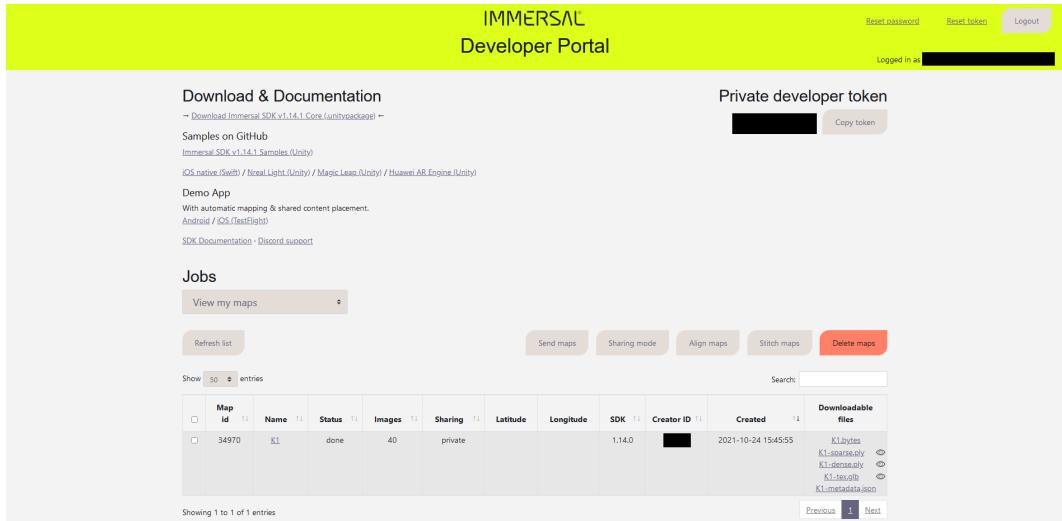
- **ID mapy (map id)** - jedná se o unikátní identifikátor mapy sloužící k jejímu referencování.
- **Název mapy (name)** - textový řetězec, který se zadává při vytváření mapy.
- **Stav (status)** - udává fázi tvorby mapy, tedy například jestli se mapa vytváří nebo již byla vytvořena.
- **Snímky (images)** - udává počet snímků, z nichž byla mapa vytvořena.

<sup>5</sup>Převzato z [3].

<sup>6</sup>Převzato z [3].

- **Sdílení (sharing)** - zdali je mapa dostupná kterémukoliv uživateli, nebo pouze uživatelům, kteří mají token od tvůrce mapy.
- **Zeměpisná šířka a délka (latitude, longitude)** - tato hodnota se zobrazuje pouze pokud bylo na zařízení zapnuto GPS při tvorbě mapy.
- **SDK** - verze SDK použitá pro tvorbu mapy.
- **Tvůrce (creator)** - jméno uživatele, který mapu vytvořil.
- **Vytvořeno (created)** - datum a čas, kdy byla mapa vytvořena.
- **Stažitelné soubory (downloadable files)** - vytvořená mapa v různých formátech.

Mapy je možné si stáhnout jako binární soubory, mračna bodů a vrcholově obarvené či texturované sítě, popřípadě je také možné si je v těchto podobách zobrazit přímo v portálu. V portálu je dále možné mapy mazat, poslat je jiným uživatelům, nebo je sešívat. Funkce sešívání map umožňuje vytvořit novou mapu automatickým spojením více map dohromady. Pro správný výsledek je nutné, aby existoval překryv mezi jednotlivými mapami [3].



Obrázek 9: Immersal - portál vývojáře

## 7 Tvorba nového obsahu

### 7.1 Tvorba obsahu v aplikaci

Po úspěšném vytvoření mapy je do ní možné přidat virtuální obsah skládající se z virtuálních objektů<sup>7</sup>. Každá mapa může mít více obsahů, musí se však lišit svým

<sup>7</sup>Ve finální aplikaci byla terminologie upravena po uživatelském testování (viz sekce ??). Termíny mapa, obsah a objekt byly změněny na místo, scéna a exponát. V tomto textu však budou i

