



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Disertační práce

Design dětské hračky na principu rozšířené reality
Design of a toy using augmented reality

Autor: Ing. Štěpán Dlabaja

Studijní program: Výtvarná umění (P8206)

Studijní obor: Multimédia a design (8206V102)

Školitel: doc. MgA. Martin Surman, ArtD.

Oponenti: prof. akad. soch. Peter Paliatka
doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

Zlín, říjen 2023

© Štěpán Dlabaja

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis**.

Publikace byla vydána v roce 2023

Klíčová slova: Rozšířená realita, optická detekce, ArUco marker, detekce pozice, generátor map, simulace rostlin, Unity engine, simulace, vzdělávání, interakce v reálném čase, průmyslový design

Key words: Augmented reality, optical detection, ArUco marker, position detection, map generator, plant simulation, Unity engine, simulation, education, realtime interaction, industrial design

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá vymezením dětské hračky na principu rozšířené reality a jejím samotným vývojem. V teoretické části se práce věnuje především analýze současné produkce na trhu v tomto segmentu, typickým prvkům, které jsou u těchto produktů využívány a kritickému zhodnocení konkrétních aplikací rozšířené reality, jejich funkčnosti a odůvodněnosti použití. Následující část práce je věnována analýze a srovnání různých technologií používaných ke zobrazení rozšířené reality, a to především z hlediska poměru imerze/ovladatelnost/cena.

Praktická část práce je zaměřena na návrh a vývoj finálního produktu ve dvou rovinách. První rovinou je designérská práce, tedy návrh, tvorba virtuálního modelu a 3D dat, výroba a testování fyzického prototypu hračky formou iterativního procesu. Druhou rovinou je softwarové řešení produktu ve formě návrhu a programování doprovodné aplikace, včetně jejího vydání na zvolené platformě.

ABSTRACT

The scope of dissertation thesis is to define a children's toys based on the augmented reality and then its development itself. In the theoretical part, the work mainly focuses on the analysis of production on the market in this segment, the typical elements that are used in these products and the critical evaluation of specific applications of augmented reality, their functionality and justification of use. The following part of the work is devoted to the analysis and comparison of various technologies used to display augmented reality, primarily in the scope of the immersion/controllability/price ratio.

The practical part of the work is focused on the design and development of the final product on two levels. The first scope is the design work, i.e. the design, modeling, production and testing of physical parts of toy as an iterative process. The second level is the software solution of the product in the form of design and programming of the accompanying application, including its release on the chosen platform.

Poděkování

Děkuji panu doc. MgA. Martinu Surmanovi, ArtD. za vedení práce, ochotu konzultovat i ty nejmenší detaily a vstřícnost a podporu během celého studia. Další dík patří panu Ing. Tomáši Dulíkovi PhD. za odborné konzultace technických řešení a pomoc při hledání spolupráce s FAI UTB. Děkuji také paní Bc. et Ing. Blance Šťastné za ochotnou podporu a pomoc při administraci IGA grantu, který byl s touto prací svázaný. Důležitou roli sehráli i studenti Bc. Tomáš Hanáček a BcA. Tadeáš Kříbek, kteří pomohli realizovat některé dílčí úkoly při řešení Prototypu a kterým tímto také děkuji. V neposlední řadě patří dík mé rodině a blízkým, kteří mě po dobu studia podporovali a umožnili mi ho tak zdárně dokončit.

OBSAH

ÚVOD 9

1. CÍLE PRÁCE 10

1.1 VÝZKUMNÁ OTÁZKA: JAK SOUČASNÉ PRODUKTY NA TRHU VYUŽÍVAJÍ AKTUÁLNÍCH MOŽNOSTÍ NA POLI ROZŠÍŘENÉ REALITY? 10

1.1.1 Použité metody: 10

1.2 VÝZKUMNÁ OTÁZKA: JAKÉ ZAŘÍZENÍ JE V DNEŠNÍ DOBĚ NEJVHODNĚJŠÍ KE ZOBRAZOVÁNÍ ROZŠÍŘENÉ REALITY V KONTEXTU DĚTSKÉ HRAČKY? 12

1.2.1 Použité metody 12

1.3 VÝZKUMNÁ OTÁZKA: JAKÁ JE NEJVHODNĚJŠÍ METODA DETEKCE FYZICKÝCH OBJEKTŮ PRO VYUŽITÍ V ROZŠÍŘENÉ REALITĚ? 13

1.3.1 Použité metody 13

1.4 VÝZKUMNÁ OTÁZKA: JAKÉ MATERIÁLY BUDOU NEJVHODNĚJŠÍ NA VÝROBU PROTOTYPU? 13

1.4.1 Použité metody 14

1.5 VÝZKUMNÁ OTÁZKA: JE MOŽNÉ PŘI VÝVOJI PRACOVAT S NOVÝMI TECHNOLOGIEMI UMĚLÉ INTELIGENCE? 14

1.5.1 Použité metody: 14

1.6 PŘÍNOSY PRO VĚDU A VÝZKUM 14

2. ANALÝZA 16

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE 16

2.1.1 Hračka 16

2.1.2 Virtuální, rozšířená a mixovaná realita 16

2.2 SOUČASNÝ STAV TRHU 17

2.2.1 Vícekriteriální analýza produktů 34

2.3 REŠERŠE SOUVISEJÍCÍCH PATENTŮ 35

2.4 TECHNOLOGIE ROZŠÍŘENÉ REALITY 40

2.4.1 Zařízení pro zobrazování rozšířené reality 41

2.4.2 Vícekriteriální analýza zobrazovacích technologií 49

3. PRAKTICKÁ ČÁST 51

3.1 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI A JEJÍ CÍLE 51

3.1.1 Volba tematického zamření případové studie 51

3.1.2	Alternativní možnosti zaměření produktu	52
3.1.3	Technologie zobrazení	53
3.1.4	Technologie detekce	54
3.1.5	Výběr vhodných markerů pro optickou detekci kostek	56
3.1	VÝVOJ FYZICKÉHO PRODUKTU	59
3.1.1	Variantní studie designu	60
3.1.2	Prototypování – výběr materiálů	66
3.1.3	Využití umělé inteligence v procesu navrhování	115
3.1.4	Finální tvarové řešení	128
3.1.5	Ergonomie	130
3.1.6	Bezpečnost a hygiena	132
3.1.7	Barevné a grafické řešení	133
3.2	VÝVOJ APLIKACE	136
3.2.1	Jádro	137
3.2.2	Detekce v rozšířené realitě	151
3.2.3	Hratelnost	153
3.2.4	Grafické prvky	154
3.2.5	Uživatelské rozhraní	157
4.	FOTODOKUMENTACE FINÁLNÍHO PROTOTYPU	161
5.	DISKUZE	162
5.1	PSYCHOLOGICKÁ, SOCIÁLNÍ, EKONOMICKÁ A EKOLOGICKÁ FUNKCE..	162
5.2	PŘÍNOS PRO VĚDU, VÝZKUM, PRAXI	163
6.	ZÁVĚR	164
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	165
9.	BIBLIOGRAFIE	166
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ	174
11.	SEZNAM TABULEK A GRAFŮ	178
12.	SEZNAM PŘÍLOH	179

ÚVOD

Disertační práce se zabývá vývojem dětské hračky ve formě modulární platformy, využívající principů rozšířené a virtuální reality. Tyto technologie, obecně shrnuté v pojmu *extended reality*, se čím dál více stávají součástí mnoha procesů v průmyslu, zdravotnictví i dalších odvětvích lidské činnosti. Dětská hračka se tedy nabízí jako optimální způsob, jak děti s těmito technologiemi nenásilnou cestou seznámit. Zároveň se jedná o pole do značné míry neprobádané, kdy produktů na trhu není mnoho a spousta z nich má ještě pořád značné limity.

Vzhledem ke klesajícím cenám vybavení potřebného ke zobrazení rozšířené a virtuální reality a celkové demokratizaci odvětví se dá očekávat, že se v následujících letech tyto technologie častěji promítnou i do produktů, jako je právě dětská hračka. v současné době se již objevují různě zdařilé pokusy o implementaci těchto technologií v hračkářském a herním průmyslu, které jsou však často jednoúčelové, případně je využití rozšířené reality spíše sporné.

Vyvíjející se technologie umožňují dosáhnout větší hloubky interakcí mezi fyzickým a virtuálním světem, což v dnešní době není stále standardem. Produkt využívající těchto technologií, cílený na náročného dětského uživatele, zvyklého z mobilních telefonů na vysoké množství audiovizuálních podnětů, by měl tyto vrstvy interakce vhodně integrovat a zároveň zajistit filozoficky, psychologicky i environmentálně zodpovědné řešení, které bude mít na vývoj dítěte příznivý vliv, ale současně pro něj bude dostatečně poutavé.

Konkrétním výstupem práce je modulární platforma složená z hrací desky a 48 herních figur, které jsou snímány kamerou a na základě jejich polohy na hrací desce s nimi lze dále pracovat. Možné aplikace tohoto principu jsou různé, nicméně pro účely disertační práce byla vybrána konkrétní případová studie interaktivní mapy. Každá figura reprezentuje určitý biom. Na základě polohy figur na desce se generuje mapa, kterou je možné v rozšířené realitě zobrazovat a dále s ní interagovat.

1. Cíle práce

Hlavním cílem disertační práce je navrhnout dětskou hračku, která bude sloužit jako modulární, škálovatelná platforma pro vývoj různých her a aplikací, využívajících rozšířené a virtuální reality. Součástí tohoto návrhu bude i případová studie jedné z možných aplikací, zaměřená na interaktivní poznávání přírody, která bude sloužit jako ověření konceptu. Několik dalších možných aplikací pro tuto platformu bude textově popsáno jako možný základ pro další rozvoj produktu. Výsledná hračka, bude realizována jako funkční prototyp a bude tedy reprezentovat praktickou část práce. K praktickému výstupu primárně směřuje teoretická část a tento výstup bude ukázkou současných možností rozšířené reality na poli dětských hraček a didaktických pomůcek.

Finální produkt by měl oproti současným řešením více prohloubit možnosti interakce reálného a virtuálního světa a zároveň zajistit, díky aplikaci rozšířené reality, vysokou variabilitu finálního řešení, která není pro běžné hračky, ani didaktické pomůcky příliš obvyklá. S realizací projektu se pojí následující dílčí cíle a výzkumné otázky, kterých je třeba na cestě k finálnímu výstupu dosáhnout:

1.1 Výzkumná otázka: Jak současné produkty na trhu využívají aktuálních možností na poli rozšířené reality?

Cílem této fáze výzkumu je vybrat významné produkty na trhu s cílem zmapovat míru interaktivity, odůvodněnost jejího použití a zároveň zhodnocení designérských kvalit těchto produktů.

1.1.1 Použité metody:

Výzkum od stolu

Výzkum od stolu přináší designérovi rychlý přehled o současném stavu poznání [1]. v případě rozšířené reality je využití této metody vhodné, jelikož se ze své podstaty jedná o digitální věc, je tedy dobře zadokumentovaná řadou výzkumů i již funkčních řešení vyvíjených technologicky vyspělými firmami, které dobře reprezentují nejmodernější trendy a technologie používané v tomto odvětví.

Cílem této části práce je kvalitativní srovnání hraček existujících na trhu, především pak těchto jejich parametrů: Kvalita implementace (možnosti interakce, spolehlivost mapování, potenciální škálovatelnost) a technická pokročilost rozšířené reality (typ trackovaného markeru, možná cílová zařízení, využití současných technologií), odůvodnění použití rozšířené reality, princip hračky – idea, vhodnost pro cílovou skupinu, designérské zpracování

Rozhodovací matice – vícekritériální analýza

Rozhodovací matice se používá v případech, kdy je třeba kvalitativně ohodnotit jednotlivé varianty [2]. Produkty vybrané a okomentované v předchozím výzkumu od stolu budou vloženy do hodnotící tabulky jako varianty a hodnoceny podle následujících kritérií na škále: 0 – zcela nevyhovuje, 1 – vyhovuje s výhradami, 2 – zcela vyhovuje.

- Interaktivita virtuální složky: Do jaké míry je možné ovlivňovat dění ve virtuální aplikaci ze zobrazovacího zařízení (např. mobilního telefonu)?
- Interaktivita na ose fyzická složka → virtuální složka – Do jaké míry je možné ovlivnit dění ve virtuální složce interakcí s fyzickou složkou?
- Interaktivita na ose virtuální složka → fyzická složka – Do jaké míry je možné zpětně ovlivnit fyzickou složku interakcí s virtuální složkou?
- Odůvodněnost použití rozšířené reality – Do jaké míry by produkt zhoršilo, pokud by byl čistě fyzický/virtuální? Dává použití rozšířené reality smysl z filosofického hlediska daného produktu?
- Průměrná cena na trhu – orientační, nehodnocené kritérium, s cílem ukázat, jestli vyšší cena koreluje s kvalitou implementace rozšířené reality. Průměrná cena bude vypočítána jako aritmetický průměr cen na některém z volně dostupných internetových agregátorů.

Kritéria byla zvolena tak, aby dohromady co možná nejlépe postihovala možné způsoby interakce s hračkou. Finální klasifikace daného produktu bude dána součtem jednotlivých kritérií, kdy všechny parametry budou mít stejnou váhu [3]. v případě shody v hodnocení, bude jako dodatečné kritérium použita průměrná cena na trhu.

1.2 Výzkumná otázka: Jaké zařízení je v dnešní době nejvhodnější ke zobrazování rozšířené reality v kontextu dětské hračky?

Cílem této části práce je vybrat nejtypičtější zařízení na trhu, která je možné použít ke zobrazování rozšířené reality, a z nich dále vybrat nejvhodnější pro vývoj prototypované případové studie.

1.2.1 Použité metody

Výzkum od stolu

Výběr nejvhodnějšího zařízení je v tomto případě z hlediska samotného vývoje spíše formální. Respektive, vzhledem k tomu, že současná vývojová prostředí umožňují export na prakticky libovolnou platformu, je možné vyvinout konkrétní řešení pro jednu vybranou platformu a následně ji s drobnými změnami (například změnou ovládání) exportovat pro platformu jinou. Cílem výzkumu od stolu je tedy v tomto případě spíše výčet a představní jednotlivých alternativ, se kterými je možné při vývoji počítat.

Rozhodovací matice – vícekritériální analýza

Pro případovou studii bude vybráno jedno konkrétní zařízení, se kterým bude prototyp pracovat. v kontextu dětské hračky a vzhledem k výše zmíněnému, možnému multiplatformnímu vývoji budou zvoleny následující parametry kritériální analýzy:

- Cena – Očekávaná vstupní pořizovací cena zařízení (3 - do 5 000 Kč, 2 - od 5 000 do 15 000 Kč, 1 – nad 15 000 Kč)
- Běžná dostupnost v populaci – Cílem parametru je zhodnotit, do jaké míry je pravděpodobné, že uživatel už dané zařízení vlastní (3 – vysoce pravděpodobné, 2 – možné, 1 – vysoce nepravděpodobné)
- Míra imerze – Do jaké míry zařízení dokáže poskytnout imerzní zážitek (3 – vysoce imerzní, 2 – imerzní s výhradami, 1 – nízké imerzní)
- Odolnost – předpokládaná míra odolnosti proti poškození (3 – vysoce odolné, 2 – běžně odolné, 1 - neodolné)

Finální klasifikace daného produktu bude dána součtem jednotlivých kritérií, kdy všechny parametry budou mít stejnou váhu [4]. Produkt s nejvyšším součtem bude vybrán jako doplňkové zařízení k prototypu. v případě shody bude zvolen doplňující parametr.

1.3 Výzkumná otázka: Jaká je nejvhodnější metoda detekce fyzických objektů pro využití v rozšířené realitě?

V průběhu vývoje fyzického prototypu bude třeba se vypořádat s vhodným způsobem detekce fyzických objektů pro účely rozšířené reality. Tato část práce bude rozdělena na dva celky.

1.3.1 Použité metody

Expertní rozhovor

První celek bude tvořit výběr rámcového směru detekce, který bude realizován formou expertního rozhovoru s Ing. Tomáš Dulíkem, PhD. z FAI UTB Zlín. Jeho znalost problematiky zaručí efektivní a informovaný výběr technologického řešení [4]. Osou tohoto prvotního výběru bude volba mezi využitím elektroniky ve figurách k detekci jejich polohy na hrací desce, nebo různé způsoby optické detekce.

Experimentální vývoj

Na základě určeného směru se pak bude student FAI UTB Tomáš Hanáček věnovat v rámci své bakalářské práce vývoji konkrétních variant možné detekce. Formou experimentálního vývoje bude zjišťována spolehlivost jednotlivých možností a pro realizaci finálního prototypu bude následně vybrána nejspolehlivější z nich, která však bude zároveň esteticky vyhovující. Metodika a parametry hodnocení spolehlivosti budou závislé na zvolené technologii. Výsledky experimentální fáze vývoje mohou být dále abstrahovány i na vývoj jiných produktů využívajících rozšířené reality, případně detekce fyzických objektů obecně.

1.4 Výzkumná otázka: Jaké materiály budou nejvhodnější na výrobu prototypu?

Jedním z cílů práce je vyvinout prototyp z materiálů, kterou budou pro uživatele vhodné, příjemné, probouzející představivost, ale zároveň ekologicky šetrné a udržitelné. Pro tyto účely bude realizován experimentální vývoj několika variant, ze kterých bude zvoleno, co možná nejoptimálnější řešení.

1.4.1 Použité metody

Rapid prototyping

Z výše uvedených důvodů bude využito metod experimentálního vývoje a rapid prototypingu, který umožňuje pomocí moderních 3D, aditivních a CNC technologií rychle prototypovat a testovat různé tvarové a materiálové varianty [5]. Tímto způsobem bude vyrobeno několik materiálových variant výrobku, které budou následně podrobeny multikriteriální analýze. Aplikován bude takzvaný iterativní vývoj, kdy jsou jednotlivé části testovány v cyklech tak, aby bylo dosaženo optimálního výsledku [6].

1.5 Výzkumná otázka: Je možné při vývoji pracovat s novými technologiemi umělé inteligence?

Se současným rozvojem moderních technologií strojového učení a umělé inteligence se objevují nové možnosti, jak je implementovat do designérského procesu. Cílem této části je jednak zmapovat do jaké míry lze implementovat technologie Text to Image generování do konkrétního fyzického produktu a následně takový produkt prototypovat. Druhou fází je pak zjistit, jestli je možné doprovodnou aplikaci programovat s pomocí textových modelů umělé inteligence. Definovat metodiku práce s nimi a analyzovat do jaké míry mohou být tyto technologie implementovány do vývojového procesu s ohledem na designérovu znalost programování.

1.5.1 Použité metody:

Experimentální vývoj

Tato část bude realizována pomocí experimentu, kdy bude hodnocena především funkčnost a náročnost takového řešení. Využity budou aktuální modely různých nástrojů umělé inteligence jako je například Midjourney, Stable Diffusion nebo textový model ChatGPT 3. Programy vytvořené pomocí umělé inteligence budou přeneseny do herního enginu Unity, kde bude následně hodnocena jejich funkčnost. v případě, že programy funkční nebudou, bude zhodnocena obtížnost nalezení takové v kontextu programátor/laik a následná schopnost umělé inteligence tuto chybu opravit.

1.6 Přínosy pro vědu a výzkum

Teoretická část práce si klade za cíl zmapovat současnou situaci na poli dětských produktů využívajících rozšířenou realitu. Výsledky této analýzy je možno dále využít jako základní kámen pro vývoj jiného produktu založeného na principech rozšířené reality, a to vzhledem k přehledné kvalifikaci jednotlivých

přístupů k interaktivitě samotného produktu, kdy jsou zastoupeny všechny typy produktů od čistě virtuálních, až po elektronické, fyzické produkty, které dokáží přímo reagovat na dění v rozšířené realitě.

Technologickou analýzu lze aplikovat obecněji na produkt využívající rozšířenou realitu jako takový. Z hlediska výzkumu je podstatná zejména část realizovaná ve spolupráci s fakultou aplikované informatiky, která analyzuje různé možnosti detekce fyzických objektů, a to z hlediska technického, finančního, a především z hlediska možností aplikace v reálném produktu.

Praktická část práce si dává za cíl vývoj konkrétního produktu, nicméně nastiňuje další možnosti jeho rozvoje nebo možnosti jeho aplikace v jiných oborech. Principy aplikované při vývoji aplikace pro mobilní telefon ukazují možnosti převodu dat získaných z reálného světa do digitální podoby, a tím pokládají základ pro vývoj dalších produktů využívajících procedurálního generování obsahu založeném na reálných datech.

2. Analýza

2.1 Základní pojmy a definice

2.1.1 Hračka

Hračka, tedy předmět určený k dětské hře, provází lidstvo prakticky od počátku věků. v průběhu této doby se samozřejmě vyvíjela, a to jak svou ideou, tak i tvarem a materiálem. Od původních, ručně vyráběných hraček ze dřeva a tradičních materiálů se dnešní produkce hraček posunula především k sériově vyráběným artiklům, u kterých se dominantním materiálem stal plast. [7]

Dle legislativy je hračka definována jako produkt, navržený (výlučně i nevýlučně) ke hraní dětem do čtrnácti let věku. Svým určením je pak hračka důležitým a nezastupitelným produktem v životě dítěte, který přispívá ke správnému psychologickému i motorickému vývoji dítěte. [7]

Dětská hračka se stejně jako v minulosti musí vyvíjet i nadále tak, aby reflektovala potřeby a touhy dnešních dětí. Lze očekávat i pozorovat, že mobilní telefony se budou stále více stávat běžnou součástí dětské hry, ať už jako její doplněk, nebo jako její přímý zdroj. Integrace chytrých technologií do budoucích hraček a jejich propojení s telefony a tablety, tak bude jednou z možných cest, jak hračkám uchovat jejich aktuálnost.

2.1.2 Virtuální, rozšířená a mixovaná realita

Tři pojmy uvedené v nadpisu, tedy virtuální, rozšířená a mixovaná realita, tvoří celek, který je obecně nazýván termínem extended reality. Tyto jednotlivé pojmy mohou být často zaměňovány, neboť se především pro laickou veřejnost může jejich rozčlenění jevit jako matoucí a nejasné. Tato kapitola si dává za cíl zmapovat rozdíly mezi jednotlivými technologiemi tak, aby jejich aplikace v rámci analýzy a následné praktické části této disertační práce mohla být jasně definovatelná a rozpoznatelná. Je však třeba zmínit, že většinu dnešních aplikací a her nelze úplně přesně rozdělit do těchto tří kategorií, neboť se často pohybují někde na hranici, a to většinou buď z technologických nebo bezpečnostních důvodů. Důležitým pojmem je takzvané virtuální kontinuum, což je koncept, který mapuje a škáluje různé možnosti mezi kompletně reálným a zcela virtuálním světem. [8]

Rozšířená realita

Rozšířená realita (augmented reality) je technologie, která umožňuje umístit virtuální objekty do reálného světa a vytvořit tak iluzi, že v něm skutečně jsou. v rozšířené realitě však není možná interakce mezi digitální a fyzickou složkou uživatelského zážitku. Svým charakterem je tak především informativní a z výše zmíněných technologií má ve virtuálním kontinuu nejbližší k reálnému světu [8].

Dle Azumy virtuální realita neumožňuje člověku vnímat reálný svět, nachází-li se v ní. Rozšířená realita je pak její variací, která člověku reálný svět umožňuje vnímat, doplněný o další informace. Na rozdíl o virtuální reality reálný svět nenahrazuje, ale pouze doplňuje [9]. Ze tří zmíněných technologií je pro běžnou veřejnost asi nejznámější, protože dobře funguje i na obyčejném chytrém telefonu a stala se součástí mnoha známých her i praktických aplikací. Typickým příkladem může být aplikace, která při zaměření fotoaparátu do krajiny zvýrazní důležité krajinné body, vypíše názvy viditelných hor apod.

Mixovaná realita

Mixovaná realita (mixed reality) podobně jako realita rozšířená, umožňuje umístění virtuálních objektů do reálného prostoru. Na rozdíl od rozšířené reality však uživatel může interagovat jak s reálnou, tak i virtuální složkou a tím je vzájemně ovlivňovat. [8] Příkladem použití mixované reality může být například virtuální kancelář s velkými monitory, do které však mixovaná realita přenesou skutečnou klávesnici a myš, které uživatel ve virtuálním světě vidí a může s nimi standardně interagovat jako v reálném světě.

Virtuální realita

Virtuální realita oproti dvěma předchozím nebere ohled na reálný svět a jejím cílem je zobrazit čistě virtuální složku. [8] S demokratizací VR headsetů se objevila spousta her zaměřených čistě na virtuální světy. Typickým příkladem VR aplikace může být například hra Beat Saber nebo 3D modelovací program Gravity sketch, který však lze využívat i v režimu mixované reality.

2.2 Současný stav trhu

Dětský segment rozšířené reality je v současné době úzce zaměřen na rozšířenou realitu distribuovanou mobilními telefony. To lze přisuzovat skutečnosti, že cena headsetů pro rozšířenou realitu je stále velmi vysoká. Tato zařízení jsou často pro vývojáře a především pro cílovou skupinu nedostupná. Dětskou produkci můžeme obecně rozdělit na samostatné aplikace a aplikace vyžadující ke své funkci nějakou fyzickou hračku (věc). Především druhou jmenovanou kategorií lze považovat za současný trend, kdy nové a stále dokonalejší produkty přicházejí na trh a nabízejí vysokou míru interakce mezi dítětem – hračkou – aplikací.

Následující kapitola se bude zabývat rozbořem jednotlivých řešení, dostupných na dnešním trhu, jak z hlediska designu, tak i funkce.

Pokémon GO

Pokémon GO je mobilní hra firmy Niantic vydaná v roce 2016 na platformách Android a iOS [10]. Vzhledem ke své obrovské popularitě je hra do dnešního dne pravidelně aktualizována a postupně vylepšována. Hra je založena na licenci populárních japonských her, seriálů a komiksů Pokémon na jejíž původní ideu navazuje. Principem a zároveň motivací pro hru je lov a sběr virtuálních monster, takzvaných Pokémonů, kteří jsou do hry vývojáři postupně přidáváni a v roce 2020 je jich ve hře přibližně 600 druhů. Hlavním cílem hráče by mělo být získání všech druhů Pokémonů, případně získání co nejsilnějšího Pokémona, kdy s postupem hrou hráč narazí na silnější a silnější Pokémony jednoho druhu.