názvem. Je ale možné mít stejnojmenné obsahy v různých mapách. V aplikaci je tedy nejprve nutné si vybrat mapu, do které bude obsah přidán. Posléze může uživatel zadat název obsahu nebo si nechat vygenerovat náhodný. Název nesmí být prázdný a nesmí se shodovat s názvem jiné scény, která již v mapě existuje. Při zadávání názvu se uživateli automaticky vygeneruje QR kód sloužící k jednoduchému načtení scény v režimech pro úpravu nebo prohlížení (viz obrázek 10). Tento QR kód je možné si uložit do zařízení a poté si ho například vytisknout. Data zakódovaná v QR kódu obsahují celočíselný identifikátor mapy<sup>8</sup> a název obsahu ve tvaru *idmapy.nazevobsahu*, tedy například *12345.MujObsah*. Ze znalosti těchto informací je také možné si pomocí služeb třetích stran vygenerovat vlastní QR kód, který bude též použitelný. Název obsahu může obsahovat mezery i diakritiku. Po úspěšném vytvoření obsahu se uživateli zobrazí finální obrazovka obsahující potvrzení o vytvoření obsahu a stručné informace o dalších režimech, které by uživatel mohl chtít dále využít. Pro lepší znázornění je na obrázku 11 uveden workflow diagram pro tvorbu nového obsahu.

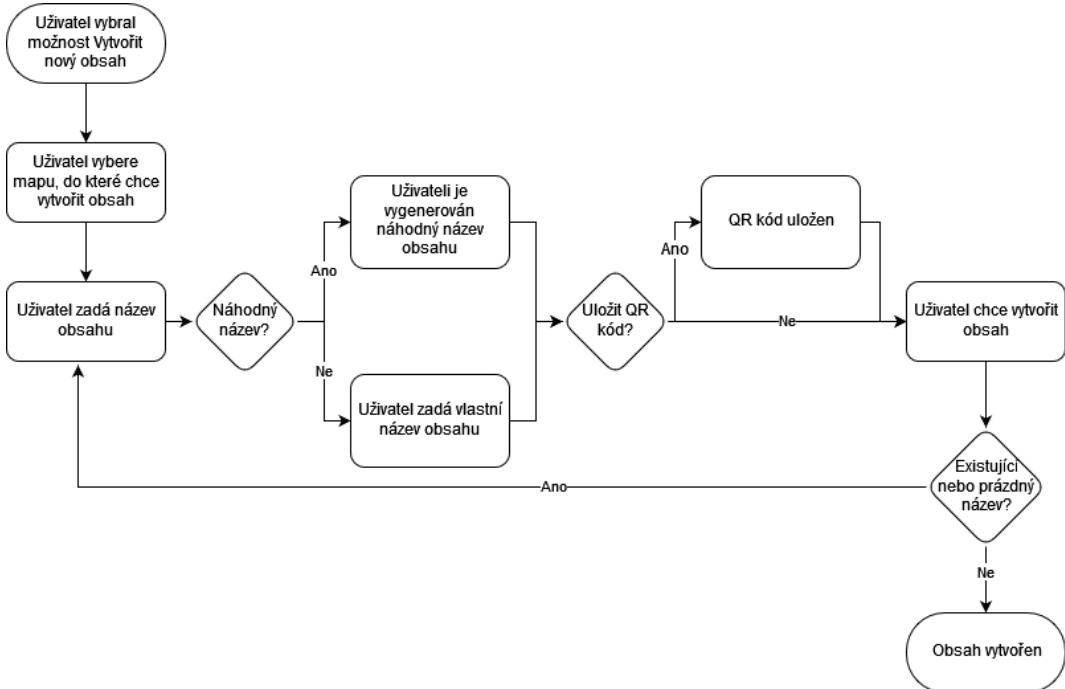


Obrázek 10: Zadaný název obsahu a k němu vygenerovaný QR kód

---

nadále použity původní termíny s výjimkou některých sekcí v kapitole 12 zabývající se uživatelským testováním.

<sup>8</sup>Identifikátor mapy je uveden v portálu vývojáře, viz sekce 6.3.