Základní herní mechanikou je tedy lov Pokémonů, ten probíhá ve dvou fázích. Hra neustále generuje virtuální Pokémony na různých souřadnicích na mapě. To, jaký druh Pokémona hra vygeneruje v daném místě určuje několik podmínek: biom, počasí, denní doba, kontinent, náhoda. Většinu Pokémonů lze ulovit celosvětově, někteří jsou však přímo vázáni na kontinent a v případě, že chce hráč ulovit všechny, musí tyto kontinenty navštívit. Hra snímá hráčovu polohu GPS a v případě, že se hráč nachází poblíž místa, kde byl vygenerován Pokémon, tento se objeví na herní mapě. v případě, že na něj hráč klikne, začíná druhá fáze lovu, která se odehrává v rozšířené realitě. Hráč sleduje obrazovku telefonu, která je v režimu fotoaparátu. Hráč se rozhlíží kolem sebe ve snaze objevit Pokémona, kterého hra do prostředí zasadí. Jakmile hráč Pokémona lokalizuje, musí po něm hodit takzvaný Pokéball (zařízení na lov Pokémonů). Hod se realizuje pomocí gesta provedeného na obrazovce. v případě úspěchu hráč chytí Pokémona a ten se zařadí do jeho sbírky. v případě neúspěchu hráč přichází o jeden Pokéball a má další pokus na ulovení. Tuto základní mechaniku rozšiřují mechaniky další.



obr. 2-1 Hra Pokémon GO [11]

Hráč má omezený počet Pokéballů, v případě že mu dojdou nemůže lovit další Pokémony. Nové Pokébally lze získat dvěma způsoby. Prvním způsobem je návštěva takzvaného Pokéstopy. Pokéstopy jsou zajímavá místa vyznačená na mapě (typicky pomník, boží muka, pamětní deska) u kterých, pokud se hráč zastaví, doplní se mu několik Pokéballů do inventáře. Druhou cestou, jak Pokébally získat, je zakoupení těchto Pokéballů za reálné peníze skrze obchod integrovaný v aplikaci. Některé Pokémony lze hůře chytit, v takovém případě je třeba je zklidnit ovocem, které se získává obdobně jako Pokébally.

Chycené Pokémony má hráč možnost vylepšovat pomocí Candies, které jsou speciální pro každý druh Pokémona a získávají se lovem Pokémonů stejného druhu.

Podstatnou herní stránkou jsou i souboje, ty se odehrávají v takzvaných Gymech, které jsou podobně jako Pokéstopy rozmístěny na významných místech na mapě. Hráč si po založení herního účtu vybere jeden ze tří týmů (červený, žlutý, modrý), který následně reprezentuje. Konkrétní Gym může být vždy pod kontrolou právě jednoho týmu. Pokud je hráč členem týmu, který Gym ovládá může do něj poslat svého Pokémona, aby tento Gym bránil. Cílem ostatních týmů je pak Gym dobýt. Aby byl Gym dobyt, vysílají hráči konkurenčních týmů své Pokémony do Gymu, kde musí porazit všechny Pokémony tento Gym bránící. Samotný souboj probíhá formou rychlého klikání na obrazovku, kdy na základě tohoto klikání a CP bojujících Pokémonů je zápas vyhodnocen. v Gymech se občasně generují i takzvané raidy, kdy Gym ovládne vzácný Pokémon a několik hráčů najednou se může pokusit tohoto Pokémona týmově porazit a tím pádem získat možnost chytit si jej do své sbírky.

Soubojový systém lze obecně považovat za slabší stránku hry. Jeho jednoduchost otevřela hru i mladším hráčům, nicméně právě tato jednoduchost ho zároveň činí velmi automatizovaným a repetitivním, díky čemuž mnoho hráčů hra přestane brzy bavit. Zde se nabízí srovnání se soubojovým systémem původních Pokémon her vyvíjených na konzole od společnosti Nintendo. Souboj v těchto hrách probíhal tahově, kdy hráč mohl v každém tahu volit mezi různými typy útoků, obran, případně různých podpůrných akcí a samotný souboj tak získal taktický prvek, kdy i se slabším Pokémonem bylo možné porazit silnějšího. Souboje tak byly zajímavější, více motivující a v případě vítězství přinášely i větší pocit zadostiučinění. i z hlediska celkového přínosu hry lze souboj, ve kterém je třeba zapojit taktické uvažování, považovat za vhodnější, než systém založený na bezduchem klikání.

Obecně lze však říct, že hra jako taková byla z hlediska hratelnosti zdařilá. Za její jednoznačný přínos lze rozhodně považovat to, že motivovala hráče,

a především děti k pohybu, byť s mobilem v ruce. Toto mělo samozřejmě i negativní dopady, kdy častým problémem bylo například hraní za volantem, což zvyšovalo riziko dopravní nehody. Autoři proti tomuto bojovali přidáním funkce, kdy, pokud hra rozpoznala, že se hráč pohybuje příliš rychle, byl tento hráč upozorněn, že pokud řídí neměl by nadále hrát. Dalším problémem pak bylo, že Pokéstopy a případně Pokémoni se objevovali na místech, kde to například z důvodu piety nebylo vhodné, což svého času vytvořilo velkou vlnu kritiky.

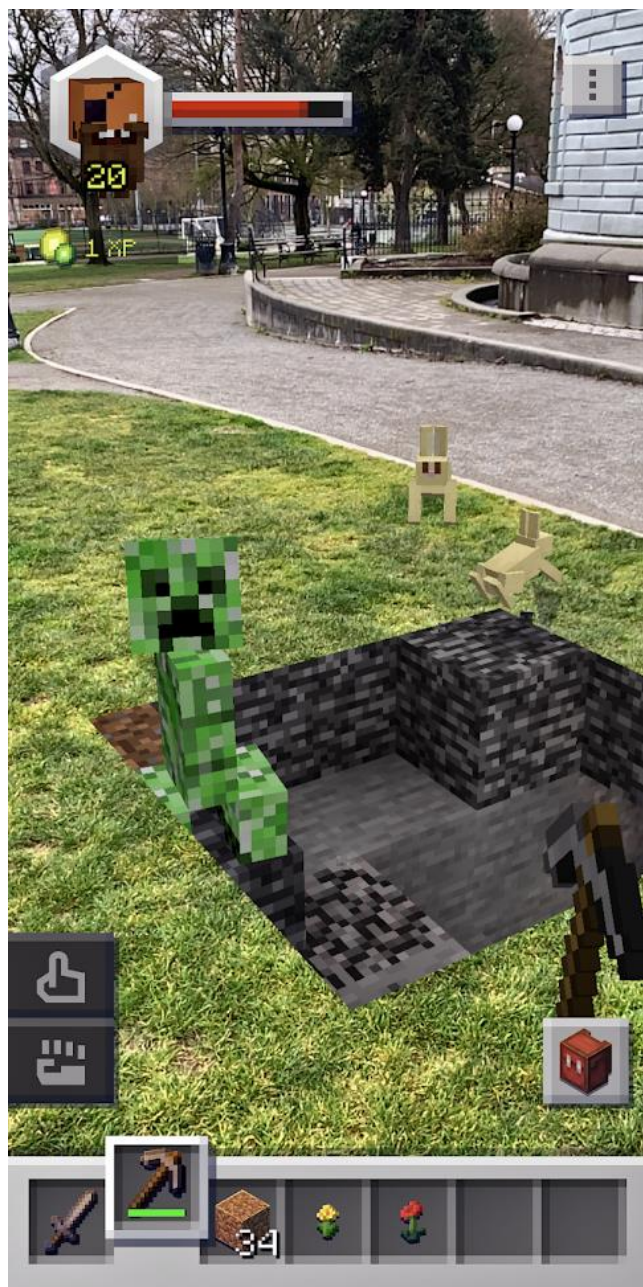


obr. 2-2 Mapa Pokémon GO [12]

Z hlediska grafického zpracování lze hru považovat za zdařilou. Vzhledem k tomu, že využívá známou licenci, je většina herních prvků vytvořena na základě ní. 3D modely Pokémonů jsou obecně vydařené a odpovídají hardwarovým možnostem mobilních zařízení. Zasažení Pokémonů do rozšířené reality bylo zpočátku problematické nicméně s příchodem knihoven ARCore (Android) a ARKit (iOS) bylo zásadně vylepšeno a generované prvky jsou tak dnes vkládány do skutečného prostředí relativně uvěřitelně. Výtku lze mít ke zpracování herní mapy, která působí dosti jednoduše a sterilně. Je možné, že toto rozhodnutí bylo učiněno s ohledem na optimalizaci pro méně výkonná zařízení, ale vzhledem k tomu, že studio Niantic spadá pod mateřskou firmu Google, lze předpokládat, že z mapových podkladů této firmy bylo možné získat více a vytvořit mapu vizuálně přitažlivější, ať už z hlediska barev, biotů a především domů, které by mohly být automaticky generovány do vizuálně atraktivnější formy.

Za přinejmenším problematickou lze považovat monetizační strategii produktu, kdy si nákupem virtuálních předmětů může hráč pomoci k rychlejšímu

nějaký konkrétní úkol zadaný hrou, případně volná stavba. Grafické zpracování je velmi zdařilé a působí mnohem více živě a atmosféricky, než je tomu u Pokémon Go. Příjemný pocit je zřejmě dán především saturovanými barvami, které světu dodávají živější a pozitivnější nádech. Zároveň je většina modelů v mi-



obr. 2-4 Minecraft Earth [13]

necraftu tvořena krychlemi nebo jinými tělesy s nízkým počtem vertexů, což umožňuje výpočetní výkon zařízení investovat do kvalitnějšího vykreslení těchto objektů.

Z hlediska imerze jsou problematické dvě věci. Aby hra umožňovala postavit nějakou komplexnější stavbu (což je hlavní herní prvek klasického Minecraftu) byla by třeba větší herní plocha, což by ovšem přinášelo problémy s navigací hráče a zvyšovalo již tak relativně vysokou náročnost hry na fyzickou plochu pro zasazení AR prvků. Druhou možností by bylo herní bloky ve vztahu k fyzickému prostoru zmenšit, což by ovšem vedlo ke stíženému ovládní a špatné rozlišitelnosti na malém displeji mobilního zařízení. Efektivní řešením tohoto problému by bylo využití AR headsetu, který nabízí větší zorné pole, než sledování skrze mobil a zároveň hráči uvolní ruce, díky čemuž by mohl ovládat hru ve třech osách na rozdíl od dvou os na mobilním zařízení.



obr. 2-5 Minecraft pro Hololens [15]

Zajímavým kontrastem je v tomto případě původní prototyp hry Minecraft pro platformu Hololens z roku 2015 [16]. Toto technologické demo umožňovalo interakci s klasickým Minecraftem pro počítače, kdy uživatel s Hololens headsetem mohl prohlížet a interagovat s touto hrou. Prototyp byl ovládán gesty a hlasem a napříč světem herních novinářů vzbudil velmi pozitivní ohlasy. Hololens se později profiloval spíše profesionálním směrem, především kvůli vysoké ceně této technologie a tento prototyp se tak k reálným uživatelům nikdy nedostal.

AR Tanks

Poněkud odlišný koncept interaktivity přináší hra AR Tanks [17]. Základní herní mechanikou je v tomto případě souboj tanků. Stejně jako u všech dříve zmíněných her je prvním krokem, který hráč musí udělat, nalezení vhodné rovné herní plochy, kterou aplikace může trackovat. Na tuto plochu je pak následně namapován virtuální stůl, na kterém je vykresleno herní prostředí. Typickým příkladem prvků prostředí jsou stromy, barely nebo vojenské prvky. Herní mapy jsou náhodně generovány a liší se biomy, kdy jedna hra se odehrává v lese mírného pásma a jiná například v poušti.



obr. 2-6 AR Tanks [17]

Na mapě se dále nachází hráčův tank a obvykle i jeden nebo více nepřátelských tanků. Nepřátelské tanky mohou být ovládány umělou inteligencí nebo živými protihráči na lokální síti. Zvláště hra více hráčů dodává hře zajímavý přesah, jelikož přidává do hry sociální aspekt, kdy na sebe hráči vidí a vzhledem k nutnosti fyzického pohybu okolo mapy nabízí zajímavé možnosti interakce. Samotné ovládnání se prakticky skládá ze dvou samostatných částí. Zamířením mobilu ovládá hráč, kam bude jeho tank střílet. Uprostřed obrazovky se nachází zaměřovací kříž, který určuje, kam střela dopadne.



obr. 2-7 AR Tanks [17]

Pohyb tanku hráč ovládá virtuálním joystickem na levé straně displeje, střelbu tlačítkem na pravé straně. Zvláště ovládání pohybu vyžaduje soustředění a může být přínosné například pro zlepšení koordinace pohybů nebo prostorové představitivosti. Jelikož hráč musí při pohybu joystickem pružně reagovat na svůj vlastní pohyb kolem mapy ve fyzickém světě.

Hra má ještě několik dalších herních mechanik v podobě vylepšování tanku za herní měnu, kterou hráč vydělává hraním. Tank lze tímto způsobem docela výrazně esteticky změnit, nicméně hra k tomu nedostatečně motivuje a pocit z vylepšení není zdaleka tak odměňující jako například v Pokémon GO nebo jiných hrách.

Grafické zpracování hry je velmi zdařilé. Míra detailů odpovídá vzdálenosti, ze které hráči hru pozorují a zachovává dobrou odlišitelnost jednotlivých tanků a objektů. Zvláště vizuálně atraktivně vypadají například přelety letadel nad herní mapou, kdy tato letadla vrhají stín a dodávají herní mapě pocit hloubky. Využití rozšířené reality v tomto případě není úplně dokonalé, nicméně tento nedostatek částečně vychází ze samotné povahy hry. Rozšířená realita zde plní funkci především z hlediska trackování a tedy i poměrně nekonvenčního ovládání, ale jinak je spíše mechanikou estetickou a svým způsobem samoúčelnou. Interakce s reálným prostředím je nevyužitá (byť v tomto případě by byla i technicky komplikovaná) a rozšířená realita zde slouží především jako měřítko, které dodává hráči pocit, že si hraje s roztomilými dětskými tanky. v případě, že by však žádná rozšířená realita použita nebyla, hratelnost by zůstala prakticky stejná bez výraznějších změn nebo efektů, což není ideální stav. v tomto případě by se přímo nabízelo vytvořit ze hry hračku s reálnými tanky na dálkové ovládání, které by bylo možno esteticky virtuálně vylepšovat, interagovaly by jak s reálným, tak i virtuálním

prostředím a naplnily by tak potenciál rozšířené reality, byť za cenu výrazného zvýšení ceny produktu, oproti aplikace, která stojí 49 Kč.

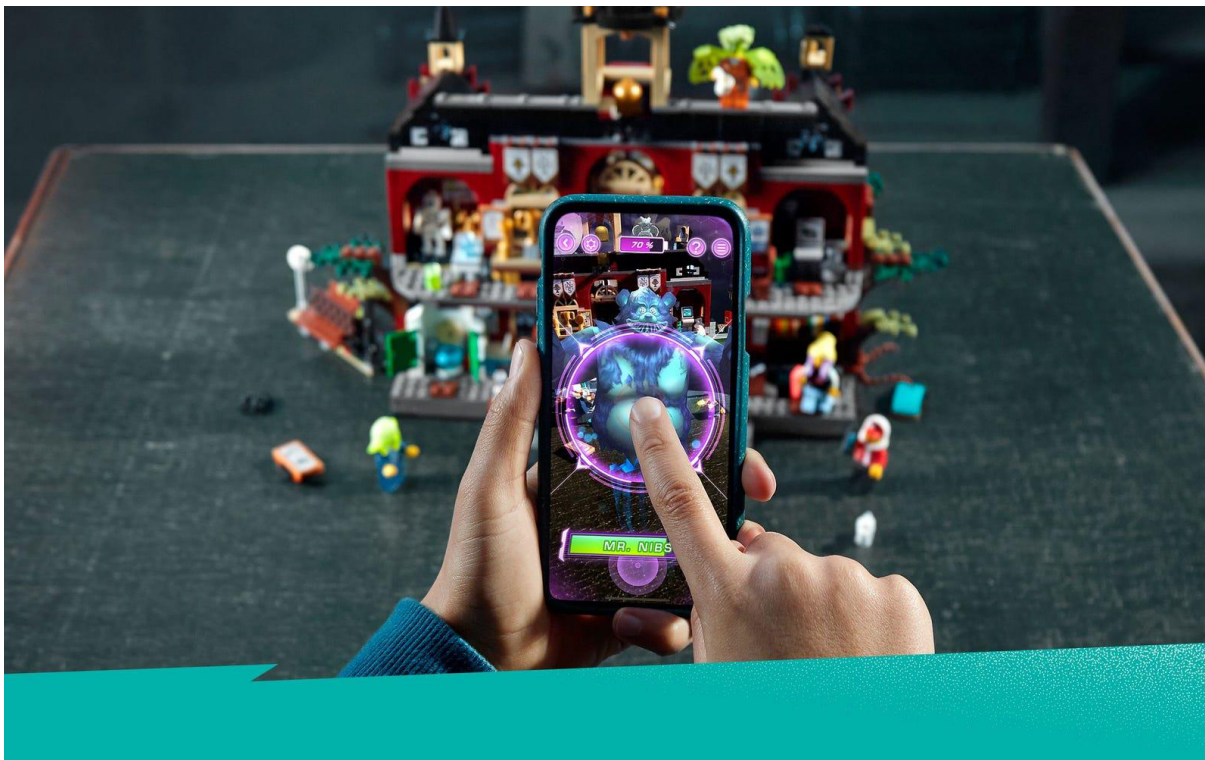
Lego Hidden side

Vzhledem k několika pokusům firmy Lego na poli produktů AR, lze vnímat, že firma v tomto odvětví vnímá potenciál. i přes předchozí pokusy lze Hidden side [18] vnímat jako první funkční produkt na poli rozšířené reality včetně komplexního zpracování tematiky. Jako většina produktů společnosti Lego po roce 2000 se vyznačuje dvěma typickými rysy. Tím prvním je orientace na rámcový příběh, který sety provází a slouží jako základ pro budování dalších příběhů dětskou fantazií. Druhým rysem je snaha o přidání sběratelského prvku jako motivace k nákupu dalších produktů. Oba tyto rysy jsou silně akcentovány v aplikaci, kdy příběh je vyprávěn pomocí mini komiksů i samotným hraním. Sběratelská funkce je v aplikaci zastoupena zobrazováním všech stavebnic, kdy dítě může interagovat pouze s těmi, které má zakoupené a zároveň každá ze stavebnic vypraví část příběhu, tedy je pro jeho kompletní znalost nutné vlastnit všechny stavebnice. Sběratelství je dále podpořeno možností vylepšovat herní postavy dalším hraním, což lze ovšem považovat za pouhou snahu prodloužit životaschopnost hry a hračky, jelikož se snaží motivovat k opakování stejné hry, která se poměrně snadno stává repetitivní.



obr. 2-8 LEGO Hidden side [19]

Základní premisou produktové řady je lov duchů, což je s ohledem na propojení s rozšířenou realitou velmi vhodně zvolené téma, jelikož duchové jako věc nefyzická se zobrazují v rozšířené realitě, zatímco figurky lovců jsou skutečné. Dochází tak k jasné diferenciaci reálné a virtuální složky hry a hra tedy není pro dítě matoucí. Za diskutabilní lze považovat to, že hlavní postavy lovců jsou mladí studenti a především youtubeři. Toto nastavení je sice logické z hlediska toho, že jako youtubeři tyto postavy loví duchy pomocí svých mobilních telefonů, stejně jako děti, které si s hračkou hrají. Podtrhování youtuberů jako dětských vzorů a idolů nemusí být šťastné, ať už vzhledem k jisté nebezpečnosti internetu pro děti, tak i motivaci dětí pro budoucí povolání snů, kterým dnes toto povolání právě často je.



obr. 2-9 LEGO Hidden side [20]

Ve vizuální stránce samotných hraček lze pozorovat inspiraci například v Ghost Busters, Scooby-Doo nebo částečně například i v Simpsonových. Téma je tedy spíše odlehčené a sázející na humor než strašidelné. Jinak se samozřejmě jedná o klasické Lego, které je nutné před samotnou hrou složit, včetně jeho hranaté estetiky. Jednotlivé sety zobrazují klasická místa spojovaná s duchy, jako například hřbitov, laboratoř nebo strašidelný dům. Jak je pro Lego obvyklé, každá sada obvykle obsahuje interaktivní herní prvky řešené pomocí jednoduchých převodů nebo jiných mechanismů, takže má i jistou intuitivní edukativní funkci v oblasti mechaniky. Tyto herní funkce jsou oproti klasickým lego stavebnicím rozvedeny i do roviny aplikace, kdy například otočením prvku v reálném světě lze patřičně ovlivnit rozšířenou realitu generovanou aplikací.

Aplikace přímo navazuje na hračku. Hráč má k dispozici dva herní módy. Režim lovce duchů a ducha. Režim lovce duchů lze považovat za zajímavější, především díky integraci rozšířené reality. Hráč zvolí v menu stavebnici, kterou má dostavenou a zaměří na ni mobilní telefon. Jakmile hra hračku úspěšně naskenuje, doplní ji na displeji telefonu o virtuální prvky, jako je prostředí, efekty a tak podobně. Cílem hráče je pak v tomto prostředí najít duchy. To probíhá formou minihry, kdy hráč musí na stavebnici najít rozzářené body, takzvaný gloom. Jakmile takových bodů objeví dostatek, objeví se duch, kterého hráč musí ulovit. Lov probíhá podobně jako souboje ve výše zmíněné hře Pokémon Go, tedy frenetickým klikáním na displej. Jakmile je duch uloven, je přidán sbírky a hra buď pokračuje

hledáním dalšího nebo končí. Tento systém je na první pohled efektní, ale brzy se kvůli přílišné repetitivnosti omrzí. To částečně omezují různé stavebnice, které zážitek ze hry alespoň částečně mění, případně interaktivní prvky v nich obsažené, které vyžadují fyzický úkon pro odemčení dalšího postupu ve hře. Část aplikace založená na hře za ducha již bohužel rozšířenou realitu neintegruje a jedná se o poměrně klasickou mobilní akci z pohledu třetí osoby v prostředí shodném s prostředím stavebnic. Hra za ducha se také vyznačuje repetitivností a snaží se hráče motivovat možností vylepšovat své duchy, ovšem vzhledem k tomu, že je určena pro jednoho hráče a obtížnost se nestupňuje, lze tuto motivaci považovat za nedostatečnou.

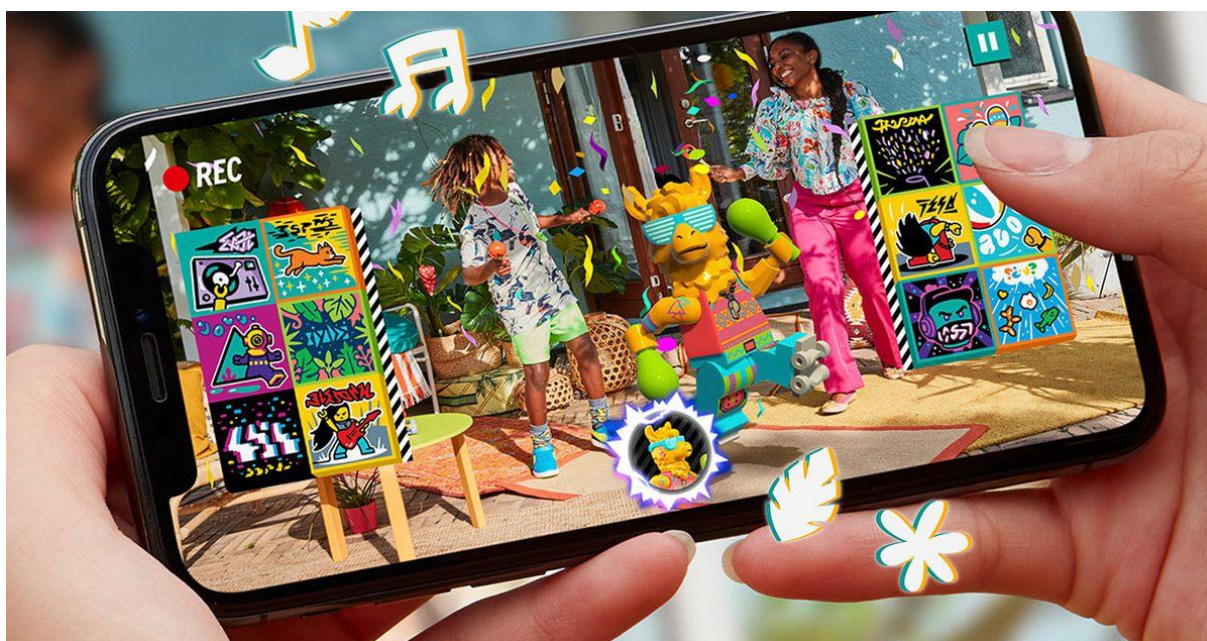
LEGO VIDIYO

Zajímavý kontrast k výše zmíněné LEGO stavebnici tvoří řada Vidiyo [21] od stejného výrobce, která je novinkou pro rok 2021 a snaží se úzce zacílit na skupinu dětí na základních školách, nicméně zároveň do značné míry popírá filozofii společnosti Lego jako značky. Řada je jasnou reakcí na trend aplikace TikTok, kdy se snaží vytvořit konkurenční a zároveň bezpečnější platformu pro děti. v případě této řady je stavitelská a hrací část hračky zredukována na absolutní minimum a důraz je zde kladen především na sběratelský faktor a jeho převedení do digitálního světa. Tématem řady je virtuální kapela a uživatel tak sbírá hudebníky v podobě Lego minifigurek a zároveň takzvané BeatBits. Z designového hlediska je u minifigurek i BeatBits vidět snaha o přiblížení se současnému hudebnímu průmyslu. Barvy jsou svěží, kombinace divoké a figurky působí esteticky dobře a velmi aktuálně. Díky průhledným plastovým krabičkám je možné si je poměrně efektně vystavit.



obr. 2-10 LEGO VIDIYO [22]

Základním herním prvkem této řady je vytváření hudebních klipů a jejich následném sdílení na platformě VIDIYO, kde jsou zkontrolovány místními kurátory a v případě nezávadnosti zveřejněny. Pro vytvoření videoklipu hráč nejprve zvolí z nabízených možností písničku. Vzhledem ke spolupráci s Warner Bros. music, jsou nabízené písničky současné a výběr je poměrně velký. Následně musí uživatel naskenovat svou figurku a BeatBits pomocí mobilního telefonu. Figurka v klipu slouží jako protagonista, BeatBits, což jsou potištěné ploché kostky reprezentující různé činnosti, efekty a filtry, které lze v klipu použít. Po úspěšném skenu uživatel jen vybere plochu, na které se má figurka v rozšířené realitě zobrazit a může začít natáčet. Uživatelské rozhraní je složeno z naskenovaných BeatBits, kdy stisknutím příslušného bitu hráč aktivuje činnost ve videoklipu. Hračka jako taková má relativně nízkou variabilitu, kterou lze rozšiřovat přikupováním dalších figurek a BeatBits, jinak by se možnosti klipů velmi rychle vyčerpaly. i tak se jedná o poměrně jednotvárnou činnost, která se relativně rychle omrzí. Odebráním fyzické hrací složky se pak Lego připravilo o svou největší výhodu. Rozšířená realita je zde cílem, nikoliv prostředkem. Pokud by žádné fyzické figurky a BeatBity neexistovaly, nemělo by to na hrátelnost ani na zážitek žádný vliv.



obr. 2-11 LEGO VIDIYO [23]

Nabízí se zde především srovnání s řadou Lego Studios z přelomu tisíciletí, kdy stavebnice byly navrženy jako filmové studio, vybaveny kamerou a zároveň kolejnicemi a závěsy pro vytváření záběrů. Tyto stavebnice obvykle obsahovaly i herní prvky na tvorbu jednoduchých triků a akčních scén. Edukativní prvek ve formě ukázky, jak funguje skutečné natáčení a zároveň možnost natáčet se skutečnými, fyzickými předměty, lze považovat za pro dítě mnohem cennější než

natáčení virtuální postavičky s relativně malou možností ovlivnění ze strany dítěte. Zároveň si lze těžko představit, že by děti začaly preferovat sociální síť VI-DIYO před sítí TikTok, která nabízí více kreativních možností, lidské herce, ale zároveň je bohužel i nebezpečnějším místem.