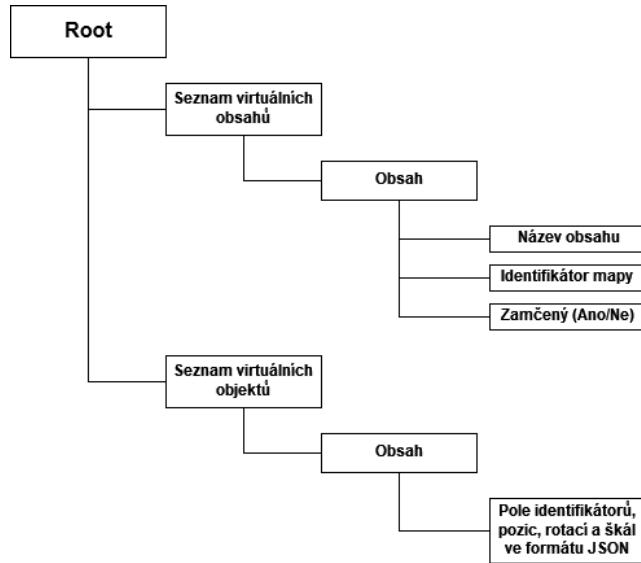


Obrázek 11: Workflow diagram pro tvorbu nového obsahu

## 7.2 Tvorba obsahu v databázi

Pro ukládání metadat map a jejích obsahů byla využita služba Cloud Firestore. Jedná se o NoSQL<sup>9</sup> cloudovou databázi, jejíž hlavními přednostmi jsou především škálovatelnost a schopnost aktualizace dat v reálném čase. Díky tomu je možné do databáze ukládat velké množství dat a současně je v reálném čase upravovat. Rychlá synchronizace dat mezi klienty je klíčová pro sdílení obsahů mezi více uživateli. Data jsou hierarchicky uspořádána do kolekcí, které se skládají z dokumentů, každý dokument dále obsahuje jednotlivá pole. Pro účely této aplikace jsou v databázi uloženy dva typy kolekcí - seznam všech virtuálních obsahů a seznam objektů pro každý obsah. V seznamu obsahů se v jednotlivých dokumentech ukládají název obsahu, identifikátor mapy, v níž se obsah nachází, a proměnná typu boolean reprezentující zámek obsahu, tedy zdali je obsah již někým upravován. V seznamu objektů se ukládají metadata k jednotlivým objektům v daném obsahu. V každém dokumentu je uložený řetězec ve formátu JSON obsahující pole identifikátorů, pozic, rotací a škál (velikostí) objektů. Při tvorbě nového obsahu tedy dojde k vytvoření nového dokumentu v každé z kolekcí. Pro snazší pochopení je na obrázku 12 znázorněna popsána hierarchie dat v databázi.

<sup>9</sup> Angl. Not only Structured Query Language. Oproti klasickým SQL databázím ukládají NoSQL databáze data v jiném formátu než v relačních tabulkách (viz [6]).



Obrázek 12: Hierarchie dat v databázi

## 8 Úprava existujícího obsahu

### 8.1 Načtení obsahu

Prvním krokem při přechodu do režimu pro úpravu obsahu je výběr mapy a obsahu, který má být načten. Obsah může být načten dvěma způsoby - ze seznamu, nebo pomocí QR kódu, který lze vytvořit při tvorbě nového obsahu. Poté, co uživatel vybere obsah, se do databáze odešle dotaz, zdali je požadovaný obsah zamčený, tedy zdali je již upravován jiným uživatelem. Pokud ano, zobrazí se uživateli upozornění o zamčeném obsahu. Pokud ne, dojde k odeslání požadavku pro uzamčení obsahu a stažení dat. Jako první je stažena mapa z Immersal serveru v podobě mračna bodů. Jedná se o bodovou reprezentaci mapovaného fyzického prostoru. Mapa je objekt, který se při správné lokalizaci zarovná s fyzickým prostorem, který reprezentuje. Také slouží jako rodičovský objekt, jehož dítětem je vybraný obsah. Pokud si uživatel pro úpravu vybere obsah, který už obsahuje objekty, načtou se tyto objekty jako jeho děti. Vzniká tedy hierarchie mapa → obsah → objekty, podobně jako je tomu u dat v databázi.

### 8.2 Lokalizace zařízení

Po úspěšném načtení mapy a obsahu dochází k automatické lokalizaci zařízení vůči načtené mapě. Immersal v pravidelných intervalech vyhodnocuje snímky pořizované kamerou zařízení. Z kombinace snímků a vlastností kamery (camera intrinsics) Immersal vypočítává tzv. pózu kamery, tedy její polohu a orientaci vůči mapě. Pokud je výpočet pózy úspěšný, Immersal zarovná mapu vůči fyzickému prostředí jejím posunem a rotací. S každým novým snímkem dochází k novému vyhodnocování a pří-

padné korekci v umístění a orientaci mapy. Tento mechanizmus zajišťuje správnou lokalizaci i při pohybu se zařízením.

Úspěšnost lokalizace je ovlivněna třemi faktory - kvalitou vytvořené mapy, kamерou zařízení a prostorami, ve kterých je lokalizace prováděna. Kvalitu mapy je možné definovat pomocí počtu nalezených významných bodů. Pokud bylo mapování prováděno za špatných světelných podmínek, nebo se v mapovaném prostoru nenacházelo dostatečné množství odlišitelných a rozpoznatelných bodů, může být výsledná kvalita mapy nízká, což negativně ovlivní i schopnost lokalizace zařízení v takové mapě. Pravidly, kterými se řídí při tvorbě map se zabývá sekce 6.2.

Druhým faktorem je kamera zařízení. Zde jsou důležité dva parametry - kvalita kamery a rozdíl mezi kamerou použitou při mapování a při lokalizaci. Kvalitní kamera je nezbytná jak pro mapování, tak i lokalizaci. Kamery s většími snímači schopné produkovat ostřejší a větší snímky za různých světelných podmínek dokáží lépe detekovat významné body v prostředí. V problému s detekcí významných bodů spočívá i rozdíl mezi použitými kamerami při mapování a lokalizaci. Rozdílné kamery produkují rozdílné snímky, ve kterých nemusí být detekovány stejné významné body. V ideálním případě je tedy vhodné použít stejné zařízení v obou situacích.

Posledním faktorem jsou prostory, ve kterých lokalizace probíhá. Zde je především nutné, aby rozmístění předmětů a objektů bylo při lokalizaci stejné, jako při mapování. Pokud mezi mapováním a lokalizací dojde k posunu či odstranění některých předmětů, může být posléze obtížné lokalizaci provést. Důležité je také zachovat intenzitu osvětlení a rozmístění světelných zdrojů v prostoru. Z tohoto důvodu není vhodné mapovat prostory, kde se často mění světelné podmínky.

### 8.3 Přidávání objektů

Po výběru a načtení obsahu se v režimu pro úpravu obsahu zobrazí následující čtyři tlačítka (viz obrázek 13):

- **Přidat exponát** - Umožňuje přidat objekt do obsahu. Uživatel má na výběr mezi šesti různými animovanými objekty.
- **Smažat všechny exponáty** - Smaže všechny přidané objekty.
- **Přepnout viditelnost místo** - Přepíná viditelnost mračna bodů, kterým je mapa reprezentována. Mračno bodů může být pro některé uživatele rušivým elementem při vytváření obsahu.
- **Přepnout lokalizaci místo** - Přepíná lokalizaci zařízení vůči mapě. Vyplnout lokalizaci může být vhodné, pokud lokalizace není stabilní, což může mít za následek cukání či přeskakování objektů.

Ve funkčních požadavcích v sekci 2 bylo uvedeno, že virtuální objekty a informace o nich budou uloženy na serveru. Pro metadata tato informace platí, avšak samotné objekty, respektive jejich modely, jsou součástí aplikace a nejsou stahovány ze serveru.



Obrázek 13: Režim pro úpravu obsahu - přidávání objektu

Tato funkcionality nakonec nebyla implementována a byla ponechána jako jedno z možných budoucích vylepšení aplikace. Při přidání, smazání či jakékoli interakci s objektem je také aktualizován příslušný dokument daného virtuálního obsahu v databázi. To umožňuje dalším uživatelům, kteří si daný obsah prohlížejí, vidět změny v reálném čase.

Jak již bylo zmíněno v sekci 8.1, přidané objekty se stanou dětmi obsahu, do něhož patří. Obsah je dítětem mapy, ve které se nachází. Mapa se zarovnává s fyzickým prostorem v rámci lokalizace zařízení. Tato hierarchie umožňuje vytvořeným objektům se zobrazit na správných místech za předpokladu, že je lokalizace zařízení úspěšná.

#### 8.4 Interakce s objekty

V rámci aplikace jsou k dispozici následující čtyři způsoby interakce s objekty - posun, otáčení, změna velikosti a smazání. Smazání objektu je přímočará operace při níž je vybraný objekt odstraněn z obsahu jak v rámci aplikace, tak i v databázi.

##### Posun

Posun objektů je v obou verzích aplikace možný dvěma způsoby - pomocí tlačítka zobrazujícího se v uživatelském rozhraní nebo posunem pomocí prstu (v případě verze pro mobilní zařízení) či táhnutím laserového ukazovátka (v případě verze pro

brýle nReal). Při posunu se nad vybraným objektem zobrazí šipky znázorňující směr posunu (viz obrázek 14). Pomocí těchto šipek je možné se zorientovat v případě, že uživatel použije posun pomocí tlačítka. V tomto případě totiž dochází k posunu v rámci lokální souřadné soustavy daného objektu. Pokud tedy chce uživatel například posunout objekt směrem doprava, dojde k posunu doprava z pohledu vybraného objektu. V případě posunu prstem nebo laserovým ukazovátkem stačí objekt vybrat a umístit ho do prostoru pohybem prstu po displeji telefonu nebo táhnutím laserového ukazovátka. Při posunu dochází k ukládání relativní pozice daného objektu vůči jeho rodiči, kterým je virtuální obsah. Při opětovném načtení obsahu jsou poté objekty umístěny do prostoru pomocí této uložené hodnoty.