Mario Kart Live: Home Circuit

Mario Kart Live [24] je rozhodně nejambicióznějším a z hlediska rozšířené reality i nejkompexnějším produktem na současném trhu. Základem jsou autíčka na dálkové ovládání, v tomto případě stylizované do stylu ikonické postavy Maria. Koncept je však funkcemi rozšířené reality rozvinut do podoby, jakou hráči znají z konzolových nebo počítačových her typu Kart, ve kterých autíčka obvykle mohou používat různé zbraně, vylepšení nebo podobné efekty a tím získat nad soupeři výhodu. Síla konceptu tkví právě v tom, že fyzické autíčko je na dálkové ovládání, tedy je řízeno přímo hráčem, ale zároveň díky své elektronice může reagovat na podněty dějící se v rozšířené realitě, čímž uzavírá pomyslný kruh a tato skutečnost je její hlavní výhodou nad ostatními hračkami v této kategorii. Hra je určená pro herní konzoli Nintendo Switch, které slouží jako ovladač pro autíčko. Auto je zároveň vybaveno kamerou, umístěnou nad figurkou řidiče, která přenáší do konzole obraz a hráč tak hru ovládá přímo z perspektivy malého auta. Kromě auta jsou v balení ještě dvě směrové šipky, které lze využít k ukázání směru jízdy, 4 brány, které reprezentují start/cíl a zároveň jsou místy, kde může hráč získat výše zmíněnou výhodu v podobě zbraně, aktivovat nějaký efekt apod.



obr. 2-12 Mario Kart Live [25]

Samotná hra začíná stavbou trati, kdy uživatel vhodně rozestaví brány a šipky a obecně může využít prakticky cokoli v domácnosti najde pro definování fyzických překážek. Jakmile je trať hotová, je třeba ji autíčkem projet, čímž se herní okruh uloží do konzole a je následně zobrazován v rozšířené realitě. Hráč může nastavit funkci každé z bran a následně může začít závodit. Závodit lze buď proti protivníkům generovaným v rozšířené realitě, nebo proti druhému autíčku, pokud hráč takové vlastní. Samotná hra pak probíhá jako klasický závod. Autíčko pružně reaguje na vše, co se děje v rozšířené realitě a například se v případě kolize roztočí. Postupným hraním lze odemknout několik rychlostních tříd pro autíčko, kdy maximální rychlost je na začátku softwarově omezoována. Zároveň lze hraním odemkat různé vzhledy pro virtuální verzi auta a hráč si ho tak může do značné míry personalizovat.



obr. 2-13 Mario Kart Live [26]

Z výtvarného hlediska jsou autíčka i ostatní prvky vyvedeny ve vizuálním jazyce firmy Nintendo a v tomto ohledu jim nelze nic vytknout. Přestože je fyzická hra se samotným autíčkem díky dálkovému ovládní prakticky eliminována, je tato složka nahrazena stavbou trati, což vyžaduje jistou míru kreativity a šikovnosti, tedy je výsledný efekt pozitivní. Nevýhodou je pak vysoká pořizovací cena, která se včetně nákupu konzole, která je ke hře třeba, může vyšplhat až k 10 000 Kč. Na druhou stranu však hračka nabízí vysokou míru variability, a to jak v podobě prakticky neomezených možností stavby trati, tak i z hlediska možnosti rozšiřování aplikace vývojáři.

2.2.1 Vícekriteriální analýza produktů

Následující tabulka prezentuje srovnání produktů, zmíněných v předchozí analýze, v rámci parametrů možných interakcí s rozšířenou realitou. Doplnkovým parametrem je v tomto případě cena, která je dána průměrnou cenou na agregátoru Heureka k 27.12.2022.

tab. 2-1 Vícekriteriální analýza současných produktů na trhu

Produkt	Interaktivita virtuální složky	Interaktivita – fyz. > vir. složka	Interaktivita – vir. > fyz. složka	Odůvodněnost použití XR	Průměrná cena
Pokémon GO	2	1	1	2	Zdarma (obsahuje mikrotransakce)
Minecraft Earth	3	1	1	2	Zdarma (obsahuje mikrotransakce)
AR Tanks	3	1	1	2	60 Kč
Lego Hidden side	3	3	1	3	575 Kč
Lego Vidiyo	3	2	1	1	401 Kč
Mario Kart Live: Home Circuit	3	3	3	3	2 379 Kč + Nintendo Switch (6 038 Kč)

Legenda: Interaktivita virtuální složky, Interaktivita na ose fyzická > virtuální složka, Interaktivita na ose virtuální > fyzická složka, Odůvodněnost použití technologií XR. Všechna kritéria mají stejnou váhu a jsou hodnoceny na škále 1 – nevyhovuje, 2 – vyhovuje s výhradami, 3 – vyhovuje

Z tabulky lze vyčíst, že mezi cenou produktu a kvalitativní úrovní rozšířené reality existuje korelace. Nejdražší produkt, tedy Mario Kart Live: Home Circuit obdržel jako jediný maximální možné hodnocení. Dlužno podotknout, že vstupní náklady jsou v případě tohoto produktu řádově vyšší než u ostatních.

Druhý nejvyšší počet bodů obdržel Lego Hidden side. U této stavebnice je míra interaktivity částečně dána konkrétním typem stavebnice, kdy větší produkty nabízejí více hracích prvků, avšak za výrazně vyšší cenu.

Ostatní analyzované produkty obdržely srovnatelný počet bodů a nelze u nich pozorovat výraznější rozdíly, byť v plnění jednotlivých kategorií se od sebe vzájemně liší.

Jako nejhorší lze hodnotit produkt Lego Vidiyo, který sice nezískal nejnižší počet bodů (7; nejnižší známka 6), ale v kontextu ceny za jeden produkt se vyplatí z uvedených možností nejméně.

V rámci produktu určeného pro děti je třeba zmínit mikrotransakce, které se vyskytují u prvních dvou produktů a které mohou být v případě neopatrnosti rodičů návykové a nebezpečné.

2.3 Rešerše souvisejících patentů

V rámci rešerše byly prostudovány i patenty, které se zabývají aplikací rozšířené reality v segmentu hračky nebo vzdělávací pomůcky.

Education system using augmented reality

Principiálně se jedná o deskovou hru pro výuku dětí. Žáci mají k dispozici řadu kartiček a bloků, které reprezentují různé součásti farmy. Tuto farmu žáci postupně budují. Každý žák má své vlastní koncové zařízení, které zobrazuje rozšířenou realitu a zároveň nahrává hru pro učitele. Pedagog má vlastní speciální terminál, na kterém může vytvářet seznamy zúčastněných žáků, stanovovat výukové cíle a sledovat nahraná videa [27].



도면 15



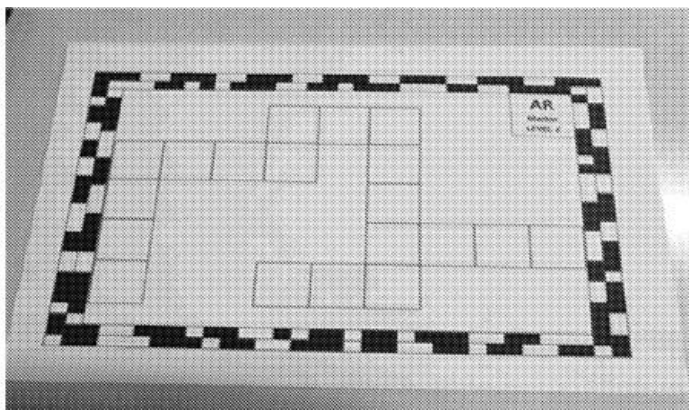
obr. 2-14 Education system using augmented reality [27]

Z hlediska implementace rozšířené reality se jedná o poměrně standardní řešení v podobě rozpoznávání obrázků. Na základě takto naskenovaných obrázků se pak děje simulace farmy a dosažení vytyčených pedagogických cílů. Hlavním přínosem tohoto patentu je zřejmě propojenost celého systému, kdy pedagog stanovuje cíle výuky v reálném čase na svém tabletu a zároveň může průběh výuky sledovat na videích nahraných z dětských tabletů. Zde je třeba vzít v potaz kontext, kdy patent pochází z Korey. v evropských zemích by byl tento způsob sledování žáka na základě nahrávání videa pravděpodobně považován za přinejmenším diskutabilní.

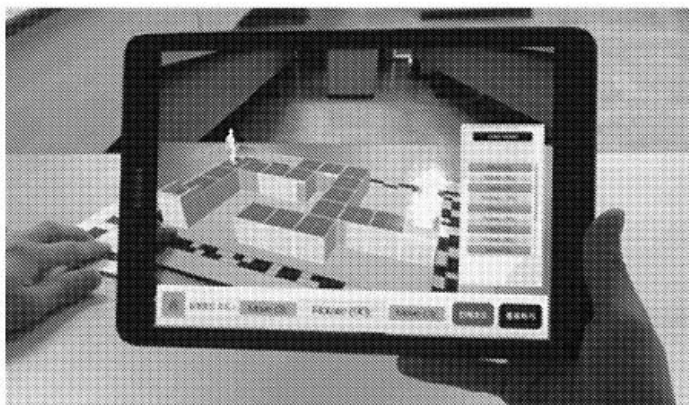
Software coding educational service system using variable smart blocks and augmented reality technology

Patent se skládá z desky a herních figur. Hrací deska dokáže detekovat polohu figur na sobě a odesílat ji do mobilu. Detekce probíhá elektronikou, která je umístěna v desce i figurách. Každá figura má na svrchní straně displej, a její účel tak může být dle potřeby měněn. Figury i deska jsou spojeny s mobilním telefonem. Hráč má dále k dispozici potištěné hrací plány, které reprezentují různé mise.

Každý plán reprezentuje bludiště, po kterém je třeba dostat do cíle panáčka – toto bludiště a panáček se zobrazují v rozšířené realitě jako 3D objekty. Na základě naskenované mise se příslušně vyobrazí na displejích kostek různé příkazy (jdi rovně, jdi doprava atd.). Cílem je vyskládat tyto kostky tak, aby panáček úspěšně prošel bludištěm [28]. Obdobný je i patent stejného autora KR20220064143 [29], který ale na rozdíl od předchozího patentu využívá optickou detekci kamerou a figury se statickým potiskem.



도면 66



도면 7

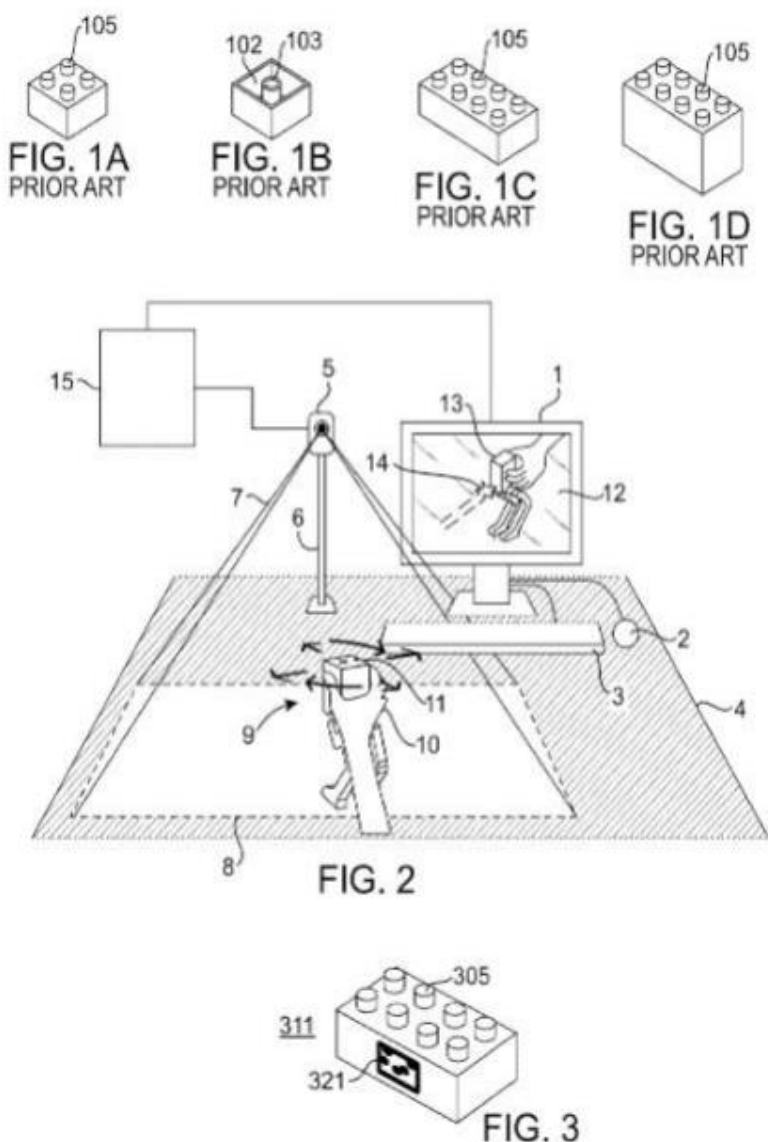
obr. 2-15 *Augmented reality-based educational programming language authoring system using block smart toys [29]*

Obě tato řešení jsou určena k interaktivní výuce programování a svým zaměřením nejvíce připomínají programovací jazyk Karel, který byl vytvořen pro výuku dětí v 80. letech 20. století [30]. Z hlediska rozšířené reality je zajímavá detekce figur, která je obdobná s technologií použitou v této práci. Na rozdíl od ní však snímání bloků neprobíhá kontinuálně v reálném čase, ale jednorázově po stisknutí tlačítka v mobilu. Rozšířená realita je v tomto případě redukována čistě na detekci papírového hracího plánu s misí. Odůvodnění použití rozšířené reality je v tomto případě nejasné a funkce zjevně pouze haptická. Deska s příkazy a deska s herním

plánem jsou od sebe vzájemně odděleny a stejnou funkci jako jednotlivé figury by plnila i virtuální tlačítka přímo v mobilním telefonu, které by bylo nutné sekládat ve správné sekvenci.

Toy construction systém for augmented reality

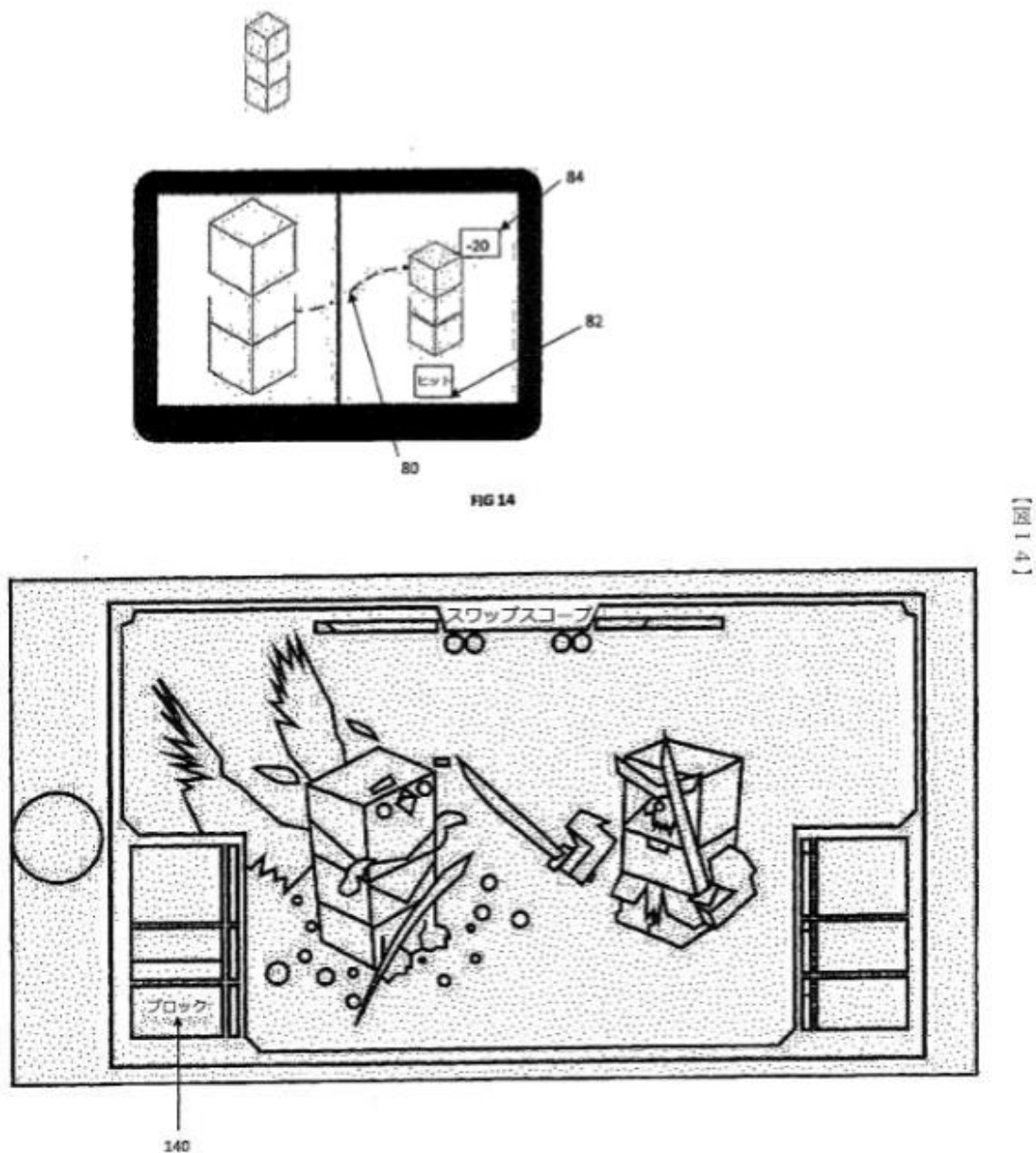
Systém patentovaný společností LEGO, který dokáže rozpoznat markery umístěné na stavebnici a na jejich základě generovat virtuální složku v rozšířené realitě na zobrazovacím zařízení. Součástí patentu je také systém, kdy pohyblivé části hračky mohou marker odkrývat nebo zakrývat a tím vyvolávat patřičnou reakci ve virtuálním světě [31].



obr. 2-16 Toy construction systém for augmented reality [31]

Augmented reality toy

System hračky založený na skládání akční figurky z několika různých částí (např. hlava, tělo, nohy). Každá z těchto částí slouží jako samostatný marker. Kombinací různých těchto markerů tak lze vytvořit různé akční figurky, které následně mají v rozšířené realitě různé vlastnosti [32].



obr. 2-17 Augmented reality toy [32]

2.4 Technologie rozšířené reality

Technické možnosti rozšířené reality jsou již dnes na velmi vysoké úrovni a stále se zlepšují. Pokročilé technologie mobilních fotoaparátů, jako je například LiDAR nebo více objektivů umožňují softwaru velmi přesně porozumět vlastnostem snímaného prostředí a zajistit tak vysokou uvěřitelnost rozšířené reality. Průkopníky v tomto odvětví jsou dnes především Google a iOS a jejich knihovny ARCore [33] a ARKit [34], které demokratizují možnost vývoje aplikací pro rozšířenou realitu a zároveň zaručují vývojářům přístup k nejmodernějším technologiím, vyvíjeným přímo výrobcem hardwaru.

ARCore

ARCore je knihovna pro vývoj aplikací rozšířené a virtuální reality vyvíjená společností Google [33]. Nabízí veškeré základní funkce, které jsou pro vývojáře tohoto typu aplikací. Proti konkurenčnímu řešení od společnosti Apple je jejím největším problémem skutečnost, že operační systém Android využívá obrovské množství výrobců, v různých typech svých telefonů. Podpora různých funkcí této knihovny tak může být závislá na typu zařízení, což vytváří jak pro uživatele, tak i vývojáře relativně netransparentní prostředí. Oproti konkurenčnímu řešení ztrácí ARCore také v některých pokročilejších funkcích.

ARKit

Druhé standardní řešení na poli mobilních telefonů je ARKit od společnosti Apple [34]. v základních funkcích je tato varianta srovnatelná s řešením od společnosti Google. v pokročilých funkcích je však ARKit lepší, což lze pravděpodobně přičíst větší uzavřenosti ekosystému společnosti Apple, a menšímu počtu koncových zařízení v portfoliu tohoto výrobce. Mezi tyto pokročilé funkce patří například sledování 3D objektů v prostoru, nebo detekce a sledování lidského těla.

Vývojové prostředí Unity

Standardem pro vývoj aplikací pro rozšířenou a virtuální realitu je herní engine Unity. Jeho hlavní výhodou je skutečnost, že umožňuje vývoj na více platformách zároveň. Toto umožňují i jiná, konkurenční řešení, jako je například Unreal engine, nicméně svým užším zaměřením na mobilní platformy se Unity jeví jako výhodnější varianta. Unity zároveň ve svém systému ARFoundation integruje, jak knihovnu ARKit, tak i knihovnu ARCore. Lze tedy vyvíjet aplikace pro oba tyto systémy zároveň, byť s určitými omezeními plynoucími z vzájemné absence některých funkcí u těchto dvou knihoven. Unity vyvíjí svou vlastní nástavbu MARS, která slouží k rychlejšímu vývoji aplikací zaměřených právě na rozšířenou realitu. Hlavní výhodou tohoto řešení oproti konkurenci, je možnost testovat vyvíjené

řešení přímo v editoru, v syntetickém 3D prostředí, což umožňuje daleko rychlejší vývoj, než kdyby se každé nové řešení muselo vyexportovat na mobilní telefon a testovat tam.

Alternativou k nástavbě MARS, je plugin Vuforia, který je vyvíjen třetí stranou, konkrétně společností PTC. Vuforia sice neposkytuje tak široké možnosti syntetických testů, na druhou stranu je však dlouhodobě zaběhnutá a umožňuje relativně bezproblémovou implementaci. Oproti Unity MARS nabízí více možností z hlediska detekce, jako je například detekce naskenovaného 3D objektu, nebo detekce s využitím neuronových sítí a umělé inteligence [35].

2.4.1 Zařízení pro zobrazování rozšířené reality

Ačkoliv samotná technologie detekce a sledování objektů je dnes již velmi pokročilá, technologie zobrazování rozšířené reality uživateli stále není dokonalá a nezajišťuje dostatečnou imerzi. Samotná vizualizace virtuálního objektu do scény funguje dobře, zvláště v posledních letech pokročila díky inteligentnímu systému nasvícení virtuálního objektu, který počítá se světelností a barevností prostředí snímaného kamerou. Problematické je až samotné zobrazení uživateli. To lze v současné době realizovat několika způsoby, nicméně nejpoužívanější a nejrozšířenější jsou následující dva.

Prvním způsob je takový, kdy se uživatel dívá na displej, na který mu je zobrazován záznam z kamery doplněný o virtuální objekt. Limitací tohoto řešení je jednak kvalita displeje, která sice pokročila, nicméně se stále jedná o součást s vysokou energetickou spotřebou. Druhým problémem takového řešení je samotné stereoskopické zobrazení scény. v případě, že se jedná o mobil, není zobrazovaná scéna stereoskopická vůbec. Pokud se jedná o headset, je obraz sice stereoskopický, ale má obvykle několik limitujících faktorů. Prvním je velikost takových headsetů, kdy vzhledem k baterii a zákonům optiky má uživatel na hlavě poměrně velkou masu hmoty. Druhým problémem je pak neschopnost kamery reflektovat ostření lidského oka, což působí nepřírozně, vzhledem k tomu, že celý pozorovaný obraz je v tomto případě obvykle zaostřený. Lze předpokládat, že přinejmenším tento problém bude v budoucnu řešitelný.

Druhý způsob využívá projekce virtuálního obrazu na průhledný materiál (sklo brýlí apod.). Tato technologie umožňuje přirozenější vnímání prostoru, jelikož člověk vidí většinu obrazu vlastníma očima, bez zprostředkovatele v podobě kamery a displeje. Technické limitace této metody jsou však stále velmi vysoké a zařízení, která ji využívají jsou drahá. Uživatelskou imerzi částečně zhoršuje skutečnost, že virtuální složka promítaná na sklo, je částečně průhledná a výsledek tedy působí spíše jako hologram. Současná zařízení na trhu jsou zároveň spíše

ve fázi prototypů než koncových produktů, a jsou tak poměrně rozměrná a s relativně malou plochou, na kterou je možné virtuální složku promítat.

Následující kapitola bude věnována analýze a srovnání nejdůležitějších zařízení, která jsou na současném trhu k dispozici.

Mobilní telefony

Přestože existuje nepřeberné množství mobilních telefonů a tabletů, z hlediska rozšířené reality fungují prakticky obdobně, proto bude v rámci zjednodušení problematiky na mobilní telefon nahlíženo jako na obecný produkt bez konkrétních specifikací.

Mobilní telefony představují pro uživatele nejsnazší způsob, jak se dostat do světa rozšířené reality. Jedná se o globálně snadno dostupný produkt, jehož cena se může pohybovat od nižších jednotek tisíc až po nižší desetitisíce, což zaručuje velmi širokou cílovou skupinu uživatelů. Na rozdíl od jiných produktů, které dokáží zobrazovat rozšířenou realitu, je mobilní telefon univerzální, a tedy rozšířená realita není primárním důvodem jeho koupě. Díky masivnímu rozšíření těchto zařízení, mají tato nejvyšší podporu z hlediska AR, a to jak ze strany samotných výrobců, tak především vývojářů konkrétních aplikací. Tato skutečnost představuje vysoký uživatelský komfort, díky možnosti výběru z velkého množství aplikací, nicméně ze své podstaty také konfrontuje uživatele s nekvalitními aplikacemi, což může vytvářet mylné představy o možnostech rozšířené reality.