Obrázek 14: Virtuální objekt se šipkami znázorňujícími směr posunu

## Otáčení

Otáčení objektu je možné provádět posunem prstu po displeji (u verze pro mobilní zařízení) nebo táhnutím laserového ukazovátka (u verze pro brýle nReal). Uživatel může otáčet objektem vždy pouze v jedné ose. Může si tak vybrat mezi rotací vpravo či vlevo, náklonem dopředu či dozadu a náklonem do stran. Při rotaci se do databáze ukládá rotace v jednotlivých osách. Tyto hodnoty se poté aplikují při opětovném načtení obsahu. Otáčení objektu nemá vliv na směr šipek udávající směr posunu

objektu.

### Změna velikosti

Změnu velikosti může uživatel provést pomocí tlačítka v uživatelském rozhraní. Tato operace je přímočará, tlačítka buďto vybraný objekt zmenší nebo zvětší. Změna velikosti je prováděna vzhledem ke středu objektu nikoliv například k jeho podstavě. Do databáze je ukládána velikost objektu v jednotlivých osách.

## 8.5 Portály

Portály jsou řešením situace, kdy by do jedné mapy bylo vytvořeno více virtuálních obsahů, které by bylo potřeba zobrazit separátně v závislosti na pozici uživatele. Konkrétním případem použití je například mapa skládající se z více místností. Pokud by uživatel pro každou místnost vytvořil vlastní virtuální obsah, logickým požadavkem by mohlo být, aby se obsah zobrazoval pouze v případě, že se uživatel nachází v dané místnosti. Pokud by poté přešel do jiné místnosti, měl by se zobrazit obsah pouze této místnosti.

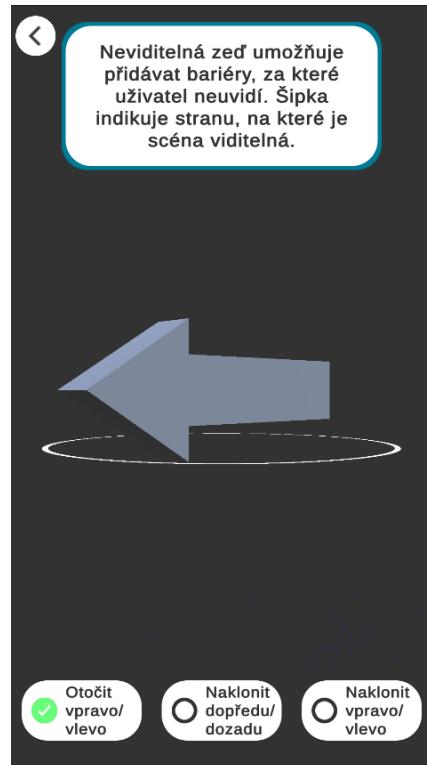
Implementačním řešením portálů jsou v aplikaci takzvané neviditelné zdi. Jedná se o speciální typ objektů, které může uživatel přidat do obsahu. Neviditelné zdi jsou viditelné pouze v režimu pro úpravu obsahu a jejich účinek je možné pozorovat pouze v režimu prohlížení obsahu. Při přidání do scény jsou reprezentovány modelem šipky (viz obrázek 15). Tato šipka reprezentuje směr, ve kterém je obsah viditelný. Pokud se uživatel nachází kdekoliv za touto šipkou, bude mu obsah skryt. Tento objekt tedy funguje jako pomyslná zeď, za kterou není možné vidět. Pokud je v obsahu umístěno více neviditelných zdí, pak se uživatel musí nacházet před všemi zdmi. Virtuální zdi je tedy vhodné umístit na místa, ve kterých se ve fyzickém prostoru nachází skutečné zdi nebo překážky oddělující jednotlivé obsahy.

## 9 Prohlížení obsahu

Režim pro prohlížení obsahu umožňuje uživateli si prohlédnout vytvořené virtuální obsahy. V tomto režimu není možné provádět žádné úpravy. Uživatel si může načíst libovolný počet obsahů<sup>10</sup>. Obdobně jako u režimu pro úpravu obsahů je možné obsahy načítat jak ze seznamu, tak i pomocí QR kódu. Při načtení obsahu ale nedochází k jeho uzamčení. Stejný obsah si tak může ve jednu chvíli zobrazit více uživatelů. Po načtení dochází k lokalizaci zařízení v mapě (viz sekce 8.2). Pokud je načteno více obsahů v různých mapách, bude se aplikace snažit lokalizovat zařízení vůči všem načteným mapám.