Z hlediska uživatelské imerze jsou na tom mobilní telefony prakticky nejhůře. Uživatel je nucen virtuální objekt sledovat skrze relativně malou obrazovku, což samo o sobě ničí celkový dojem z rozšířené reality. Tato skutečnost je dále umocněna absolutní absencí stereoskopického zobrazení, čímž je uživatel připraven o prostorovou část zážitku.



obr. 2-18 HoloKit [36]

Mobilní telefon může být umístěn staticky, což ovšem částečně popírá samotné principy rozšířené reality nebo jej uživatel musí držet v ruce, čímž se ovšem připravuje o možnost s reálnou částí scény fyzicky interagovat. Třetí možností je pak jakási hybridní forma headsetu, jako je například HoloKit [36], což je kartonová stavebnice headsetu, do nějž lze vložit mobilní telefon a následnou projekcí displeje na průhledný panel před očima získat dojem rozšířené reality. Toto řešení má spoustu omezení, jako je například velikost, nepohodlnost, nízké rozlišení a závislost na vhodných světelných podmínkách, nicméně je relativně dostupné a za určitých okolností může celkovou imerzi uživatele zvyšovat.

Meta Quest 2

Meta Quest 2 je headset určený především pro zobrazování virtuální reality [37]. Tomu plně odpovídají jeho technické specifikace a funkce. Headset byl nicméně od začátku vybaven čtyřmi kamerami, které sledují okolí uživatele a detekují pohyb. Tyto kamery byly primárně určeny právě k přenesení pohybu uživatele do virtuální reality. Výrobce, společnost Meta, však tyto kamery ode-mknula a nyní je na platformu Meta Quest možné vyvíjet i aplikace pro rozšířenou realitu.



obr. 2-19 Meta Quest 2 [37]

Tato varianta má samozřejmě spoustu limitací a lze ji považovat spíše za snahu společnosti Meta dát vývojářům k dispozici takřka prototypní řešení, na kterém si budou moci zkusit možnosti platformy a technologie. Ve chvíli, kdy společnost Meta vydá plnohodnotný headset pro zobrazování rozšířené reality, budou na něj již připraveny některé aplikace a hry, a vývojáři budou zároveň schopni vyvíjet nové, bez nutnosti znovu-objevovat tuto technologii.

Meta Quest Pro

Nástupcem Meta Quest 2 je Meta Quest Pro od stejné společnosti. Představuje luxusnější, více technologicky pokročilou variantu, která je koncepčně založena právě na svém předchůdci. Tímto headsetem cílí společnost Meta spíše na profesionální využití. Headset je kompaktnější a měl by být i pohodlnější než Meta Quest 2. Využity jsou kvalitnější materiály a černá barva zajišťuje lepší odolnost proti znečištění. Z hlediska funkce je podstatný vyšší výkon, a hlavně zobrazení rozšířené reality v plné barevnosti [38]. Oproti tomu Quest 2 dokázal rozšířenou realitu zobrazovat pouze černobíle. Barevné podání není dokonalé, neboť se jedná o obraz z černobílých kamer, který je pouze dobarvován na základě obrazu z doplňkové barevné kamery.



obr. 2-20 Meta Quest Pro [38]

Microsoft HoloLens 2

Microsoft HoloLens 2 je jeden z nejzásadnějších headsetů na trhu. Jedná se o všeobecně známý produkt, který však není nijak masivně rozšířen, zřejmě především kvůli ne úplně šťastnému cílení produktu, kdy od počátku reklamních prezentací nebylo úplně jasné, zda se má jednat o zábavné zařízení pro běžné uživatele, nebo o profesionální nástroj do firem určený pro specializované úkoly. Vysoká cena produktu, která se pohybuje až kolem 100 000 Kč, naznačuje, že produkt je aktuálně zaměřen spíše na profesionální sféru. Je otázkou, zda byla tato cesta rozumná, jelikož technologie zůstává uzavřena relativně malé skupině lidí, což zpomaluje její další rozvoj. Tomu nasvědčovaly i zprávy, že společnost přestala pracovat na nástupci tohoto projektu, právě kvůli rozporům ve vnitřním týmu ohledně cílové skupiny, nicméně tyto byly později dementovány představiteli společnosti [39].



obr. 2-21 HoloLens 2 [40]

Technologicky se jedná o jedno z pokročilejších řešení, které funguje na principu projekce na průhledný vizor. Zařízení je na poměry konkurence relativně subtilní a dle ohlasů novinářů i relativně příjemné na používání [41]. Oproti mobilnímu řešení jsou zásadní 3 hlavní výhody. a to volné ruce, a tedy možnost přirozeně interagovat s okolním světem. Relativní pohodlí, které headset zaručuje, byť relativně těžká věc připevněná na hlavě vždy zaručuje nějakou míru diskomfortu. a stereoskopické zobrazení, které zvyšuje celkovou uvěřitelnost rozšířené reality. Na základě osobního testu lze také zhodnotit, že oblast displejů je poměrně malá a výsledný obraz vždy vypadá jako poměrně nevýrazná, poloprůhledná projekce v reálném prostoru. Tato skutečnost by pro přehledné zobrazení rozšířené reality v daném kontextu nebyla zcela vhodná. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně je však masivnější nasazení ve školství nereálné, a to jak v závislosti na finančních možnostech škol, tak i kvůli relativně vysokému riziku poškození zařízení dětmi.

Magic Leap 1

Typově obdobné zařízení jako výše zmíněný HoloLens 2 je i Magic Leap 1 [42]. Ten oproti konkurenci více připomíná klasické brýle, byť o něco masivnější. Vzhled těchto brýlí může působit až groteskně a produkt zatím nepůsobí jako něco, co by měl uživatel běžně nosit na veřejnosti a nevypadat příliš extravagantně.



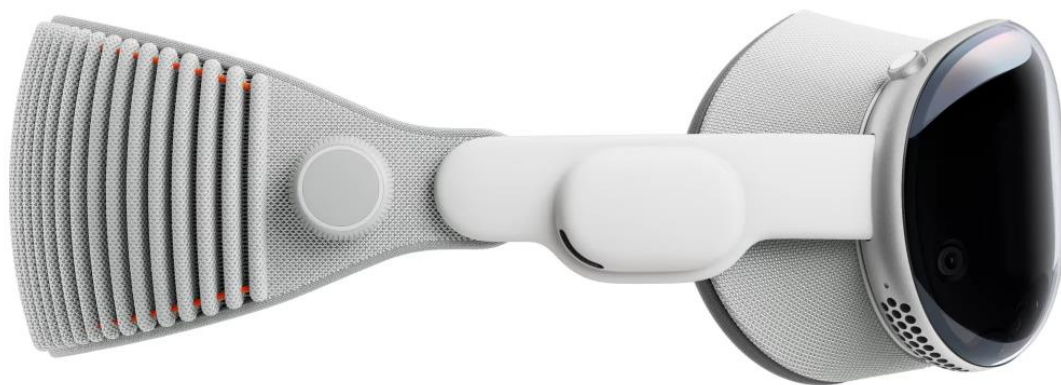
obr. 2-22 Magic Leap 1 [42]

Technicky headset funguje obdobě jako HoloLens, tedy na principu projekce na průhledný vizor. i cílová skupina je obdobná, tedy především profesionálové. Výrobce headsetu jako příklad užití uvádí například lékařství nebo průmyslovou výrobu, kde může headset uživateli zobrazovat dodatečné informace v reálném čase.

Cena je oproti HoloLens asi poloviční, tedy kolem 50 000 Kč. i taková cenovka prakticky vylučuje možnost užití headsetu ve vzdělávacím systému, byť o uplatnění v podobě experimentálního zařízení už by šlo uvažovat snáze.

Apple Vision Pro

V průběhu léta 2023 představila společnost Apple svůj první AR/VR headset. v současné době byl headset představen vývojáři a nelze jej tak plně hodnotit, neboť zatím neexistují nezávislé recenze ani možnost jej vyzkoušet. Na základě informací poskytnutých výrobcem se však jedná o technologicky velmi pokročilé zařízení, které v daném segmentu přinese spoustu inovací. Oproti většině současných řešení jsou nejviditelnější změnou velmi kompaktní rozměry zařízení a elegantní linky. Koncept se blíží spíše brýlím Meta Quest 2 nebo Meta Quest Pro. Uživatel tedy nesleduje svět přímo přes skleněné hledí, na které jsou promítány virtuální informace, ale přes displej, tedy z pohledu kamer rozmístěných na zařízení. Díky tomu virtuální složka nepůsobí holograficky, jako je tomu například u HoloLens 2. Apple se také chlubí pokročilým snímáním prostoru, které by se mělo projevit na uvěřitelnosti stínů i kvalitě prostorového zvuku [43].



obr. 2-23 Apple Vision Pro [43]

Pokud se společnosti Apple podaří naplnit své sliby, může produkt znamenat velký skok na poli headsetů určených pro zobrazování rozšířené reality. Předpokládaná cena je přibližně 77 000 Kč, tedy se headset nachází někde mezi HoloLens 2 a Magic Leap. Poměrně vysoká cena jej tak dostává do kategorie spíše luxusních zařízení, určených pro profesionály nebo movité nadšence. Už jen vstup společnosti Apple do segmentu však může znamenat výrazný krok vpřed, neboť jak se historicky ukázalo, Apple často pomohl dostat doposud okrajové technologie do středu zájmu trhu.

2.4.2 Vícekriteriální analýza zobrazovacích technologií

Následující tabulka prezentuje srovnání produktů, zmíněných v předchozí analýze, v rámci parametrů možných interakcí s rozšířenou realitou. Doplňkovým parametrem je v tomto případě cena, která je dána průměrnou cenou na agregátoru Heureka k 27.12.2022.

tab. 2-2 Vícekriteriální analýza zobrazovacích technologií

Produkt	Cena	Běžná dostupnost	Míra imerze	Odolnost
Mobilní telefon	3	3	1	2
Mobilní telefon + Holokit	3	2	2	2
Meta Quest 2	2	2	2	2
Meta Quest Pro	1	1	3	2
HoloLens 2	1	1	2	1
Magic Leap 1	1	1	2	2
Apple Vision Pro	1	1	3	2

Legenda: Cena – Očekávaná vstupní pořizovací cena zařízení (3 - do 5 000 Kč, 2 - od 5 000 do 15 000 Kč, 1 – nad 15 000 Kč), Běžná dostupnost v populaci – Cílem parametru je zhodnotit, do jaké míry je pravděpodobné, že uživatel už dané zařízení vlastní (3 – vysoce pravděpodobné, 2 – možné, 1 – vysoce nepravděpodobné), Míra imerze – Do jaké míry zařízení dokáže poskytnout imerzní zážitek (3 – vysoce imerzní, 2 – imerzní s výhradami, 1 – nízké imerzní), Odolnost – předpokládaná míra odolnosti proti poškození (3 – vysoce odolné, 2 – běžně odolné, 1 - neodolné)

Prostým součtem hodnotících kritérií vychází jako nejlepší varianta buď mobilní telefon nebo mobilní telefon v kombinaci s Holokit. Vysoký součet bodů (9) je dán především relativně nízkou pořizovací cenou a vysokou dostupností.

Meta Quest 2 je se součtem 8 bodů druhou volbou. Jeho výhodou je, že v žádném parametru neztrácí, ale ani silně nevyčnívá. v případě, že by dokázal rozšířenou realitu zobrazovat barevně a ve vyšší kvalitě, byl by i za vyšší cenu lepší alternativou než mobilní telefon.

Stejně bodové hodnocení mají Meta Quest Pro a Apple Vision Pro. Oba nabízí koncepčně podobnou technologii, založenou na promítání obrazu z kamer na

displeje v headsetu. v přímém srovnání nabízí Apple pokročilejší technologie, ale za téměř dvojnásobnou cenu.

Nejhůře dopadly headsety určené přímo pro zobrazování rozšířené reality. Tedy headsety, které používají skleněné hledí, na něž se promítá virtuální složka obrazu. Tyto headsety jsou velmi drahé a mají tendenci být dosti křehké, díky velkému množství použitého skla. Imerze je omezena faktem, že obraz promítaný na sklo vypadá holograficky, což omezuje čitelnost barev, viditelnost na světle a uvěřitelnost podání.

3. Praktická část

3.1 Úvod do praktické části a její cíle

Na základě teoretické rešerše bylo navrženo konkrétní řešení modulární platformy, které bude představeno v následujících kapitolách.

Cílem praktické části práce je vyvinout tuto modulární platformu, která bude na rozdíl od konkurenčních řešení univerzální a bude tak nabízet více možných způsobů aplikace. Součástí bude i konkrétní případová studie, která bude sloužit jako studie proveditelnosti a bude zaměřena především na dětské uživatele. Zamýšlený systém bude sestávat ze dvou celků, které mezi sebou mohou vzájemně interagovat. První část tvoří fyzická hrací plocha, jež představuje pomyslnou kotvu s reálným světem a pomáhá zlepšovat dětskou motoriku. v konkrétní případové studii pak uživatelé z nabízených druhů hracích sestavují mapu, což jim dodává určitou míru kreativní svobody a následnou možnou personalizaci svého herně-vzdělávacího zážitku.

Druhým rámcem je mobilní aplikace pro rozšířenou realitu. Zde software převede kostky rozmístěné na herním plánu do podoby virtuální mapy, kterou mohou žáci v rozšířené realitě pozorovat, a dosáhne tak vizuálnější reprezentaci daného prostředí. S touto mapou pak mohou uživatelé v rozšířené realitě dále interagovat. Cílem je navrhnout systém škálovatelně a univerzálně, aby mohl být aplikován k dosažení různých cílů. v rámci projektu bude nastíněno několik dalších případových studií, které budou vhodně reprezentovat možnosti systému. Příkladem rozšíření stávající studie může být například zjednodušená simulace meteorologických jevů na mapě, fauna a flóra vybraných, na mapě vyskládaných, biomů, znázornění historie apod. Nabízejí se však i řešení se zcela odlišnou tematikou, která budou v následujícím textu zmíněna jako možné směry budoucího vývoje.

3.1.1 Volba tematického zamření případové studie

Z předmětů vyučovaných na základní škole se jako vhodné jeví tyto: matematika, fyzika, chemie, přírodopis, dějepis, zeměpis a informatika. v každém ze zmíněných předmětů by bylo možné nějakým způsobem implementovat rozšířenou realitu. Jako vhodná pro demonstraci technických možností byla nakonec zvolena kombinace přírodopis/zeměpis, což umožní několik výhod oproti konvenční výuce. První výhodou je možnost prohlédnout si věci a jevy nám vzdálené v prostředí interaktivnějším, než je běžná projekce spojená s výkladem. Druhou výhodou je možnost pozorovat globální, popřípadě časově náročné jevy ve zmenšeném a zrychleném měřítku.

3.1.2 Alternativní možnosti zaměření produktu

Díky využití poměrně jednoduchého principu figur a hrací desky v podobě mřížky je možné v rámci jednoho produktu vytvořit více her s různým zaměřením. Množství kostek lze libovolně škálovat a hru tak v budoucnu rozšiřovat o další prvky. Stejně tak lze rozšiřovat i hrací desku, kdy by větší rastr mohl nabídnout zajímavější aplikace i větší míru přizpůsobení, což by mohlo přinést zajímavé možnosti i v jiných oborech, než je pedagogika.

Alternativním využitím by mohlo být například urbanistické plánování. v závislosti na velikosti herní mřížky by se dal tento režim využít jak v pedagogice, tak teoreticky i v profesionální sféře. v tomto režimu by každá kostka reprezentovala určitý typ zástavby – dům, silnice, křižovatka, rozvodna apod. Po rozmístění kostek na hrací plochu by se pak v rozšířené realitě vykreslilo město a spustila se simulace. Bylo by tak možné vysoce intuitivním způsobem plánovat města, případně efektivněji učit děti, jak města fungují na základě příkladu.

V případě větší mřížky by hra mohla být využita jako slepá mapa pro výuku zeměpisu, kdy by student musel figury reprezentující například biomy, nerostné bohatství nebo města, správně rozmístit po mapě. Rozšířená realita by pak poskytovala okamžitou odezvu.

V rámci výuky fyziky nebo informatiky by hra mohla simulovat stavbu elektrických nebo logických obvodů. Figury by reprezentovaly vodiče, elektronické součástky nebo logická hradla. Rozšířená realita by následně vykreslovala obvod v různých vrstvách, včetně doplňujících informací, které nejsou běžně vidět. Například velikosti různých veličin v daném místě obvodu. v případě chybného zapojení by byla naopak zvýrazněna chyba a vysvětleno, proč je dané zapojení špatné.

Pro větší názornost by zřejmě každý typ hry vyžadoval dedikované figury s vlastní grafickou úpravou. Grafická nástavba sice může být projektována na figuru pomocí rozšířené reality, ale pro lepší propojení s realitou a jednodušší práci s figurami by bylo výhodnější, pokud by figury měly odpovídající fyzický potisk.

Obecně systém figur, které lze různými způsoby skládat na předem definovanou mřížku nabízí relativně široké možnosti uplatnění v oblastech, které lze abstrahovat do podoby dvourozměrných diagramů a u kterých dává smysl rychlé a efektivní procházení a testování různých variant a kombinací. Kvadraticky narůstající velikost mřížky umožňuje experimentování i s daleko komplexnějšími problémy, než byly nastíněny výše. Nicméně je třeba si uvědomit, že zvětšování mřížky poměrně rychle narůstá jak rozměr produktu, tak hlavně potřebný počet kostek. Tedy

u větších a náročnějších problémů se simulace pomocí fyzického produktu nevyplatí.

3.1.3 Technologie zobrazení

Rozšířená realita bude zprostředkovávána prostřednictvím mobilního telefonu, který oproti ostatním řešením nabízí nižší míru imerze, ale finančně je jednoznačně nejdostupnější, což byl vzhledem ke školním prostředí nejdůležitější parametr. Doprovodná aplikace však bude počítat s možností napojení na headset, pokud se v budoucnu objeví vhodná a finančně dostupná varianta takového zařízení.

Jako alternativní zobrazovací zařízení byl zvolen headset Meta Quest 2, který již v současné době podporuje rozšířenou realitu, byť v míře, která by pro vyvíjený produkt nebyla stoprocentně použitelná, lze očekávat, že jeho nástupce posune tyto vlastnosti dál a podpora rozšířené reality bude vyšší. v takovém případě by mobilní telefon používaný pro zobrazování rozšířené reality mohl být tímto zařízením zcela nahrazen, což by značně usnadnilo ovládání celé platformy. Lze také předpokládat možné rozšíření konceptu o složku virtuální reality. v takovém případě by pak Meta Quest 2 byl v současné době nejlepší volbou.

3.1.4 Technologie detekce

Pro přesnější a efektivnější sledování kostek na herní mapě, bylo rozhodnuto, že samotná detekce rozmístění těchto kostek bude oddělena od sledování celého herního plánu v rozšířené realitě.

Řešení této primární detekce bude vyvíjeno v přímé spolupráci autora práce s Fakultou aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Ing. Tomášem Dulíkem, Ph.D., který zajišťuje vývoj ze strany FAI UTB bylo navrženo několik možností detekce kostek.

Prvním navrženým způsobem bylo, umístit do kostek malé čipy, které by byly detekovatelné pomocí senzorů uvnitř hrací plochy. Toto řešení, byť výrobně mírně komplikující figury se na první pohled jevilo jako elegantní, avšak později se ukázalo jako neproveditelné, jelikož cena plošného spoje, který by byl umístěn v hrací ploše, neroste lineárně s velikostí jeho plochy. Jinými slovy, hrací pole, a tedy i figury by musely být extrémně malé, případně by velikost kostek mohla být zachována, ale na hrací plochu by se jich vešlo jen velmi malé množství.

Druhým způsobem, který se nabízel, bylo integrovat do hrací plochy pohyblivý skener, který by putoval hrací plochou skenoval potisk na spodní straně kostek. Limitace tohoto řešení jsou z nabízených možností největší. Prvním problémem je skutečnost, že detekce změny neprobíhá okamžitě a velmi pravděpodobně by musela být i uživatelsky vyvolána, což omezuje zážitek ze hry. Hrací plocha by zároveň musela být alespoň částečně průhledná, aby skrz ni skener viděl. Tato skutečnost by měla velké dopady na estetické kvality výsledného produktu, což by bylo ještě umocněno skutečností, že hrací pole by muselo být kvůli skeneru relativně vysoké. v neposlední řadě by měl výsledný produkt také vysokou hmotnost a byl by neskladný. Prakticky jedinou výhodou tohoto řešení je fakt, že figury by byly výrobně jednoduché a jejich horní strana by nepodléhala limitacím z hlediska tvarování, struktury, ani potisku. Vzhledem k jednoznačně převažujícím nevýhodám však bylo i toto řešení zavrhnuto.

Posledním nabídnutým řešením, byla detekce pomocí kamery umístěné nad povrchem. Toto řešení se částečně duplikuje se samotnou detekcí hrací plochy rozšířenou realitou, nicméně umístění druhé kamery nad herní plochu umožní přesnější detekci a uživatelům dá větší svobodu pohybu kolem herní desky. Velikost celého produktu se tímto samozřejmě zvyšuje, například oproti prvnímu nabízenému řešení, jelikož kamera musí být v určité vzdálenosti od herní plochy. Oproti druhému nabízenému řešení však bude výrazně skladnější a subtilnější. Druhou nevýhodou bude nutnost potisknout horní stranu kostek tak, aby byly snadno detekovatelné a odlišitelné. Výběru a testování tohoto potisku bude věnována jedna

z následujících kapitol. Toto řešení bylo nakonec zvoleno jako nejméně kompromisní z hlediska poměru cena/výkon, ačkoliv v případě, kdy by cena nebyla faktorem by jednoznačným vítězem byl první nabízený způsob.

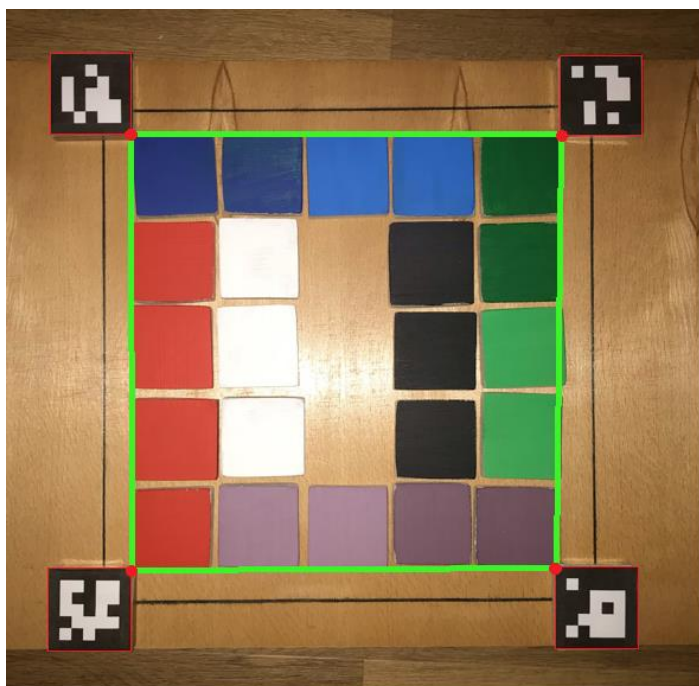
Detekci zpracuje mikropočítač integrovaný do desky, naprogramovaný studentem FAI UTB. Počítač následně detekovaná data zašle do mobilního telefonu pomocí technologie Bluetooth nebo WiFi. Tato data budou v mobilu dále zpracována a převedena do vizuální podoby.

3.1.5 Výběr vhodných markerů pro optickou detekci kostek

Vývoji detekčního algoritmu a analýze možností se věnoval student bakalářského studia Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, Tomáš Hanáček v rámci své bakalářské práce Detekce objektů v obraze pro rozšířenou realitu [44]. v rámci experimentálního výzkumu možných řešení byly navrženy tři možné způsoby optické detekce.

Detekce barvy

První prozkoumanou variantou byla detekce typu figury na základě barvy. Horní strana figury by byla potištěna barvou a případně doplněna kompaktní grafikou nebo reliéfem ve středu figury.



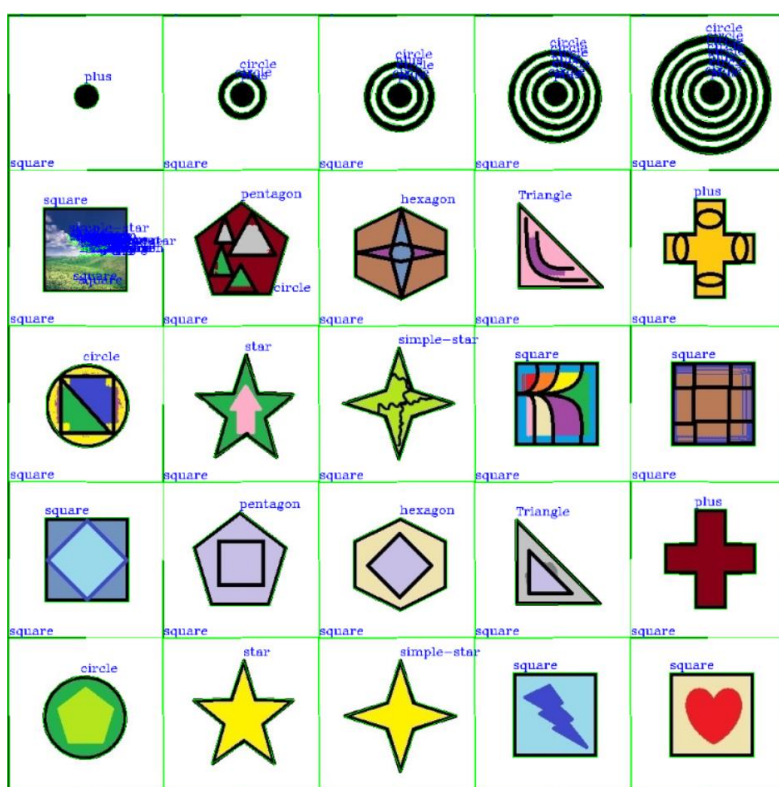
obr. 3-1 Ukázka detekce pomocí barvy [44]

Toto řešení se zprvu jevilo jako ideální, a to především z hlediska estetiky, jelikož by umožnilo zachovat vysoce minimalistický design kostek. Na druhou stranu, vzhledem k nutnosti zachovat grafické prvky na figurě drobné, by byly možnosti vizuálního oživení značně omezené a hrozilo by tak, že výsledný produkt by byl pro cílovou skupinu nezajímavý a fádňí. Druhým problémem pak byla nutnost výrazně odlišit jednotlivé barvy na figurách tak, aby detekce byla spolehlivá. U vyššího počtu kostek už nebyl problémem pouze samotný výběr esteticky akceptovatelných barev, ale obecný nedostatek dostatečně odlišných barev. Řešení by tedy nebylo škálovatelné v případě, že by určitý typ hry vyžadoval více než osm typů kostek. Posledním problémem tohoto řešení byla náročnost na světelné podmínky, kde pro správnou detekci bylo třeba zajistit stabilní osvětlení bez

jakýchkoliv stínů, které negativně ovlivňovaly správné rozpoznání barvy. Stejný problém pak působilo i příliš tmavé, nebo naopak příliš přesvětlené prostředí.

Detekce tvaru

Druhou variantou, která byla otestována, bylo detekování tvaru. Mikropočítač je schopen detekovat některé základní tvary, jako například: čtverec, kruh, trojúhelník, hvězda, různé typy mnohoúhelníků apod. Detekce by měla být teoreticky funkční za předpokladu dostatečně velkého kontrastu mezi tvarem a podložkou, a také dostatečného rozlišení kamery. Jak se však ukázalo, ani při splnění těchto podmínek nebyla detekce tvaru dostatečně spolehlivá. Detekce ze statické fotografie vykazovala relativně nízkou chybovost. Detekce z videa byla naopak vysoce nespolehlivá.

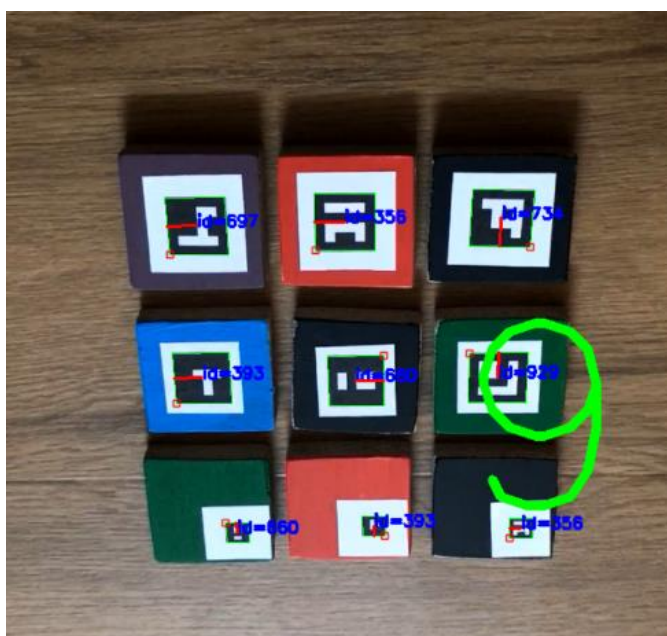


obr. 3-2 Detekce tvaru [44]

Od dalších pokusů o optimalizaci bylo následně upuštěno i s ohledem na estetickou kvalitu řešení detekce pomocí tvarů. Umístit na figuru reprezentující přírodní biom (v případové studii kterou se tato práce zabývá) například tvar hvězdy, by bylo nelogické a samoúčelné. Zároveň designérská kontrola by v případě takového řešení byla spíše minoritní.

Detekce pomocí ArUco markers

Poslední prozkoumanou metodou byla detekce pomocí takzvaných ArUco markers. ArUco markery jsou digitální binární kódy, které vzhledem připomínají klasické QR kódy. Na rozdíl od QR kódu však v sobě nenesou zakódovanou žádnou informaci a reprezentují tak pouze samy sebe. Tyto markery byly vyvinuty speciálně pro účely rozšířené reality, respektive rozpoznání z obrazu a nabízí tak vysokou spolehlivost při detekci [45]. Následným testováním se skutečně ukázalo, že detekce těchto markerů je dostatečně spolehlivá pro účely vyvíjené aplikace. Z estetického hlediska lze markery považovat za nerušivé a neutrální. Zároveň, na rozdíl od tvarů, nic neasociují a nebudou tedy na kostce působit rušivým dojmem.



obr. 3-3 Detekce pomocí ArUco markers [44]

Experimentálně bylo zjištěno, že pro kvalitní detekci by marker měl na straně figury o ploše 50 x 50 mm zabírat 25 x 25 mm. Relativně velká plocha tak na kostce zůstává k dalšímu využití v podobě grafiky, či reliéfu.

Toto řešení bylo nakonec zvoleno jako nejvhodnější pro finální prototyp produktu.

3.1 Vývoj fyzického produktu

Návrhová fáze projektu byla zahájena souběžně se spoluprací s FAI UTB. v prvotních chvílích se předpokládala spíše jiná než optická detekce herních figur, což by umožnilo větší tvarovou volnost a poutavější vizuál, nicméně především vzhledem k vysoké ceně a náročnosti na výrobu bylo od této možnosti nakonec upuštěno.

Finálně zvolená metoda optické detekce herních figur následně stanovila veškeré základní parametry, kterých bylo třeba se držet.

Základní parametry:

- Herní figury musí mít horní stranu plochou, a musí být konstruovány tak, aby na ně bylo možné snadno aplikovat marker pro optickou detekci.
- Hrací plocha musí být ohraničena detekovatelnými body tak, aby bylo možné snadno a správně určit souřadnice jednotlivých figur.
- Hrací plochu musí snímat kamera tak, aby byla celá tato plocha v záběru a kamera směřovala ideálně na její střed.
- Celou platformu musí doplňovat mikropočítač, který bude obstarávat výpočetní sílu potřebnou pro detekci.

Možnou alternativou k mikropočítači byla i přímá detekce markerů z mobilu/tabletu. Tato varianta však byla zavrhnuta ze tří důvodů.

- Mobilní telefon by ke správné detekci potřeboval složitější markery, které by však bylo komplikovanější aplikovat na hrací figury.
- Detekce markerů pohledem kamery shora se jevila jako spolehlivější, neboť je nezávislá na pohybu uživatele s kamerou, a má tak na markery vždy nejlepší možný výhled.
- Detekce velkého množství markerů pomocí mobilního telefonu by byla výpočetně náročná a brala by tak mobilnímu zařízení výkon potřebný k vykreslení 3D objektů v rozšířené realitě. Frameworky pro mobilní telefony, jako je Vuforia nebo Unity MARS, jsou pak spíše navrženy na detekci menšího počtu markerů, přičemž základní verze prototypu počítá s až 48 simultánně detekovanými markery. Tato skutečnost by mohla vést k rapidnímu snížení kvality detekce, případně k detekci falešné, kdy mobilní telefon zamění sledovaný marker za jiný, s podobnými rozpoznávacími znaky.

3.1.1 Variantní studie designu

Samotný návrhový proces probíhal na principech iterativního vývoje, kdy jednotlivé vzniknuvší varianty byly vyrobeny za pomoci metod rapid prototypingu, jako je například 3D tisk, laser a další obdobné technologie.

Tvarové varianty vznikaly vždy s ohledem na svou primární funkci a dále také s ohledem na zvolené materiály, jejichž výběr probíhal souběžně s prototypováním jednotlivých návrhů.



obr. 3-4 Prvotní vizualizace koncepce projektu

Obrázek výše ukazuje prvotní vizi projektu, které byla používána pro vysvětlení principu celé modulární platformy. v této fázi projektu ještě nebyla ujasněná samotná metoda detekce kostek a tomu odpovídají i některé použité tvarové a barevné prvky. Oproti následujícím verzím se prvotní idea lišila v tom, že hrací figury byly výškově rozlišený a využívaly větší barevnou paletu.

Rezignaci na širší a snadněji rozeznatelnou barevnost by bylo možné považovat za chybný krok, který celému projektu přidal na sterilitě a ubral hravosti, nicméně samotná detekce tento krok vyžadovala. Budoucí vývoj produktu by však mohl skýtat potenciál v experimentování s různými silně kontrastními barevnými variantami, které by umožnily lepší rozlišení figur, nicméně tato možná výzkumná větev byla vzhledem k rozsahu a zaměření této disertační práce, ponechána jako možný základ pro další výzkum.

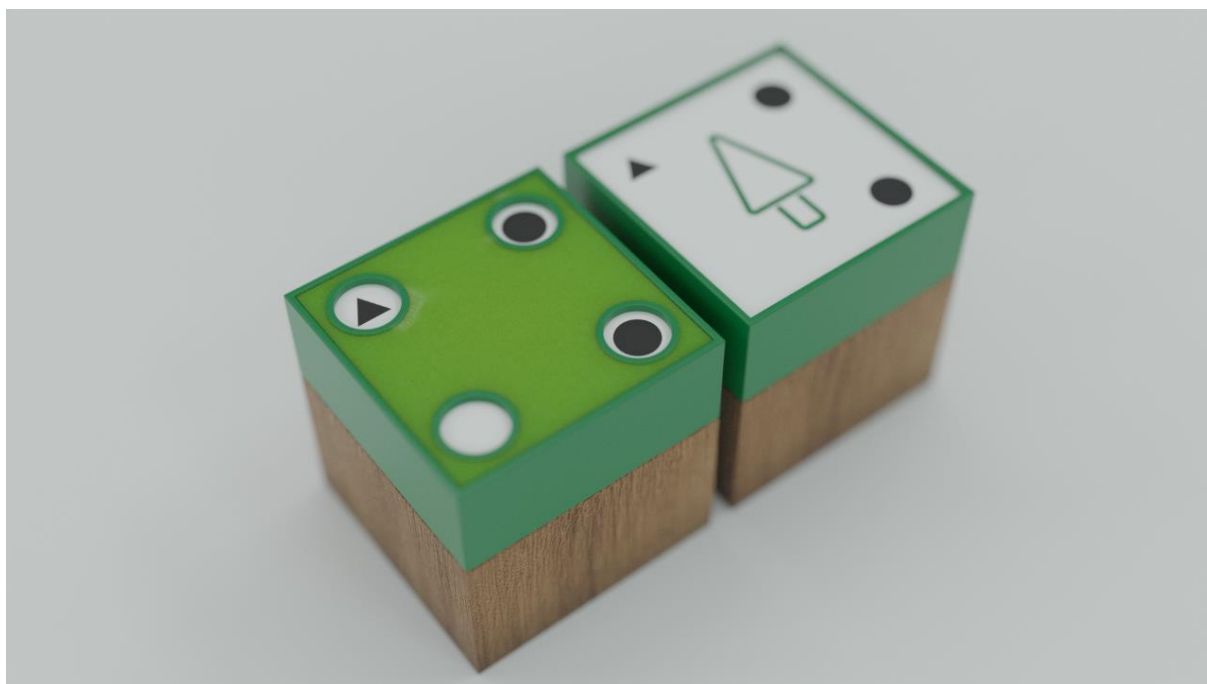
Výškové rozlišení figur se naopak samo ukázalo jako neudržitelné. Ve chvíli, kdy bylo jasné, že horní strana figur bude muset být ponechána víceméně plochá, se jevila jakákoliv myšlenka na možnou vertikálnost celého systému jako zbytečná. Naopak sjednocení výšky všech figur umožnilo snadnější skladnost celého produktu, což bylo vzhledem k jeho celkovým rozměrům klíčovým parametrem.

Prvotní vizualizace také postrádá měřítko a herní plocha tak umožňuje vyskládání velkého množství kostek. Původním cílem bylo množství kostek maximalizovat tak, aby byla zajištěna největší možná variabilita skládaného prostoru.

Následující vývoj však z několika důvodů ukázal tuto uličku jako slepou. Hlavním důvodem byla samotná optická detekce figur, která vyžaduje již dříve specifikovaný rozměr markerů přibližně 25 x 25 mm. Snahou o maximalizaci počtu figur by tak celé platforma začala nabývat obrovských rozměrů – a vzhledem k optické metodě snímání by větší hrací plocha vyžadovala větší vzdálenost kamery, která by pro správnou detekci vyžadovala větší markery, čímž by vznikla smyčka v podstatě nekonečného zvětšování.

Druhým faktorem bylo rozlišení mobilního telefonu, kdy příliš velký detail mapy by stejně nebyl viditelný a jemný rastr by tak nedával smysl. Byť při využití například headsetu a aditivních metod detekce by umožňoval velmi přesné a variabilní budování.

Posledním faktorem pak byla výpočetní síla mobilního zařízení. Převod figur do podoby vynalezené herní mapy je výpočetně velmi náročný a tato náročnost neroste lineárně s počtem figur. Vzhledem k tomu, že tento převod se musí dít prakticky v reálném čase, bylo třeba počet figur omezit.



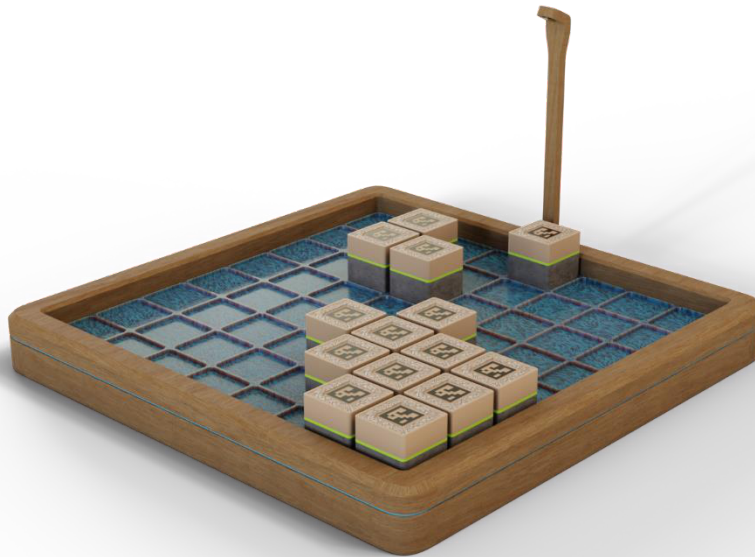
obr. 3-5 Prvotní vizualizace hracích figur

Na obrázku výše se nachází dvě původní varianty herních figur, které sloužily jako základ pro budoucí vývoj. Základní prvky, jako je například vertikální

rozdělní figur podle zlatého řezu [6] na dva různé materiály se opakovaly i v budoucích variantách. Většina prvků však byla změněna.

Tyto varianty počítaly s markery, které by odpovídaly spíše detekci tvaru. Trojúhelníkový symbol by určoval „počáteční bod“ a 3 kruhové symboly by umožnily 2^3 , tedy 8 možných variant figur. Tato varianta počítala se silným barevným rozlišením figur. Verze vlevo pak využívá i materiálové odlišnosti, kde bylo v plánu odlišit jednotlivé reprezentace biomů i hapticky. Les by tak měl na svrchní straně plst', poušť například hrubě broušené sklo nebo smirkový papír a podobně. Pravá varianta je naopak střídmější a k odlišení jednotlivých figur využívá pouze grafických symbolů – na obrázku například smrk, jako symbol lesního biomu. Obě varianty počítaly se základním materiálem v podobě dřeva, které se vzhledem ke svému přírodnímu původu, kvalitě a pocitu hřejivosti jevílo pro danou aplikaci jako vhodné.

Z designérského pohledu jsou obě varianty ještě značně neučesané. Přestože se jednalo o prvotní nedoladěné varianty, lze na nich vyzorovat výrazné vizuální problémy. Linie spolu nejsou v harmonii, a to především vnitřní symboly vzhledem k vnějšímu obrysu. Toto by bylo možné vyřešit zaoblením rohů, které by i zvýšilo bezpečnost produktu, nicméně linií by bylo stejně příliš mnoho. Velké množství použitých materiálů a barev vytváří spíše chaotické členění a figury tak působí až překombinovaně. Takto velké množství materiálů by zároveň značně komplikovalo výrobu, a to jak kusovou, tak i sériovou. Markery by v tomto případě musely být nanесeny pomocí například tamponového tisku, což by v kontextu sériové výroby sice nebyl problém, nicméně pro výrobu prototypu se jednalo spíše o náročnější, ne však nerealizovatelnou metodu.



obr. 3-6 Hrací deska, varianta 2

Druhá varianta hrací desky už ukazuje jasný posun směrem k finálnímu řešení. Počet herních figur byl zredukován na maximální počet 8 x 8, což se ukázalo jako nejlepší řešení z hlediska rozměru figur, jejich detekovatelnosti a míry detailu na generované herní mapě.

Tento návrh plánu již odpovídá zvolené technologii optické detekce a počítá se všemi klíčovými komponenty. Uvnitř rámu hrací plochy je zakomponován mikropočítač, připojený na kameru, která je z hrací plochy vyvedena na ramínku. Tato verze předpokládá i možnost integrace adaptéru, například v podobě powerbanky, který by umožnil platformu používat bez zapojení do sítě. Celkové rozměry odpovídají přibližně velikosti 600 x 600 mm, s výškou ramínka 300 mm. Tento návrh ještě nepředpokládal žádnou rozebíratelnost, a tedy by byl pro přenos a úschovu značně nepraktický.

Signifikantní pro tuto variantu je silná orientace na filozofii použitých materiálů. Cílem bylo zvolit kvalitní, avšak udržitelné materiály, které by platformě dodaly punc exkluzivity. Samotné rozložení materiálů si klade za cíl reflektovat to, co se následně bude odehrávat v rozšířené realitě a platforma tak svým členěním může připomínat například zemskou kůru.

Základním materiálem je dřevo, které tvoří pevný rám hrací plochy a ramínko pro kameru. Dřevo bylo pro tyto účely zvoleno jako přírodní, obnovitelný materiál, který však vykazuje vysokou kvalitu a dobrou opracovatelnost. Zároveň

může fungovat jako přirozený obal pro takový produkt a nebylo by tak potřeba vyrábět žádné další obalové materiály.

Druhým použitým materiálem je v tomto případě recyklovaný plast, který tvoří samotnou hrací plochu. Zde je filozofie jasná: Hrací plocha reprezentuje vodu, neboť, tam kde není umístěna žádná figura se v rozšířené realitě vykreslí vodní hladina. Pro napodobení efektu vodní hladiny může být recyklovaný plast vhodnou možností. Díky své částečné transparentci a možné barevné přizpůsobitelnosti vykazuje dobré vizuální kvality. Mnoho takto recyklovaných plastů se zároveň vyrábí z odpadu vyloveného přímo z oceánu a propojení je tak ještě větší.



obr. 3-7 Hrací figura, varianta 2, dřevo/porcelán



obr. 3-8 Hrací figura, varianta 2, Ne-Ro/NonOilen

Pro druhou verzi hrací plochy vznikly i nové hrací figury, a to ve dvou materiálových kombinacích. Stejně jako u původní verze hracího plánu je zachováno členění figury na dva různé materiály dle zlatého řezu. Na řezu je v tomto případě ještě vyveden třetí, akcentní materiál (v tomto případě buď z plsti nebo plastu), který slouží ke snazšímu odlišení jednotlivých figur a zároveň vnáší hravost do jinak poměrně umírněné barevné kombinace.

Figury již mají integrovaný ArUco marker, který byl zvolený jako nejlepší pro optickou detekci. Obě varianty figur znovu počítaly s použitím kvalitních a méně obvyklých materiálů, které by filozoficky navazovaly na rozšířenou realitu, podobně jako u výše zmíněné herní desky. První varianta počítá se dřevem, které by mohlo být buď stejné jako dřevo použité pro konstrukci herní desky, nebo by naopak mohlo svým původem odpovídat biomu, který daná figura reprezentuje. Doplnkovým materiálem by v tomto případě byl 3D tištěný porcelán, kdy česká společnost Fillamentum darovala několik prototypů cívek s tímto materiálem k možnému experimentování.

Základním materiálem druhé varianty je Ne-Ro, materiál vyvinutý na UTB ve Zlíně, založený na břidličné frakci a vodním sklu. Svým vzhledem Ne-Ro evokuje kámen, případně beton a filozoficky tak znovu zapadá do předem stanovené koncepce, kdy evokuje zemskou kůru, pevnou zem apod. Doplnkovým materiálem je v tomto případě NonOilen [46]. Jedná se o ekologičtější alternativu k běžně používanému PLA, která je vyrobena z obnovitelných zdrojů a zároveň je 100%

biodegradabilní. Tento materiál byl vyvinut pro společnost Fillamentum na Slovenské technické univerzitě v Bratislavě.

Jak u 3D tištěného porcelánu, tak i u NonOilenové varianty se předpokládá výroba 3D tiskem. To by umožnilo se svrchní plochou pracovat jiným způsobem, než by bylo možné u konvenčních výrobních metod. Obě varianty, tak předpokládají využití reliéfu, který umožní lépe odlišit jednotlivé typy figur a zároveň jim dodá haptickou kvalitu. v tomto případě se jedná o reliéfy vygenerované pomocí umělé inteligence. Metodice jejich aplikace, způsobu generování i důvodům použití se bude věnovat následující kapitola.

Celkově byla tato navržená varianta příliš hmotná a neskladná. Poukázala na nutnost navrhnout produkt tak, aby jej bylo možné snadno rozložit a uskladnit. Množství zvolených materiálů se ukázalo jako příliš vysoké a v celkovém kontextu převážil vizuální nesoulad nad výše definovanou filozofií. Kromě vizuálního nesouladu přinesly zvolené materiály ještě další problém, a to celkovou vysokou hmotnost. Především Ne-Ro je materiál s vysokou hustotou a vzhledem k celkovému počtu figur by byla jejich hmotnost nezanedbatelná. Stejně tak dřevo je pro takto rozměrný produkt možná až příliš hmotné.

3.1.2 Prototypování – výběr materiálů

Po vzniku a zhodnocení prvotních návrhů byl zahájen proces navrhování a prototypování jednotlivých dílů. Každý díl prošel několika iteracemi, kdy některé sloužily čistě k ověření funkce, jiné k materiálovému experimentu nebo k odladění designérského řešení. Ze začátku se předpokládalo, že finální prototyp bude řešen z více materiálů, jak již bylo nastíněno výše. v průběhu návrhového procesu však začalo dávat čím dál větší smysl navrhnout projekt jako tzv. open source, který by si mohl každý uživatel vyrobit doma sám.

Pro tento fakt hovořilo několik argumentů. Prvním byla ekologičnost takového řešení. Cílem projektu bylo od počátku navrhnout řešení, které je ekologicky zodpovědné, čehož samozřejmě bylo možné relativně dosáhnout vhodnou volbou materiálů, nicméně domácí výroba, i přes určité počáteční náklady přináší více výhod. Je to například zkrácení dopravy na minimum, možnost kdykoliv vyrobit libovolný náhradní díl, nebo díky open source povaze produktu jednotlivé díly upravit tak, aby lépe vyhovovaly potřebám uživatele.

Druhým faktorem byla skutečnost, že využití elektronické součástky jsou běžně dostupné a často využívané právě v kutilských projektech. Z tohoto důvodu dávalo smysl navrhnout i ostatní části tak, aby je bylo možné vyrobit doma nebo případně v kreativní dílně. Z procesu zakoupení produktu se tak stává proces výroby produktu, což nejen že zajistí, že si jej uživatel bude teoreticky více vážit,

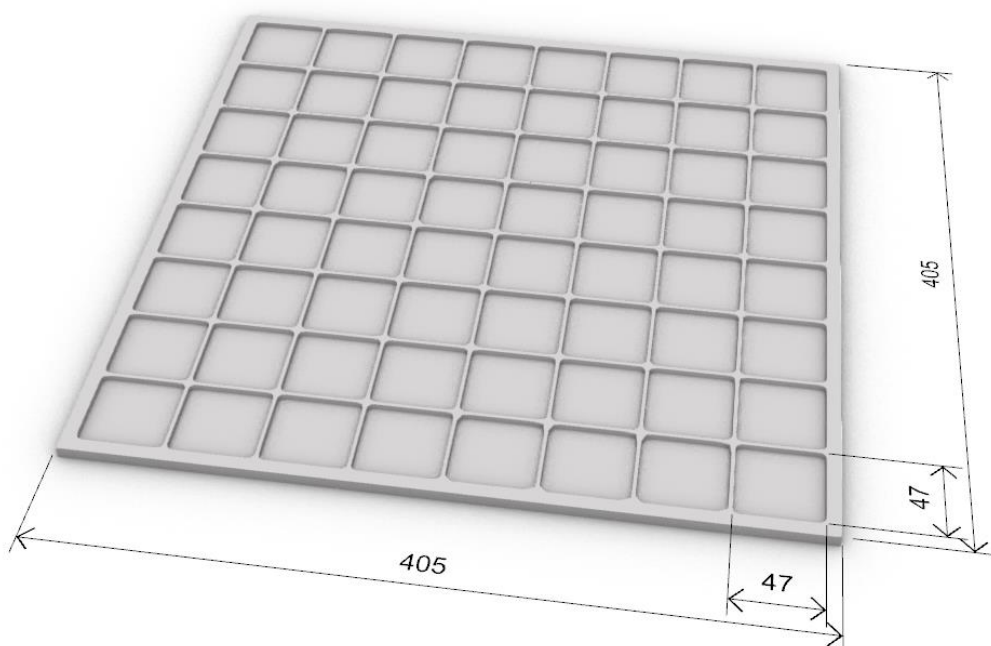
ale zároveň tato skutečnost vytváří šanci lépe poznat a pochopit, jak daný produkt funguje, a to jak pro dospělého, tak i dětského uživatele. Kromě edukačního potenciálu platformy jako takové se zde objevuje i edukační potenciál při samotné její výrobě.

Posledním faktorem, který hovořil pro open source přístup je modularita celé platformy. Vzhledem k tomu, že uživatel může využívat různé herní figury, teoreticky vytvářet i úplně nové, vlastní, dávalo smysl umožnit mu si je vyrobit svépomocí. To samé platí i pro horní desku, která je škálovatelná od jednoho kusu 4x4, až teoreticky do nekonečna, byť zde by musel fungovat jiný systém umístění kamery nad hrací deskou.

Následující mini kapitoly se budou věnovat jednotlivým součástem, jejich iteracím a designérské interpretaci.