---

<sup>10</sup>Pro reálné použití by tento počet měl být rozumný, s každým načteným obsahem se zvyšují nároky na výpočetní výkon potřebný pro vykreslení všech objektů. Také je nutné provádět lokalizaci zařízení v načtených mapách a aktualizaci obsahů v případě, že jsou upravovány.



Obrázek 15: Model šipky reprezentující neviditelnou zed'

Pokud dojde k úpravě obsahu jiným uživatelem, je tato změna v reálném čase propagována všem ostatním uživatelům, kteří si daný obsah prohlíží. Z implementačního hlediska je této funkcionality docíleno pomocí takzvaných posluchačů (listeners)<sup>11</sup>. Na každý dokument, který reprezentuje obsah v databázi, je při načtení obsahu přidán posluchač, který reaguje na změny provedené v daném dokumentu. Pokud dojde k úpravě obsahu, dojde i k úpravě dokumentu, kterou posluchač zachytí a uvědomí o tom aplikaci. Ta si posléze stáhne aktualizovaný dokument a načte upravený obsah znova. Níže uvedený pseudokód znázorňuje přidávání posluchače na dokument.

```
function AddRealtimeListenerToContent()
{
    // Get the database and document reference
    documentName = GetDocumentName()
    database = NetworkManager.GetDatabase()
    document = database.GetDocument(documentName)

    // Add a listener to the document
    listener = document.Listen(snapshot => {
        // If the content has been edited, reload it
        if (snapshot)
        {

```

---

<sup>11</sup>Pro více informací o posluchačích viz [2].

```

        json = snapshot.GetJSON()
        ReloadContent(json)
    }
}

// Add the new listener to the map
DataManager.GetListenersMap()[documentName] = listener
}

```

V režimu pro prohlížení obsahu je dále možné otestovat funkčnost neviditelných zdí. Ty se v tomto režimu nezobrazují, nicméně obsah se zobrazuje podle toho, jestli se uživatel nachází před zdí, nebo za ní. Pokud si uživatel načte více obsahů zároveň, může si vyzkoušet přechody mezi jednotlivými obsahy a otestovat jejich správné zobrazování v závislosti na uživatelské pozici (viz sekce 8.5).

## 10 Kopírování obsahu

Režim pro kopírování obsahu umožňuje přenášet již vytvořené obsahy mezi různými mapami. Jedním z případů použití tohoto režimu je situace, kdy si uživatel vytvoří mapu místo, do které následně přidá obsah. Pokud se následně změní rozmístění předmětů v místo, je možné, že se zařízení nebude schopné lokalizovat vůči dříve vytvořené mapě. Uživatel si tak bude muset vytvořit novou mapu upravené místo. Aby však nebylo nutné vytvářet každý obsah znova, je možné je zkopírovat ze staré mapy do nové. Uživatel si nejprve zvolí mezi kterými mapami chce vybraný obsah překopírovat. Následně je nutné obě mapy mezi sebou zarovnat tak, aby poloha a orientace jednotlivých virtuálních objektů byla správná ve fyzickém prostoru. Toho lze docílit dvěma způsoby zarovnání: automatickým nebo manuálním.

Pokud v místo nedošlo k velkým změnám a obě mapy jsou si tak dostatečně podobné, je možné, že se zařízení bude schopné lokalizovat i vůči staré mapě. Cílem automatického zarovnání je tedy lokalizovat zařízení vůči oběma vytvořeným mapám. Pokud je zarovnání úspěšné, pak je pro každý objekt v obsahu přepočítána jeho relativní pozice a orientace vůči nové mapě tak, aby se zobrazovala na stejném místě ve fyzickém prostoru. Pokud je automatické zarovnání neúspěšné, může uživatel mapy zarovnat manuálně. V tom případě může interagovat se starou mapou obdobně jako s kterýmkoli jiným virtuálním objektem. Mapu tedy může posouvat a otáčet pomocí tlačítka na uživatelském rozhraní.