Hrací deska

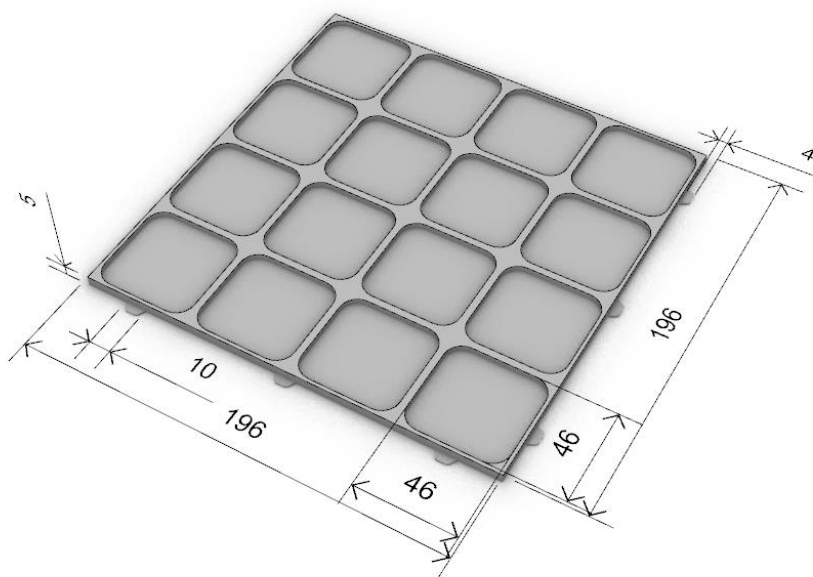
Jak již bylo zmíněno výše, původní návrh hrací desky předpokládal, že bude z jednoho kusu, vyfrézovaná z recyklovaného plastu nebo dřeva.



obr. 3-9 Hrací deska, iterace 1, rozměrový náčrt

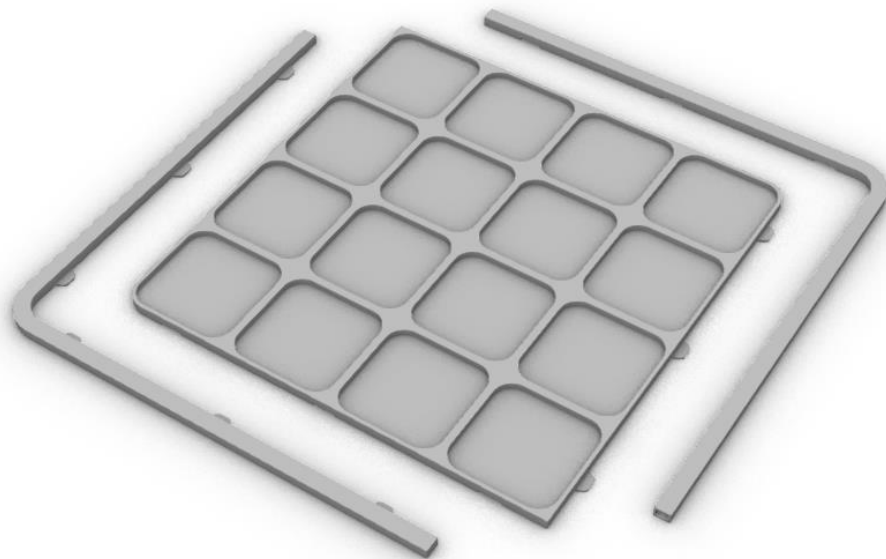
Jak se ukázalo, toto řešení nebylo vhodné. Prvním důvodem byla již dříve zmíněná neskladnost tohoto řešení. Přestože čtvercovou desku o délce strany 405 mm lze skladovat, z hlediska kompaktnosti balní celého produktu i uživatelského komfortu by se jednalo o méně vhodnou možnost.

Zároveň se v tuto chvíli zrodila myšlenka, že celý návrh by měl být realizován pomocí uživatelsky dostupných technologií, tedy ideálně 3D tisku. Všechny následující varianty hrací desky tak byly navrženy tak, aby se vešly na tiskovou plochu běžně dostupných 3D tiskáren a aby byl jejich tisk co nejjednodušší.



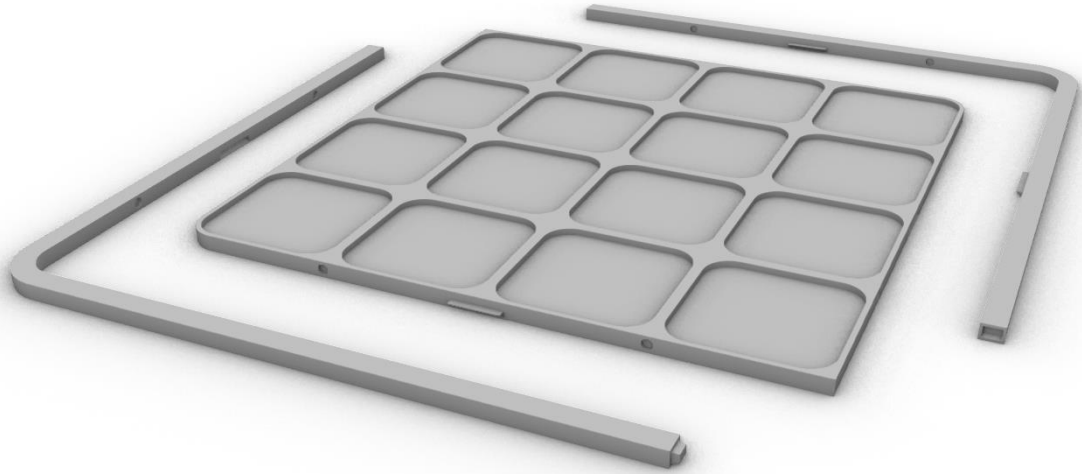
obr. 3-10 Hrací deska, iterace 2, rozměrový náčrt

Další varianta, vyobrazená výše, už předpokládá rozdělení hrací desky na čtyři shodné díly. Při složení všech dílů je zachován počet pozic pro umístění figur, tedy 8 x 8. Toto rozdělení dává uživateli větší svobodu, a to jak v možnosti rozšíření rastru, tak i vytvoření jiných než čtvercových kombinací. Vzhledem k velikosti tiskové plochy běžně dostupných 3D tiskáren, jako je Prusa MK3 nebo Creality Ender 3, už se v dalších variantách neměnila velikost tohoto dílce, a tedy ani hracích figur, jejichž velikost je přímo úměrná maximální velikosti hrací plochy. Zvolený rozměr 196 x 196 mm pokrývá takřka celou tiskovou plochu těchto tiskáren. Oproti předchozí verzi byl zvětšen rádius používaný u zaoblených hran hracích figur, což zapříčinilo přívětivější, méně technické vzezření hracích figur a zároveň jejich snazší umístění a odebrání z hrací plochy. Tato varianta má systém vymezovacích zámečků, které zajišťují správné složení jednotlivých dílců.



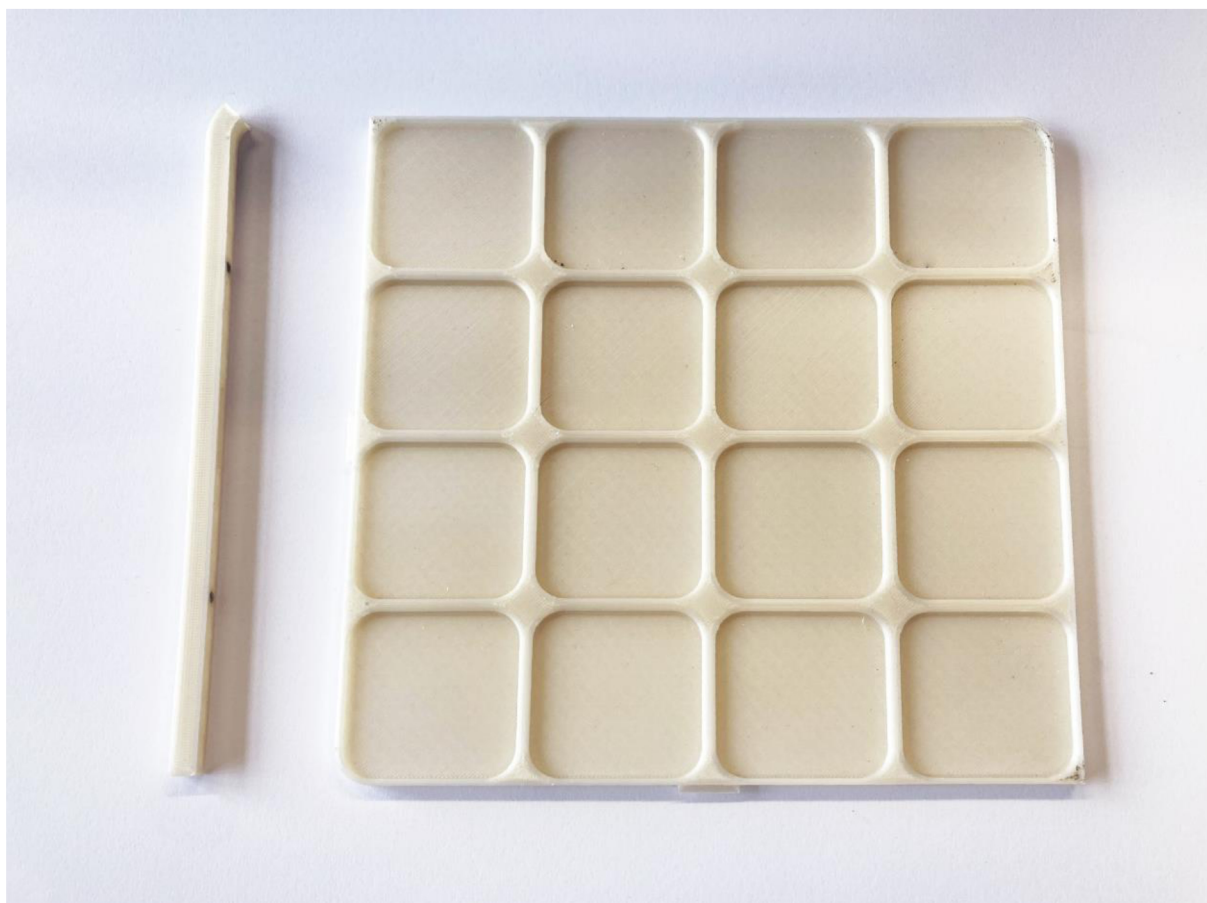
obr. 3-11 Hrací deska, iterace 2.1

Dalším krokem bylo zaoblení vnějších rohů hrací desky, tak jak je vidět na obrázku výše. Tato varianta zároveň předpokládala, že celá hrací deska bude zasazena do vyššího rámu, který by ji ohraničoval. Z toho důvodu vznikly distanční dílce, které by hrací desku oddalovaly od rámu. Tyto distanční prvky se objevují ještě v několika dalších iteracích, nicméně postupem času byly vyřazeny jako příliš komplikovaný, redundantní díl.



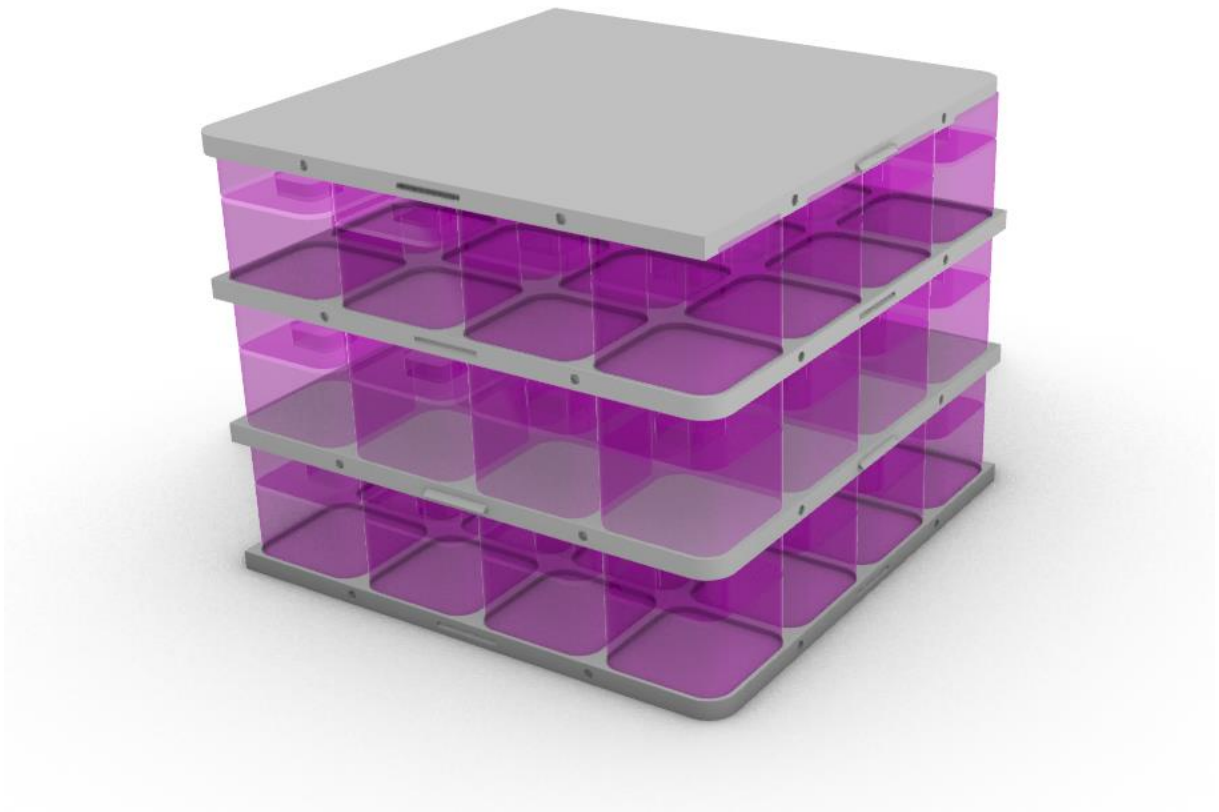
obr. 3-12 Hrací deska, iterace 3

V další iteraci došlo ke změně systému zámečků. Původní zámečky byly redukovány na malé klíny na středu desky. Po obou stranách pak byly vytvořeny otvory, které umožňují umístění malých neodymových magnetů, které by zajišťovaly o něco lepší fixaci. Tato iterace je poslední, u které se počítalo s distančními prvky. U dalších iterací se již ukázalo že deska jako taková nebude mít kolem sebe celý rám, ale spíše systém přídatných modulů, a tak se tyto prvky staly přebytečnými.



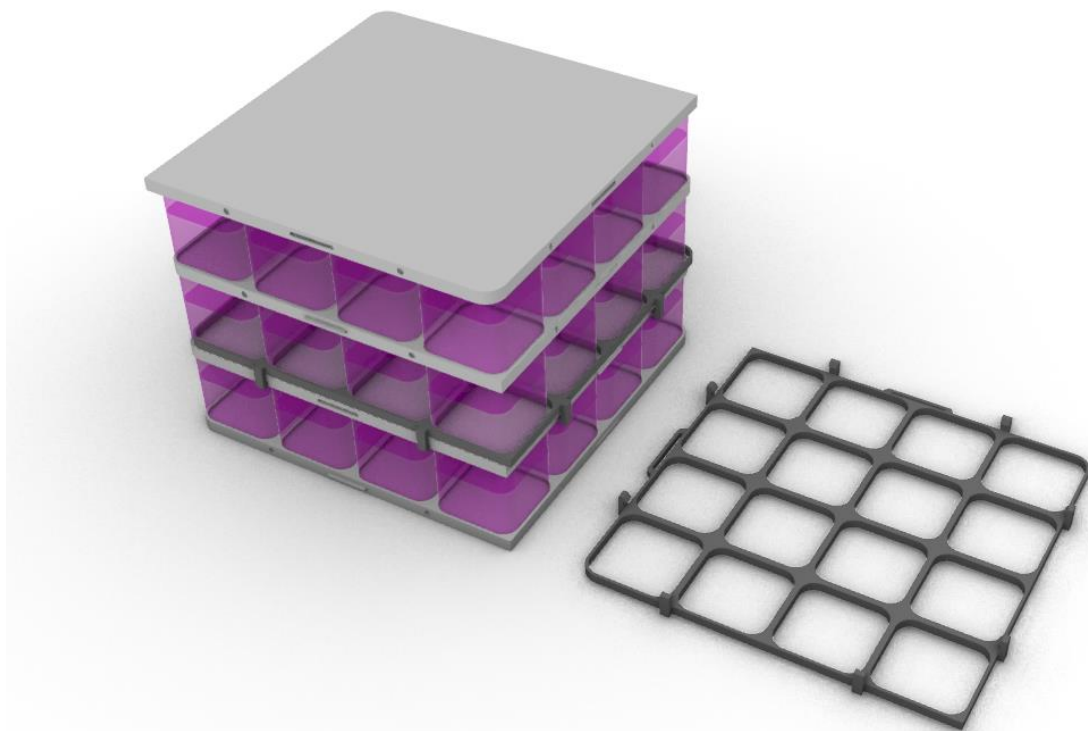
obr. 3-13 Hrací deska, iterace 3, 3D tisk, NonOilen

V tuto chvíli se také začíná zvažovat jakým způsobem se bude celý systém skladovat tak, aby zabral co možná nejméně prostoru. Jako ideální se jevila možnost vršit dílce hrací desky a figury střídavě na sebe. Hrací deska by v tomto případě tvořila fixační prvek, který by jednotlivé figury držel na místě.



obr. 3-14 Hrací deska, iterace 3, systém skladování

Jak ukazuje obrázek výše, tento systém předpokládá umístění až 48 figur, tedy o 16 figur méně, než je maximum, jaké lze na čtyři dílce hrací plochy vyskládat. Vzhledem k tomu, že se při práci s touto platformou nepředpokládá úplné zaplnění hrací plochy figurami, lze tento počet považovat za dostatečný. Problémem naopak bylo, že vzhledem ke způsobu 3D tisku naležato musely být dílce hrací desky z jedné strany ploché. Tisk s podporami by v tomto případě nebyl možný, protože by plocha vystavěná na podporách nebyla esteticky dostatečně kvalitní. Prostřední řada figur by kvůli této absenci drážek nebyla fixována.



obr. 3-15 Hrací deska, iterace 3.1, systém skladování s vymežovacím prvkem

Z tohoto důvodu vzniknul vymežovací prvek, který by se do středního patra vložil a zajistil fixaci figur na místě. v této fázi byla také zvažována možnost stáhnout celou takto složenou platformu pomocí popruhů, na které má tento dílec vytvořené oka. Z důvodu ohebnosti se u tohoto prvku předpokládala výroba 3D tiskem z materiálu Flexfill, který se vyznačuje právě svou flexibilitou a zaručil by snadné usazení na dílec hrací plochy. Od začátku však byla zřejmá velká nevýhoda tohoto řešení. Dílec se jevil jako nadbytečný. Jeho jediný účel, se nejevil jako dostatečný důvod k tomu, aby byl do celého konceptu přinesen další materiál a nový díl, který by bylo nutné vyrobit. Další řešení se proto zaměřily na to, jak tuto součást znovu eliminovat a zároveň zachovat možnost fixace figur v prostředním patře.

Jako nejideálnější řešení se jevilo umístit stejné zapuštění i z druhé strany hrací desky. Jak již bylo zmíněno výše, toto řešení však při tisku naležato nebylo proveditelné. Nabízela se však ještě možnost tisknout desku na výšku. To by znamenalo delší tiskový čas a větší množství zbytkového materiálu ve formě podpor, které by u takového tisku tvořily značný procentuální podíl. Na druhou stranu by to však znamenalo možnost nevytvářet dříve zmíněný vymežovací prvek, a zároveň se vyhnout použití materiálu Flexfill.

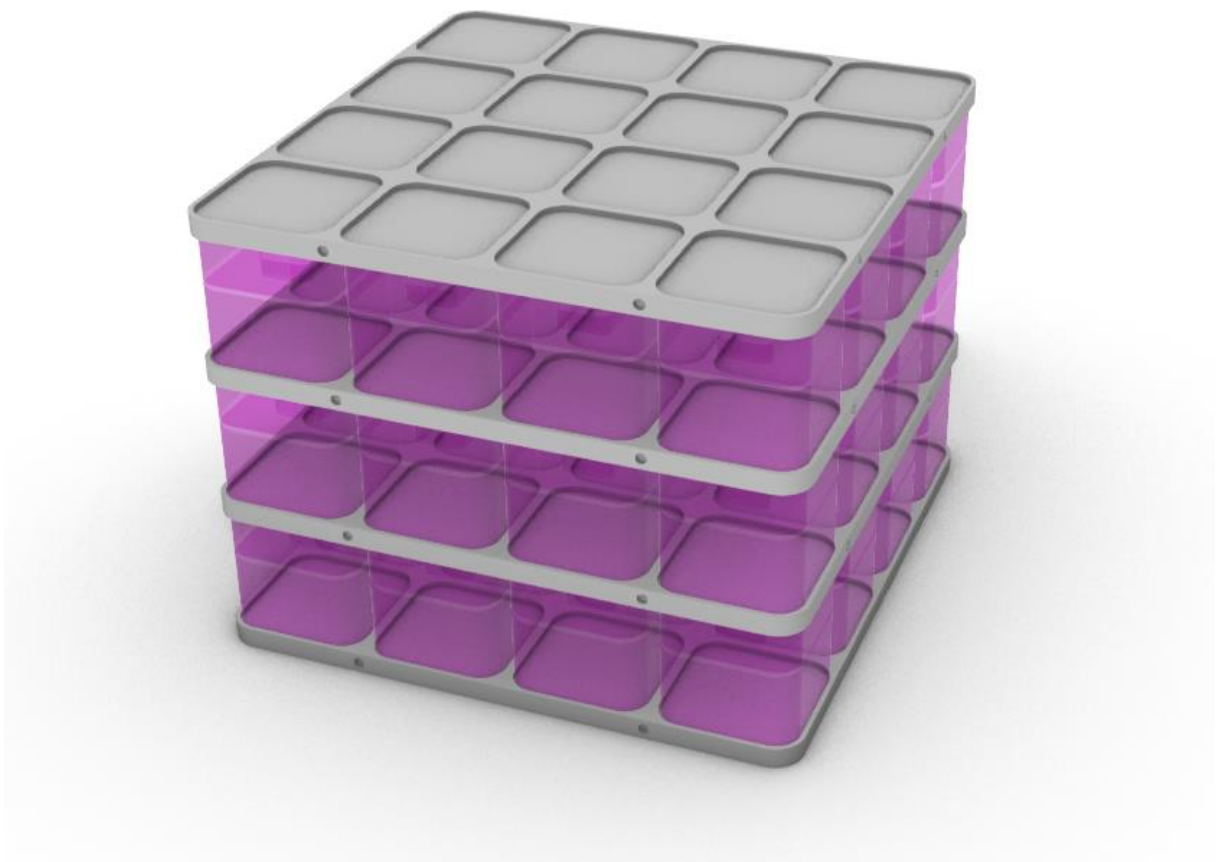


obr. 3-16 Hrací deska, iterace 4

Aby bylo možné umístit zahloubení i na druhou stranu desky, musela být zvětšena její výška o 2 mm, tedy na celkových 7 mm. Dále byl eliminován systém zámečků, který se ukázal jako redundantní a ponechány byly pouze drážky pro umístění magnetů. Umístění těchto drážek umožňuje případné zvětšení jejich hloubky, a to pro případ, kdy by se přitažlivá síla použitých magnetů ukázala jako příliš malá a bylo by potřeba jich použít více. Oproti předchozí verzi také byly zaobleny všechny vnější rohy, oproti původním dvěma. To zlepšilo celkovou homogenitu dílu a zároveň umožnilo využít prohlubeň, která vznikne na kontaktu rádiusů dvou spojených dílů jako tvarový vymežovací prvek pro přídavné moduly.

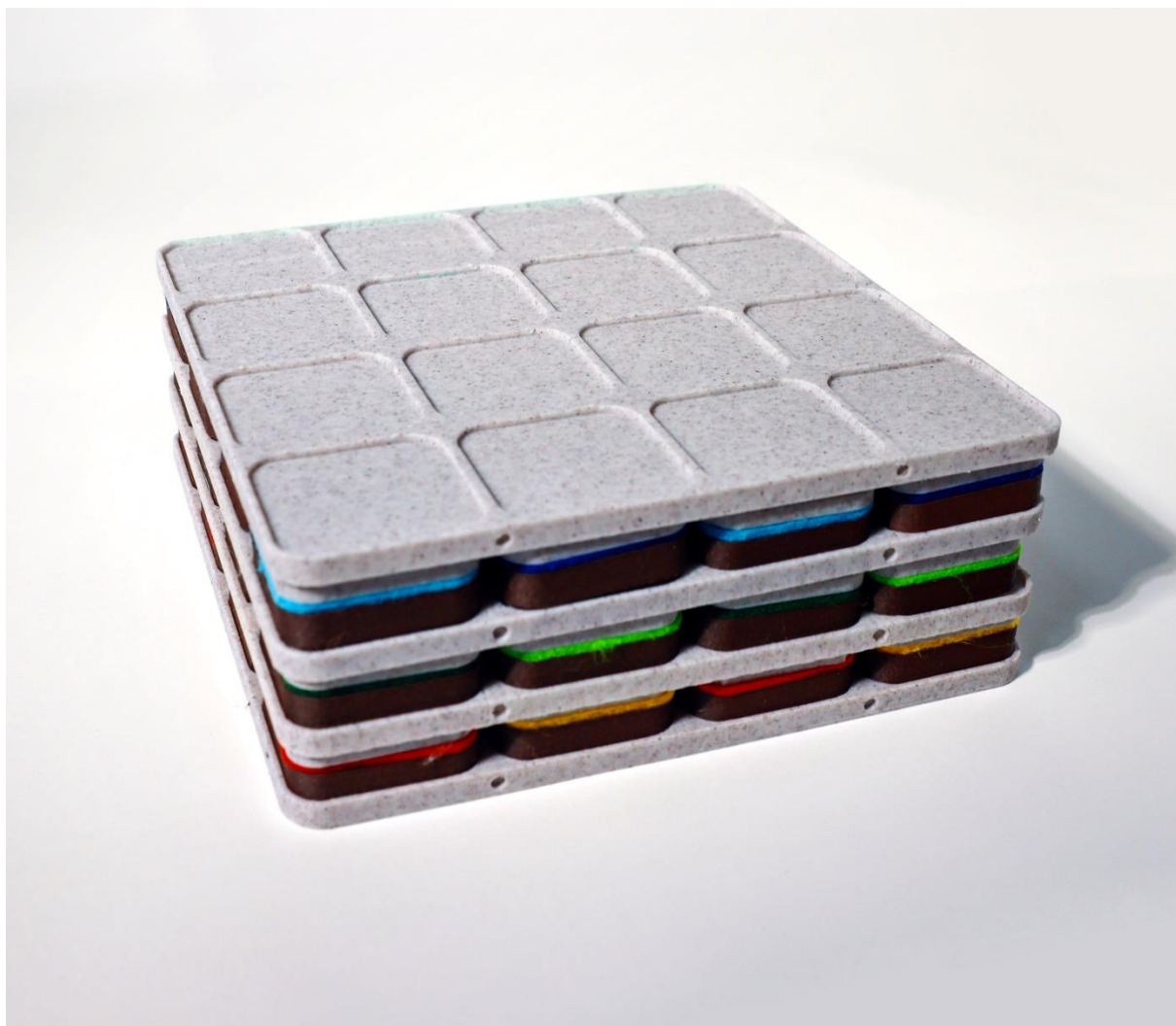


obr. 3-17 Hrací deska, finální 3D tisk



obr. 3-18 Hrací deska, iterace 4, systém skladování

3D tisk na výšku se ukázal jako poměrně snadno realizovatelný a výsledky byly velmi slibné. Oproti verzi tisknuté naležato by zahloubení u této verze potřebovaly větší vůli tak, aby do nich herní figury snadno zapadly. Jinak se ovšem praktické přínosy této verze ukázaly jako jasně převažující a úprava některých prvků přinesla i zvýšení estetické kvality. Výroba všech prototypů hrací desky byla realizována za materiálů NonOilen nebo PLA.



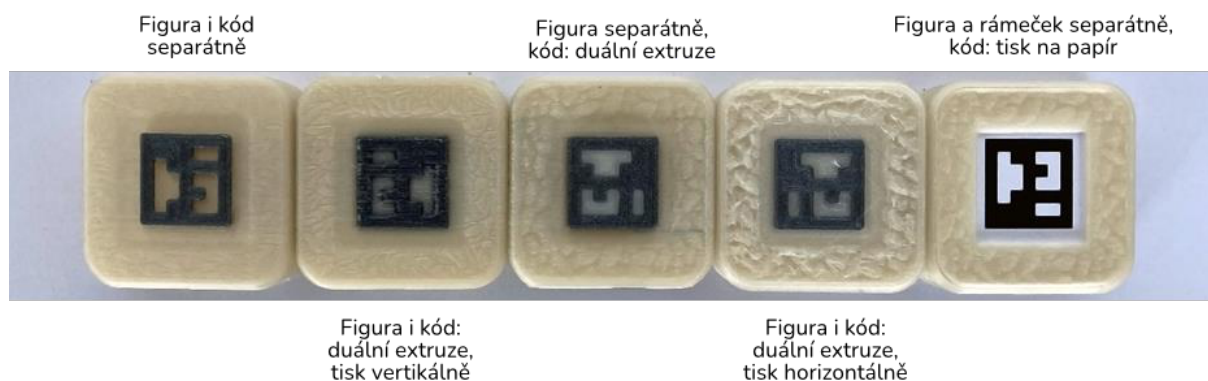
obr. 3-19 Hrací deska, finální systém skladování

Herní figury

Základní podoba figur byla již od druhé, výše zobrazené varianty v podstatě daná. v průběhu procesu se měnily prakticky jen detaily a samozřejmě struktura a ArUco markery umístěné na svrchní straně figur a které jsou pro každý typ figury unikátní. Figura jako taková sestává ze tří částí, jmenovitě:

- Základny, která je vždy realizována z tmavého materiálu.
- Dělicí linie vytvořené z barevné plsti, která slouží k lepšímu odlišení figur.
- Horního dílu, který je vyroben buď z PLA nebo NonOilenu a který slouží jako nosič ArUco markeru a reliéfní textury.

U figur se jako nejdůležitější ukázala nutnost vyřešit způsob 3D tisku, kdy některé způsoby nebyly vhodné z hlediska reliéfní struktury a jiné zase z hlediska kvality ArUco markeru.



obr. 3-20 Srovnání možných metod 3D tisku herních figur

Obrázek výše ukazuje první srovnání jednotlivých variant tisku horního dílu figur. Jako první byla vyřazena možnost tisknout celý vrchní díl horizontálně. Tento způsob sice zachovával relativně kvalitní ArUco marker, nicméně pro reliéfní strukturu byl zcela destruktivní. U tiskáren běžně používaná 0,4 mm tryska nebyla kvůli svému průměru schopna vytvořit potřebnou míru detailu. Použití užší trysky (například 0,1 mm) by tento problém sice mohlo částečně vyřešit, je však třeba mít na paměti, že by se násobně zvýšil tiskový čas, který byl již u tisku tryskou 0,4 mm poměrně dlouhý. Zároveň by se také výrazně zvýšilo riziko ucpání trysky, což by mohlo tisk dále komplikovat.

Při vertikálním tisku je naopak míra detailu dána jednak krokem motorků na osách X a Y a dále také nastavením výšky vrstvy. Ta se obvykle pohybuje od 0,08 mm po 0,16, což je méně než poloviční velikost oproti 0,4 mm trysce, jejíž průměr se v tomto případě projeví pouze na vnitřním perimetru figury, kde je ovšem

nepodstatný. Při vertikálním tisku je tak možné dvou až čtyřnásobnou míru detailu ve srovnání s horizontálním tiskem při použití trysky o stejném průměru. Všechny ostatní figury tak byly tištěny vertikálně a lišily se pouze způsobem aplikace ArUco markeru.

Jako další nepoužitelná možnost se ukázala varianta, kdy byly figura i ArUco marker vytištěny jako jeden kus pomocí duální extruze. Budeme-li ignorovat fakt, že duální extruze stále ještě není úplným standardem u domácích 3D tiskáren a zaměříme se na kvalitu 3D tisku samotnou, zjistíme, že pro účely detekce není vhodná. Samotný reliéf na figurě je sice vykreslen dobře, s dostatečnou mírou detailů, nicméně problematický je v tomto případě ArUco marker. Jeho hrany nejsou dostatečně ostré, což může být dále násobeno nepřesností motorků 3D tiskárny. Přejít mezi materiály je nedostatečně definovaný, což se projevuje především na vnitřních bodech ArUco markeru, kde světlý materiál působí velmi tmavě a s tmavým se částečně slévá. Posledním faktorem byla skutečnost, že vertikálně tištěný marker měl velmi viditelné jednotlivé vrstvy, což by mohlo kameru při detekci mást. Tento fakt byl potvrzen volbou filamentu, který obsahuje metalické částičky, které tento efekt dále zesilovaly.

Varianty, u kterých byl ArUco marker vytištěn samostatně vykazovaly obě srovnatelnou míru detekovatelnosti. Vzhledem k již výše zmíněnému faktu, tedy obecné nedostupnosti duální extruze v domácích podmínkách, by z těchto dvou variant byla pravděpodobně zvolena ta, kde je ArUco marker vytištěn klasicky jednou tryskou. Přestože však byla detekovatelnost vyšší než u předchozích variant, stále nemohla být považována za dostatečně spolehlivou.

Poslední varianta tedy na obrázku má tedy ArUco marker samostatně vytištěný na papír, který je následně vložen do těla figury. Tato varianta ze zřejmých důvodů vykazovala prakticky bezchybnou detekci markerů. Z estetického hlediska však nedávala smysl. Do koncepce přinesla další materiál, který ovšem nepůsobil kvalitně, přirozeně a zároveň by nevykazoval dlouhodobou trvanlivost.

Přestože ani jedna z těchto variant nakonec z různých důvodů nemohla být použita, přineslo jejich vyprototypování cenné poznatky, které byly klíčové pro nalezení optimálně funkčního i esteticky kvalitního řešení.

Předchozí výsledky jasně naznačily, že ArUco marker vyrobený za pomoci FDM 3D tisku nespĺňuje kvalitativní požadavky pro úspěšnou detekci. v případě, že by byl produkt sériově vyráběn, byl by nejjednodušším způsobem, jak marker na figuru dostat nějaký způsob tisku. Nabízel by se například tamponový tisk, který se často používá k potisku reklamních předmětů. To by zaručilo relativní odolnost i vysokou čitelnost markeru. Vzhledem k tomu, že produkt je v tuto chvíli zamýšlen jako open source, není tato varianta vhodná, jelikož v malém množství kusů poměrně drahá a pro běžného kutila relativně nedostupná. Nabízela se i možnost vytvořit přípravek, a to buď pomocí 3D tisku, nebo pomocí laseru. a následně přes tento přípravek, což by byl ArUco marker v negativu nanést barvu pomocí spreje. Tato metoda by byla pro uživatele znovu obtížně realizovatelná, neboť vyžaduje vysokou přesnost a je časově náročná.

Jako nejschůdnější řešení se nabízelo vytvořit negativní zahloubení přímo ve figuře, do kterého by se následně vpravil marker z jiného materiálu. Zvažována byla možnost použít UV vytvrzovací pryskyřici, kterou by se toto zahloubení zalilo a následně vytvrdilo. Pro uživatele se však znovu jedná o náročnou metodu, a to jak na zručnost, tak i z hlediska toxicity takových pryskyřic. Nejvhodnějším řešením se tedy ukázalo laserování markerů z matného černého plexiskla. To vyžadovalo pracovat pouze s markery, které mají celistvou plochu a žádné detekční body nemají podobu samostatných ostrůvků. Přestože tato možnost přinesla do výroby nový materiál a novou technologii výroby, ukázala se jako nejlepší možná. Z hlediska přípravy je pro uživatele jednoduchá, a přestože laser není běžnou výbavou domácností, je obvyklou součástí kreativních dílen, které se stávají stále populárnějšími. Aplikace takto připraveného markeru do figury je jednoduchá a přímočará – vyžaduje pouze vteřinové lepidlo. Z hlediska detekce se takto vyrobené markery ukázaly jako vysoce spolehlivé. Kvalita detekce sice nedosahovala kvalit markeru vytištěného na papír, ale výrazně se mu přibližovala.

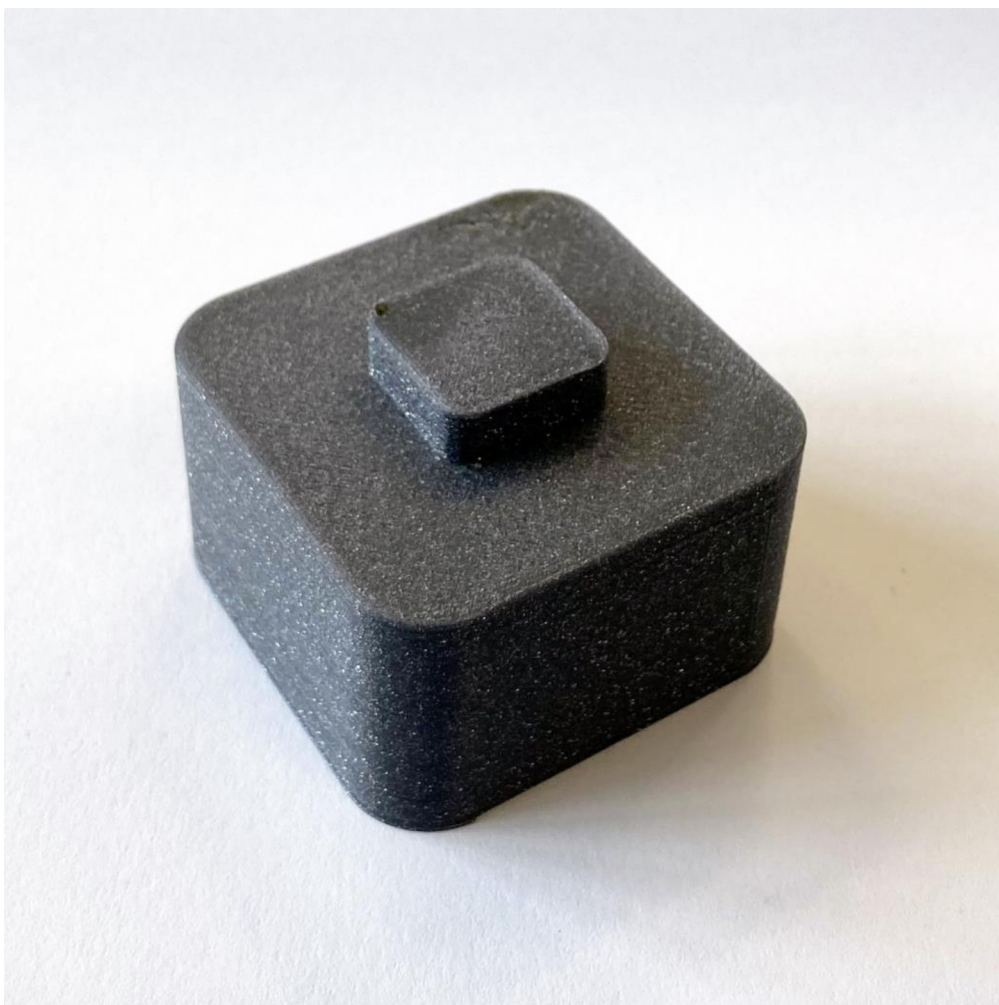
Alternativně byla testována i ekologičtější varianta, kdy byl ArUco marker vylaserován z linolea Forbo furniture linoleum, vyrobeného z přírodních olejů a dalších rostlinných materiálů [47]. Toto linoleum se vyrábí mnoha v mnoha barevných variantách, z nichž se jako nejzajímavější jevila hnědá mauve, která má podobný tón jako materiály využívané na zbytek prototypu. Materiál lze velmi dobře laserovat a má příjemnější texturu než plexisklo. Optické vlastnosti z hlediska detekce jsou v tomto případě o něco horší, a to kvůli výraznějšímu odlesku. Přesto se však jedná o použitelnou alternativní variantu.



obr. 3-21 ArUco markery z přírodního linolea Forbo furniture linoleum

Spodní část figury

Dalším krokem byl výběr vhodných materiálů. První experimenty u spodního dílu figury byly provedeny z materiálu PLA, konkrétně ve variantě Vertigo grey od společnosti Fillamentum. Tento materiál je velmi oblíbený v komunitě 3D tiskařů. Tato oblíbenost získal především díky tomu, že ho lze snadno tisknout a zároveň vypadá efektně, a to díky příměsi metalických částíček, které mu dodávají hloubku a zároveň částečně skrývají jednotlivé vrstvy tisku.

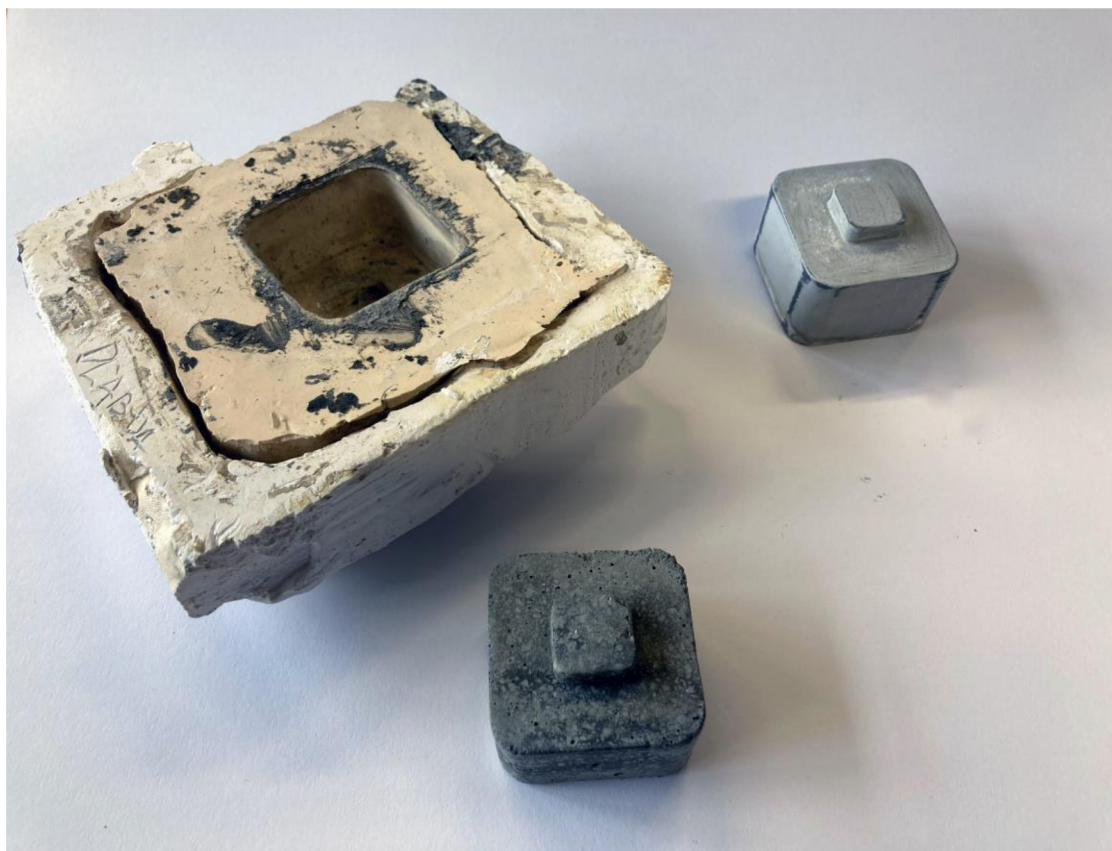


obr. 3-22 Spodní část figury, PLA Vertigo grey

Samostatně tento materiál na figuře působil dobře, a to jak z hlediska barevnosti, povrchu, tak i z hlediska kontrastu s horní světlou částí figury. v kontextu celého produktu, tedy v kombinaci více figur a postranních modulů však tento materiál působil až příliš konstruktérsky, chladně a dalo by se říct, že až fádně. Pro daný typ produktu, který má být mimo jiné určen ke hře, se takováto konotace nehodí, a proto byly zahájeny pokusy s dalšími materiály.

Druhým testovaným materiálem pro výrobu spodní části figury byl materiál Ne-Ro, který byl na UTB vyvinut před několika lety. Jedná se o ekologický materiál, který využívá břidličné frakce (odpadní produkt břidličných dolů) smíchané s vodním sklem a několika dalšími přísadami v nízkém množství. Způsobem práce i finální podobou připomíná tento materiál beton. Je možné ho odlévat do formy a po vytvrnutí vytvoří pevnou hmotu, která působí podobně jako beton, ale je tmavší.

Pro účely odlitku byla jedna z vytištěných figur vybroušena a natmelena, tak aby byl co možná nejvíce hladká. Následně byl vytvořen negativ z Lukoprenu (dvousložkový silikonový kaučuk), který byl ještě zalit do sádry, aby při odlévání materiálu Ne-Ro lépe držel tvar.



obr. 3-23 Spodní část figury, NeRo, pozitiv, forma a finální odlitek

Výsledný odlitek působil zajímavým, zemitým dojmem, nicméně, jak se ukázalo, pro finální prototyp by nebyl vhodný. Proti použití tohoto materiálu hovořila především náročná příprava, využívající i toxických látek, která by nebyla pro domácí výrobu vhodná. Pro koncového uživatele by bylo problematické břídlíci získat a připravit formu. Samotný proces odlévání už je poměrně jednoduchý a přímočarý, nicméně odlévání je vhodnější provádět na vibrační podložce, aby se z lité hmoty uvolnily bubliny vzduchu. Zdlouhavý je pak proces vytvrzování, kdy je nutné nechat odlitek před vyjmutím nechat ve formě několik dní. To by zásadně prodloužilo dobu výroby figur, a to i ve srovnání s relativně pomalým 3D tiskem.

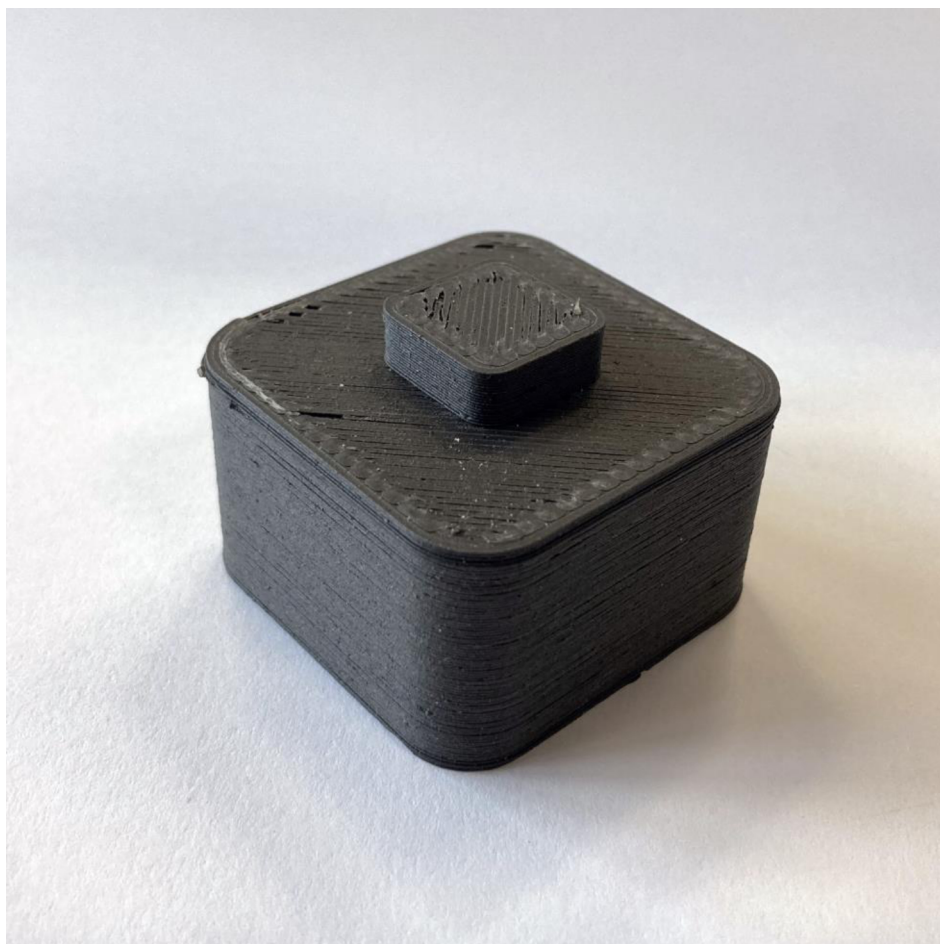


obr. 3-24 Spodní část figury, NeRo

Ani ostatní materiálové vlastnosti se neukázaly jako vhodné. Materiál má mírnou tendenci se v některých místech drolit, což by produkt nebylo vhodné, zvláště v kontextu toho, že materiál nebyl nijak laboratorně testován a lze předpokládat, že produkt budou využívat i děti. Dalším limitujícím faktorem byla vysoká hmotnost takto vyrobených figur, která by při zamýšleném počtu 48 figur byla příliš velká.

Dalším pokusem bylo využít filament Ne-Ro, který v rámci stejného projektu vzniknul ve spolupráci s Plastikářským klastrem. Jedná se o filament s vysokým podílem jemné břidličné frakce, který je možné tisknout na běžných FDM tiskárnách. Výsledný vzhled takto vytištěného produktu působil oproti standardním filamentům více luxusně, kdy jeho textura měla až sametový, vysoce matný efekt, který však nepůsobil ploše. Výhodou oproti odlévanému materiálu Ne-Ro byla nízká hmotnost, srovnatelná s 3D tiskem z jiných materiálů. Nevýhody materiálu však byly i přes jeho estetické kvality zřejmé. v první řadě se jedná o materiálový prototyp, který pro běžného uživatele nemůže být dostupný, a tedy by nebyl

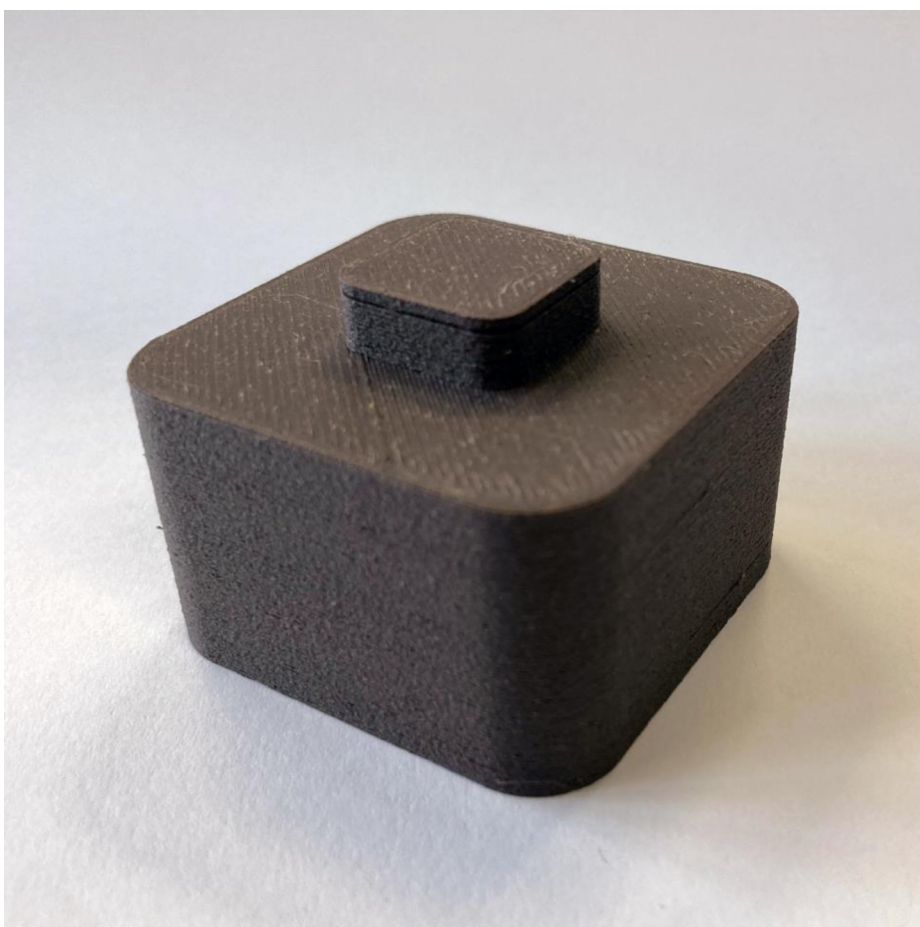
vhodný pro případnou variantu open source. Druhým problémem je poměrně problematická tisknutelnost tohoto materiálu. Jedná se o vysoce abrazivní materiál, a proto je nutné použít odolnou trysku z kalené oceli. Zároveň má silnou tendenci tiskárnu ucpávat a je tedy nutné používat trysku s velkým průměrem (0,8 mm). S touto tryskou už byl tisk realizovatelný, nikoliv však bezproblémový. Posledním faktorem je vysoká křehkost této struny, která způsobovala časté zalamování materiálu v tiskárně. Z těchto důvodů nemohl být tento materiál zvolen jako vhodný pro finální produkt.



obr. 3-25 Spodní část figury, NeRo filament

Posledním testovaným materiálem pro výrobu spodní části figury bylo PLA s příměsí dřeva. Tyto filamenty vyrábí několik různých výrobců, a oproti běžnému PLA se vyznačují bohatější a hlubší texturou. Výrobci proklamují, že tento typ materiálu je možné mořit obdobně jako běžné dřevo. Jedná se o relativně ekologický materiál, byť s nevýhodami klasického PLA, jehož odbouratelnost je problematictější, než se výrobci původně snažili tvrdit [48].