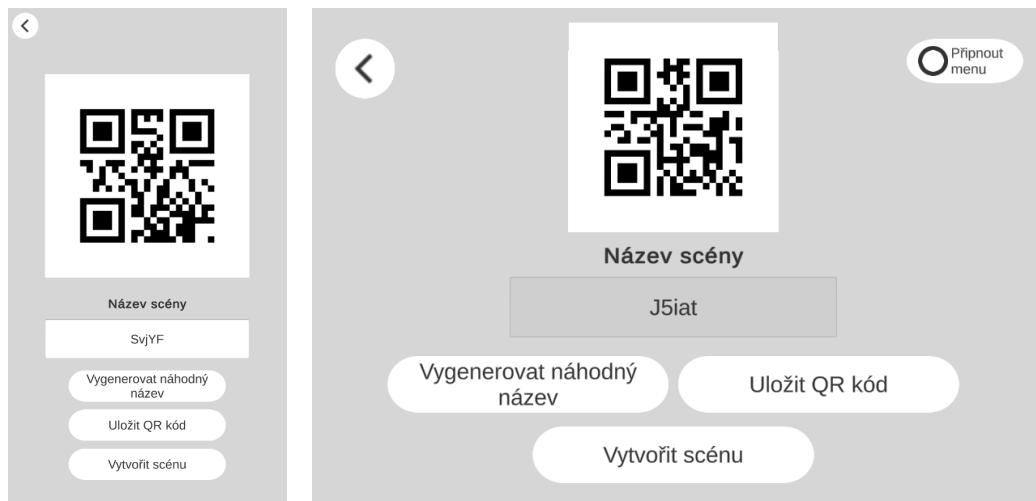
Ve chvíli, kdy je uživatel spokojený se zarovnáním obou map, je v následujícím kroce vyzván k vytvoření nového obsahu. K němu dochází podobným způsobem popsaným v sekci 7.1. Uživatel tedy musí zadat unikátní název obsahu a může si uložit vygenerovaný QR kód pro jednodušší načtení v ostatních režimech. V databázi je vytvořen nový dokument a do něj jsou zapsány údaje o jednotlivých objektech nacházejících se v obsahu. Při kopírování obsahu nedochází ke smazání původního obsahu. Uživateli tedy zůstane přístup do obsahů v obou mapách.

## 11 Uživatelské rozhraní

Následující sekce se bude zabývat rozdíly v implementaci uživatelského rozhraní pro mobilní verzi aplikace a verzi pro brýle nReal. Z funkčního hlediska jsou až na výjimky obě verze identické, je v nich tedy možné provádět stejné operace.

Prvním rozdílem je umístění jednotlivých elementů. U mobilní verze aplikace se elementy uživatelského rozhraní (tlačítka, textová pole, obrázky apod.) vykreslují jako dvourozměrné objekty přímo na displej zařízení. Uživatel tedy na displeji vidí jak fyzický prostor s virtuálními objekty, tak i samotné uživatelské prostředí, s kterým může interagovat. V případě verze pro brýle nReal se stále jedná o dvourozměrné objekty, ty jsou však vykreslovány do trojrozměrného prostoru. Z tohoto důvodu má uživatel možnost si uživatelské rozhraní připnout nebo odepnout. Pokud je rozhraní připnuté, chová se podobně jako u mobilního zařízení - rozhraní je vykreslováno jako obrazovka mezi uživatelem a fyzickým prostorem s virtuálními objekty. V případě, že je rozhraní odepnuté, chová se jako ostatní virtuální objekty v prostoru. Jednoduše řečeno, lze ho vnímat jako ovládací panel, ke kterému může uživatel přijít a interagovat s ním. Ve verzi pro brýle nReal je také možné si uživatelské rozhraní zcela vypnout pro případ, že by si uživatel chtěl lépe prohlédnout vykreslený obsah.

Druhým rozdílem jsou rozměry uživatelského rozhraní. U mobilní verze je rozhraní implementováno pro orientaci na výšku, v případě verze pro brýle nReal je rozhraní orientováno na šířku. Z tohoto důvodu je především umístění některých elementů odlišné tak, aby se vykreslovaly správně v rámci vyhrazeného prostoru. Ve verzi pro brýle jsou jednotlivé elementy zpravidla větší, jelikož interakce pomocí laserového ukazovátka je náročnější a citlivější, než interakce dotykem prstu. Větší elementy také usnadňují jejich viditelnost a čitelnost. Rozdíly v umístění elementů je možné vidět na obrázku 16.



Obrázek 16: Rozdíly v umístění elementů (vlevo mobilní verze, vpravo verze pro brýle nReal)

## 12 Testování

Aplikace byla testována v celém průběhu návrhu a vývoje. Uživatelské testy byly provedeny se scénáři (viz následující text) simulujícími reálnou práci s aplikací v Národním Muzeu v rámci dvou expozic. První expozicí byla část výstavy *Evoluce země*, konkrétně Ptačí ostrov (viz obr. 17). Druhou expozicí byla výstava *ZeMě* soustředěná na enviromentální osvětu, viz obr. 18.

Expozice měly rozdílné světelné podmínky, složitost okolí, povrchové vlastnosti materiálů a byla odlišná i míra návštěvníků. Kvalita vytvořených SLAM modelů se významně lišila. Zatímco ptačí ostrov byl velice pestrý a vzniklá mračna bodů byla velice kvalitní, u výstavy země byl problém s velkými bílými plochami stěn, které měly poměrně spekulární (lesklý) charakter. Přestože kvalita vytvořeného SLAM modelu byla nižší než v případě SLAM modelu ptačího ostrova, lepší a stabilnější světelné podmínky v expozici ZeMě pozitivně přispely k přesnější lokalizaci zařízení ve vytvořeném SLAM modelu. Testování proběhlo jak na mobilním zařízení, tak i na brýlích Nreal a v obou případech byla zaznamenána stabilnější lokalizace. Toto zjištění pouze potvrzuje závislost přesnosti a stability lokalizace na kvalitě osvětlení (viz sekce 8.2). Snímek z testování je možné vidět na obrázku 18.

**Scénář 1 - Tvorba nové scény:** participant si vytvoří novou scénu pomocí mobilního zařízení. Scénu přidá do místnosti s názvem *PtaciOstrovMobil* a pojmenuje ji *Tucnaci*. Do scény přidá dva tučňáky a umístí je dle stanovených instrukcí. Poté si vytvoří druhou scénu, avšak pomocí brýlí. Scénu přidá do místnosti s názvem *PtaciOstrovBryle* a vygeneruje jí náhodný název. Do scény poté přidá ledního medvěda a umístí ho dle stanovených instrukcí.

**Scénář 2 - Spolupráce dvou uživatelů:** v rámci tohoto scénáře bude participant spolupracovat s druhým uživatelem. Ten bude upravovat scénu *Tucnaci* vytvořenou v prvním scénáři. Přidá do ní dalšího tučňáka a bude se ho snažit umístit na jím vybrané místo. Participantovým úkolem bude si scénu načíst, navigovat druhého uživatele a pomocí mu tučňáka správně umístit.

**Scénář 3 - Prohlížení scén:** v tomto scénáři bude participantovým úkolem prohlédnout si obě vytvořené scény zároveň a ověřit si, že se exponáty zobrazují na správném místě.

**Scénář 4 - Kopírování scény:** cílem tohoto scénáře bude zkopirovat scénu *Tucnaci* z místnosti *PtaciOstrovMobil* do místnosti *PtaciOstrovBryle* tak, aby se překopírované exponáty zobrazily na stejném místě i v druhé místnosti.



Obrázek 17: Snímek z testování výsledné aplikace u tzv. Ptačího ostrova. Uživatel vlevo drží v pravé ruce tzv. laserové ukazovátko, kterým připravuje AR scénu.



Obrázek 18: Snímek z testování výsledné aplikace ve výstavě ZeMě. Uživatel vpravo vytváří AR scénu s brýlemi Nreal. Uživatel vlevo a fotograf pozorují scénu na mobilním zařízení.

## 13 Literatura

- [1] An overview of all Augmented Reality (AR) headsets in 2021/22 [online]. [cit. 13.06.2022]. Dostupné z: <https://vr-expert.com/an-overview-of-all-augmented-reality-ar-headsets-in-2021-22/>.
- [2] Get realtime updates with Cloud Firestore [online]. [cit. 28.09.2022]. Dostupné z: <https://firebase.google.com/docs/firestore/query-data/listen>.
- [3] Immersal Documentation [online]. [cit. 28.10.2021]. Dostupné z: <https://immersal.gitbook.io/>.
- [4] Stardust Documentation [online]. [cit. 28.11.2021]. Dostupné z: <https://neogoma.github.io/stardust-SDK-doc/>.
- [5] What is Firebase? [online]. [cit. 19.06.2022]. Dostupné z: <https://www.educative.io/answers/what-is-firebase>.
- [6] What is NoSQL? [online]. [cit. 19.06.2022]. Dostupné z: <https://www.mongodb.com/nosql-explained>.
- [7] BUTLER, Sydney. What Is Inside-Out Tracking in VR? [online]. [cit. 13.06.2022]. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/756785/what-is-inside-out-tracking-in-vr/>.
- [8] STEVENSON, Doug. What is Firebase? The complete story, abridged [online]. [cit. 19.06.2022]. Dostupné z: <https://medium.com/firebase-developers/what-is-firebase-the-complete-story-abridged-bcc730c5f2c0>.