Obsah dřevěné složky v takových materiálech se obvykle pohybuje kolem 30 %. Tato skutečnost přináší poněkud problematictější tisk než u běžného PLA. Materiál je obdobně jako dříve zmíněné NeRO relativně křehký a má tendenci se snadno zalamovat. Na rozdíl od předchozího materiálu není výrazně abrazivní a je možné používat mosazné trysky, byť s vyšším průměrem. Dřevěné částice mají tendenci užší trysky ucpávat, a proto musela být používána tryska o průměru 0,6 mm. Zřejmě však záleží na konkrétní šarži, protože některé cívky bylo možné úspěšně tisknout i tryskou o průměru 0,4 mm, zatímco u jiných se tato tryska prakticky okamžitě ucpávala. Konkrétně byl pro tyto účely zvolen filament Timberfill od společnosti Fillamentum. Jednalo se o barvy Cinnamon a Rosewood. Jako vhodnější z těchto dvou byla nakonec zvolena varianta Rosewood, která působila přirozeněji a nabízela lepší kontrast se světlými materiály použitými na hrací desku a horní část figury.



obr. 3-26 Spodní část figury, Fillamentum Timberfill Rosewood

Celkově se tento materiál ukázal jako nejlepší z testovaných, a to jak z hlediska open source výroby pomocí 3D tisku, tak i z hlediska estetické kvality. v rámci homogenity byl tento materiál použit i na všechny další dílce tmavé barvy.

Svrchní část figury

Svrchní díl herní figury od začátku předpokládal využití materiálu NonOilen, který výrobce prezentuje jako ekologičtější alternativu k PLA. Tiskové vlastnosti tohoto materiálu se však postupem času ukázaly jako přinejmenším problematické. Zvláště u rozměrnějších dílců docházelo k poměrně častému odlepování materiálu od podložky, což mělo za následek velké kroucení takových tisků, a tedy i velkou ztrátovost. Tento problém se částečně podařilo vyřešit použitím adhezivního spreje 3DLAC, který byl vyvinut právě pro zvýšení adheze 3D tisku a podložky. Oproti běžnému PLA však tento materiál vykazoval stále vyšší chybivost, navíc se u funkčních dílů projevoval i vyšší křehkostí. Rozporuplná byla rovněž barevnost. Společnost Fillamentum vyrábí tento materiál pouze v jedné, přírodní barvě. Tato barva je vnímána poměrně rozporuplně, i v rámci náhodného dotazování se při prototypování objevily jak názory, že se jedná o příjemnou krémovou barvu, tak i opačné názory, kdy barevnost připomínala nepřírozené barvy prvních bakelitových plastů. Z těchto důvodů byl tento materiál v rámci prototypování nakonec opuštěn. Je však třeba říct, že produkt z něj v každém případě je realizovatelný, byť se případný uživatel musí smířit s nemožností výběru barvy a problematictějším tiskem.



obr. 3-27 Svrchní díl figury, srovnání NonOilen (vlevo) a PLA Light ivory

Jako alternativní materiál s podobnou barevností bylo testováno PLA od společnosti Fillamentum v barvě Light ivory. Tento materiál se oproti NonOilenu lépe tisknul, nicméně jeho barevnost se také neukázala jako vhodná. Slonovinová barva působila nepřírozně a oproti NonOilenu zvýrazňovala jednotlivé vrstvy 3D tisku.

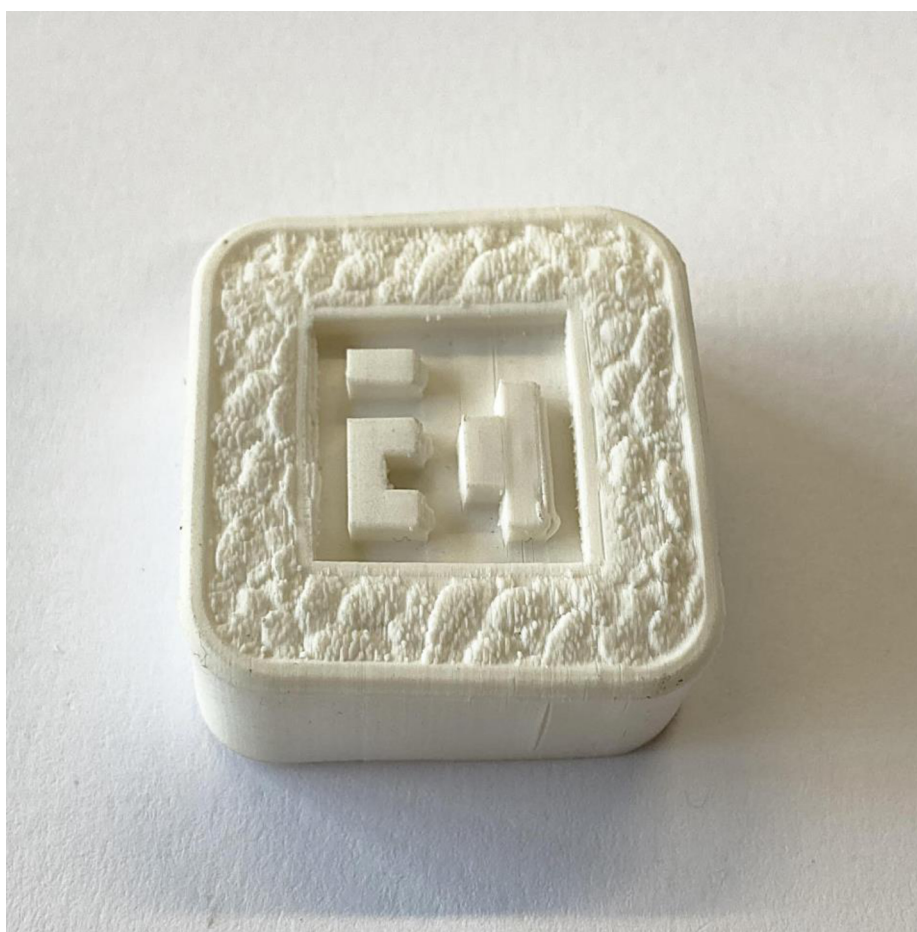
Podobně nevhodným se ukázal materiál PLA Mineral white od společnosti Fibrelgy. Tento materiál se vyznačuje vysokým, saténovým matem, kterého je docíleno přidávkem křídý. Oproti běžnému PLA vykazoval o něco horší tiskové vlastnosti, kdy měl tendenci se více delaminovat a vytvářet přebytečné struny. Výsledný tisk sice opravdu působil matně, nicméně ze všech testovaných materiálů nejvíce akcentoval jednotlivé vrstvy 3D tisku. Bílá barva se ukázala v kontextu produktu jako příliš světlá, nehodící se k dříve zvolenému filamentu s příměsí dřeva. Výrobce sice nabízí i jiné odstíny, tyto však vzhledem k výše zmíněným vlastnostem nebyly testovány.

Z experimentálního hlediska byly zajímavé pokusy s využitím 3D tištěného porcelánu, byť zde bylo od počátku jasné, že na finální prototyp nebude moci být použit, jelikož se jednalo o prototyp materiálu, který byl k dispozici pouze v omezeném množství. Lze však předpokládat, že v budoucnu se materiály tohoto typu dostanou na trh a bude je možné běžně používat. Proto byl i tento materiál zvolen jako možná varianta. Porcelán je vysoce kvalitní materiál, stále považovaný za poměrně luxusní. Vysoká je i jeho vizuální kvalita, a to jak v surové, tak i glazované formě. Pro běžného uživatele bude jeho výroba problematická i v budoucnu. Tento materiál lze tisknout na relativně dostupných 3D tiskárnách, kdy jedinou zásadní podmínkou je, aby byl podavač filamentu umístěn přímo v tiskové hlavě – z důvodu vysoké flexibility struny. Problémem ovšem je, že po vytisknutí je nutné porcelán, stejně jako při klasických metodách lití a zatáčení porcelánových produktů, vypálit na vysokou teplotu v peci, což pro běžného 3D tiskaře bude obtížně realizovatelné.

Samotný 3D tisk byl velmi snadný. Materiál se choval obdobně jako PLA, nicméně je třeba zmínit, že byl testován pouze na relativně malých výtiscích. Svým matným povrchem připomínal již výše zmíněný materiál PLA s příměsí křídý. Lišil se však tím, že na rozdíl od něj nezdůrazňoval jednotlivé vrstvy tisku, a zároveň byl velmi příjemný na dotek. Texturou tento materiál připomíná ve své nevypálené formě právě spíše čerstvě odlitý porcelán než plast. Být by asi bylo možné ponechat materiál v jeho surové formě, jeho mechanické vlastnosti by se časem pravděpodobně ukázaly jako nedostatečné.

Samotný výpal tohoto prvku byl realizován ve fakultní dílně ve spolupráci s technikem ateliéru Průmyslový design a expertem v oblasti výroby porcelánu

MgA. Martinem Mikešem. Jak se ukázalo, vypálení takto vytištěného porcelánu vyžaduje jiný přístup, než u klasického litého. První pokus o vypálení tak selhal. Jednalo se o takzvaný přežah, kdy se porcelán vypálí na nižší teplotu (kolem 800 °C) aby se následně mohl glazovat. Tato teplota se však ukázala jako nedostatečná, a to z důvodu, že se sice z větší části podařilo vypálit pojivo v podobě plastu obsaženého ve filamentu, nicméně samotný porcelán se nedostatečně spojil a výsledný výpalek tak neměl potřebnou strukturální pevnost a drolil se. v případě, že by bylo třeba produkt glazovat, bylo by pravděpodobně možné surový produkt zahřát a postupně na něj nanášet glazuru – rychle odpařující se voda by umožnila glazuře na produktu ulpět.



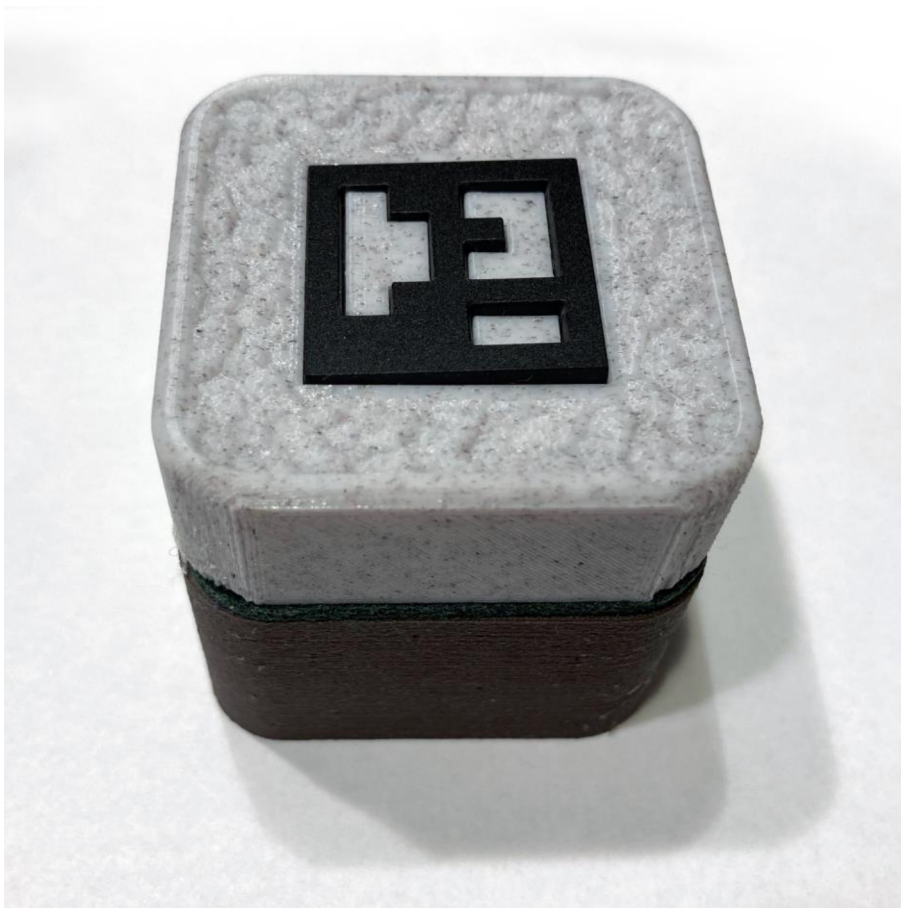
obr. 3-28 Svrchní díl figury, porcelánový výpalek

Pro realizaci prototypu však nebylo třeba díl glazovat, a proto byl druhý pokus vypálen rovnou na finální teplotu. Výsledný výpalek vykazoval výrazně vyšší smrštění, než je běžné u klasického porcelánu. Konkrétně se jednalo o cca. 30% smrštění, což je přibližně dvakrát vyšší, než je obvyklé. Výsledný výpalek se také výrazně zkroutil, což bylo pravděpodobně způsobeno jednak vysokým vnitřním pnutím, způsobeným žebrováním uvnitř a dále příliš malými odvodušňovacími

otvory, jež byly v modelu připraveny, se právě díky výraznému smrštění zmenšily na velikost, která už nebyla schopna vzduch zevnitř odvádět.

Další pokusy s tímto materiálem už realizovány nebyly, jednak z důvodu nedostatku materiálu k prototypování, a především kvůli komplikované výrobě, která se pro tento typ produktu ukázala jako obtížná a zároveň bez zásadnějších přínosů pro estetiku nebo funkci, které by takto komplikovanou výrobu ospravedlnily. Přesto je třeba říci, že vypálený produkt oproti běžným 3D tištěným produktům nabízel zcela jinou povrchovou texturu, která se oproti plasty jevila jako subjektivně příjemnější. Zároveň finální výpalek velmi dobře vykresloval reliéf použitý na svrchní straně dílu, a to pravděpodobně nejlépe ze všech testovaných materiálů.

Finální pokusy se však znovu vrátily k využití PLA, které se z hlediska tisknutelnosti nejlépe osvědčilo. v rámci těchto pokusů byla použita barva Turkey egg, od společnosti Fillamentum, což je světle šedý materiál s tmavými šupinkami, který má svou texturou připomínat krutí vejce.



obr. 3-29 Herní figura, Fillamentum PLA Turkey egg

Tento materiál se nakonec ukázal jako esteticky nejvhodnější, jelikož svou texturou zakrýval jednotlivé vrstvy 3D tisku, ale zároveň příliš neupozadoval reliéf, byť v tomto případě méně výrazný než například u výše zmíněného porcelánu. Díky tmavým šupinkám zároveň nepůsobil fádně, a to ani na větších plochách, kde ostatní jednobarevné materiály příliš nevynikaly.

Tímto byly stanoveny finální materiály, ze kterých se figura skládá. Filament s příměsí dřeva ve spodní části a PLA filament v barvě krutího vejce doplňuje ještě plstěný pruh oddělující tyto dva materiály a sloužící ke snazšímu rozpoznání figur. Pro jednotlivé biomy byly použity následující barvy plsti:

- Les mírného pásma – tmavě zelená
- Džungle – světle zelená
- Poušť – žlutá
- Savana – červená
- Tajga/tundra – světle modrá
- Vysokohorské pásmo – tmavě modrá

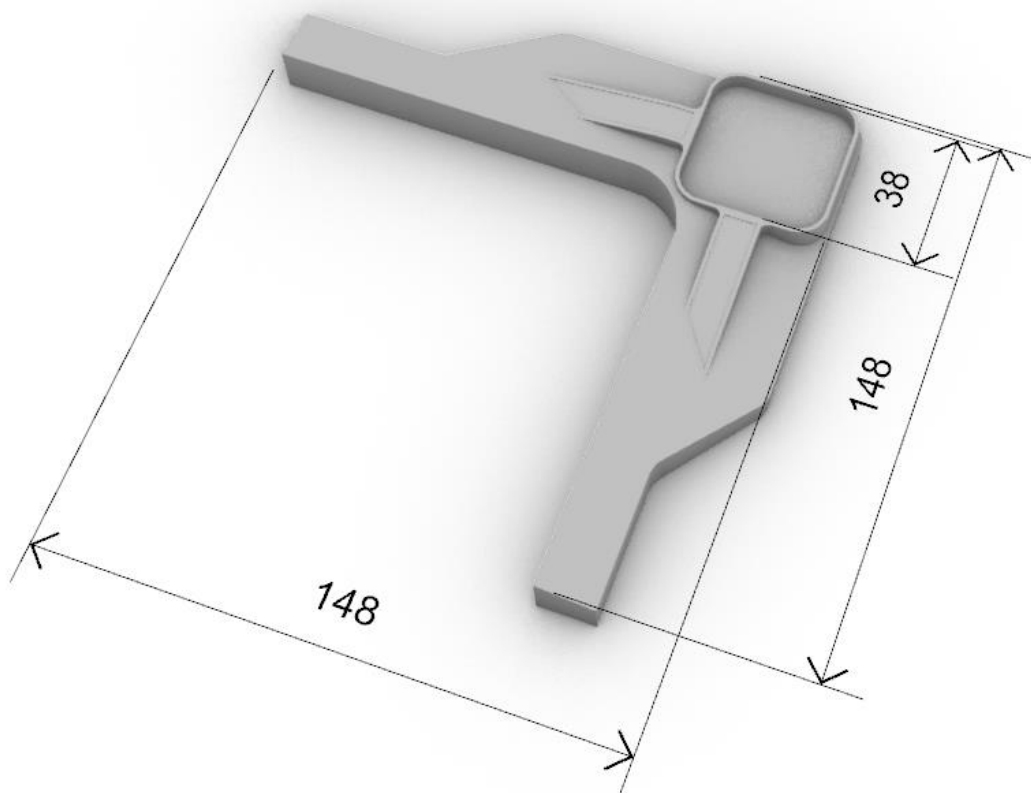
Finální varianta figur byla oproti původním návrhům výrazně snížena, a to z důvodu, že figury měly tendenci stínit kameře při pohledu na rohové vymežovací díly, o kterých bude řeč v následující podkapitole. Toto snížení problém stínění vyřešilo a zároveň přineslo významnou úsporu materiálu při výrobě figur. Figury tím částečně ztratily možnost hrát si s nimi jak s běžnými kostkami, nicméně tato záležitost by v kontextu produktu byla spíše okrajová. Dále toto zmenšení přineslo úsporu při skladování produktu, kdy tento rozměr figur přispěl k výrazně kompaktnějšímu tvaru finálního obalu. Běžná hra s kostkami je navíc stále možná, byť by v takovém případě bylo třeba větší množství figur.



obr. 3-30 Herní figury, finální varianty

Vymezovače hrací plochy

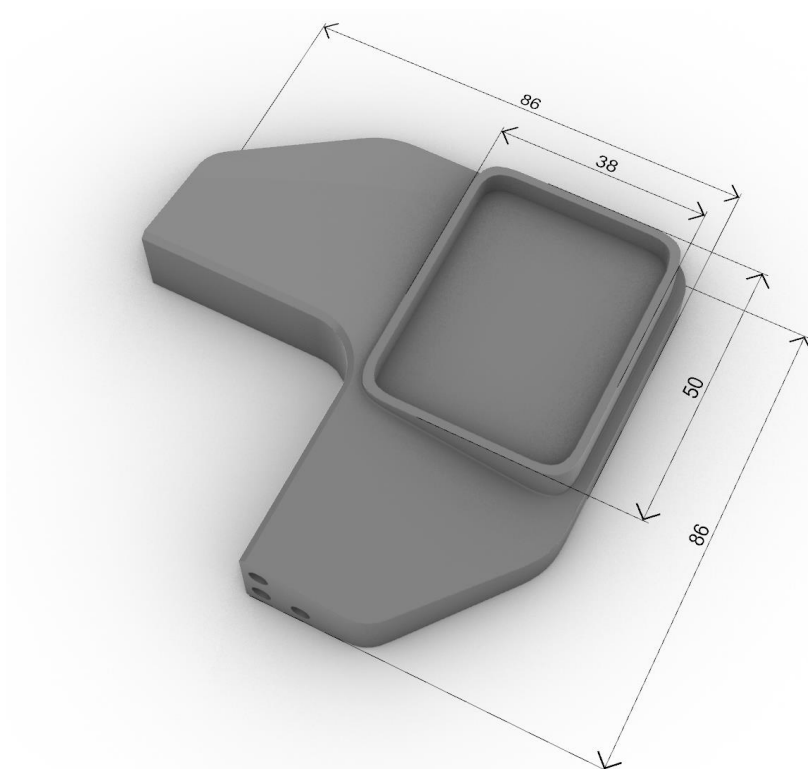
Pro přesné určení souřadnic jednotlivých figur na hrací ploše, bylo tuto plochu třeba přesně vymezit. K tomu slouží čtyři ArUco markery umístěné v rozích hrací plochy. Původním plánem bylo vytvořit kolem celé hrací plochy rám, což by ovšem znamenalo omezení skladnosti a velkou spotřebu materiálu. Proto bylo rozhodnuto, že budou využity pouze čtyři rohové díly, které pomohou přesně definovat hrací plochu pro kameru. Styk rohových dílů s hrací deskou je definován rohovým rádiusem této desky a je tak zajištěna poměrná přesnost složení. Mírná odchylka v řádu milimetrů a jednotek stupňů nemá na správné určení polohy figur na hrací desce vliv.



obr. 3-31 Vymezovač hrací plochy, iterace 1, rozměrový náčrt

Designérským cílem bylo v případě vymezovacích dílů docílit technicistního vzhledu, který by byl v přímém kontrastu s použitým PLA s příměsí dřeva. K tomuto účelu byly využity tvarové prvky jako zkosení a žebrování, které jinak statický díl pomohly dynamizovat. Zároveň tím, jak se jednotlivé plochy zvedají směrem do středu hrací desky, pomáhají tyto díly soustředit uživatelskou pozornost právě do středu hrací plochy. Tato iterace předpokládala, že do zahloubení umístěného v žebrech bude vepsána pozice daného rohové dílu – tedy top right, top left, bottom right a bottom left. Tento tvarový prvek byl postupem času vyhodnocen jako nadbytečný a příliš rozbíjející jinak příjemně dynamizované linie celého dílce. Zároveň bylo vyhodnoceno, že je příliš rozměrný. Tato varianta ještě předpokládala možnost umístění celé hrací plochy do rámu, nicméně jak se ukázalo, v daném konceptu by se jednalo pouze o balastní materiál bez žádné funkce.

Další varianty již tedy předpokládaly celkové zmenšení této součásti. Cílem byl zachovat sbíhání ploch směrem do středu.



obr. 3-32 Vymezovač hrací plochy, iterace 2, rozměrový náčrt

Jak je vidět na obrázku výše, došlo k výraznému zmenšení dílu. Základní tvarové prvky byly zachovány. Pomocí vhodně zvolených rádiusů a zkosení došlo k celkové homogenizaci tvaru, který se tak stal elegantnějším. Eleganci v tomto případě narušuje především asymetrický obdélníkový prostor pro umístění ArUco markeru. U této varianty se předpokládalo, že nápis určující polohu vymezovače by byl umístěn právě na odděleném dílu nesoucím marker. Jak však ukázaly pozdější pokusy s 3D tiskem, takto vtištěný text by nebyl čitelný, a proto by případně musel být nanesen například pomocí tamponového tisku. Z tohoto důvodu ztratil obdélníkový tvar svůj smysl a vzhledem k jeho nedostatečným estetickým kvalitám od něj bylo u dalších variant upuštěno.

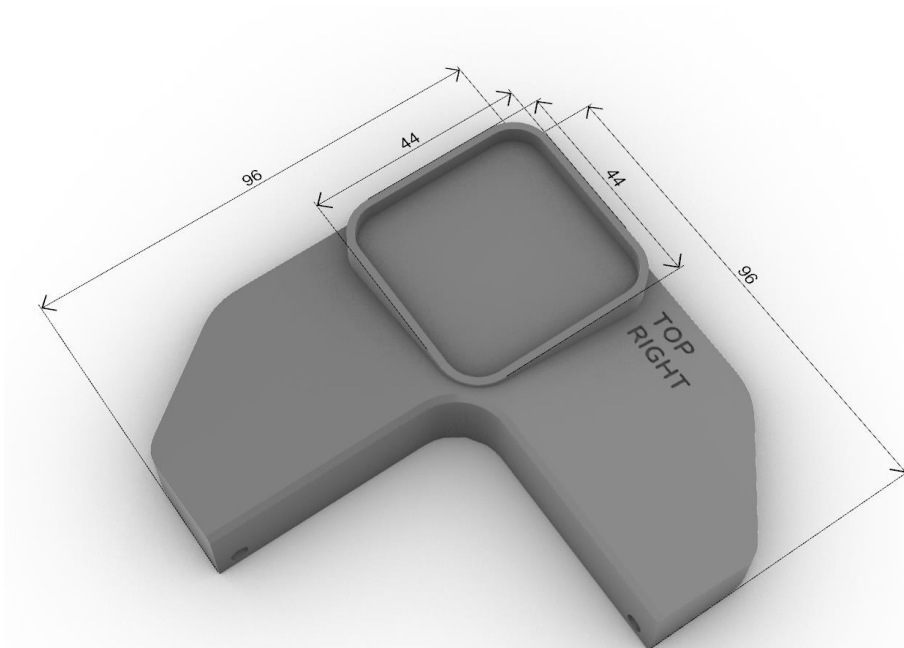
Následující varianta byla vyprototypována. Rozměry i tvar varianty předchozí byly zachovány, nicméně původní obdélníkový prostor pro umístění ArUco markeru byl změněn zpět na čtvercový.



obr. 3-33 Vymezovač hrací plochy, iterace 2.1, Fillamentum PLA Vertigo grey

Jak je vidět na fotografii prototypu výše, čtvercový půdorys prostoru pro marker pomohl tvar pocitově zklidnit a zároveň lépe odpovídá konceptu sbíhajících se ploch. Zešikmení těchto ploch zároveň dalo lépe vyniknout jednotlivým vrstvám 3D tisku, které efektně respektují a podporují tvarování. Stejný úhel ploch byl později použit u ostatních dílů pro lepší sjednocení produktu.

Výše zmíněná varianta odhalila, že přílišné zkrácení dílu mu dodává lehce groteskní proporce. v další iteraci byl tedy díl mírně prodloužen, což umožnilo dosáhnout vyšší elegance a ladnějších, štíhlých linií.



obr. 3-34 Vymezovač hrací plochy, iterace 3, rozměrový náčrt

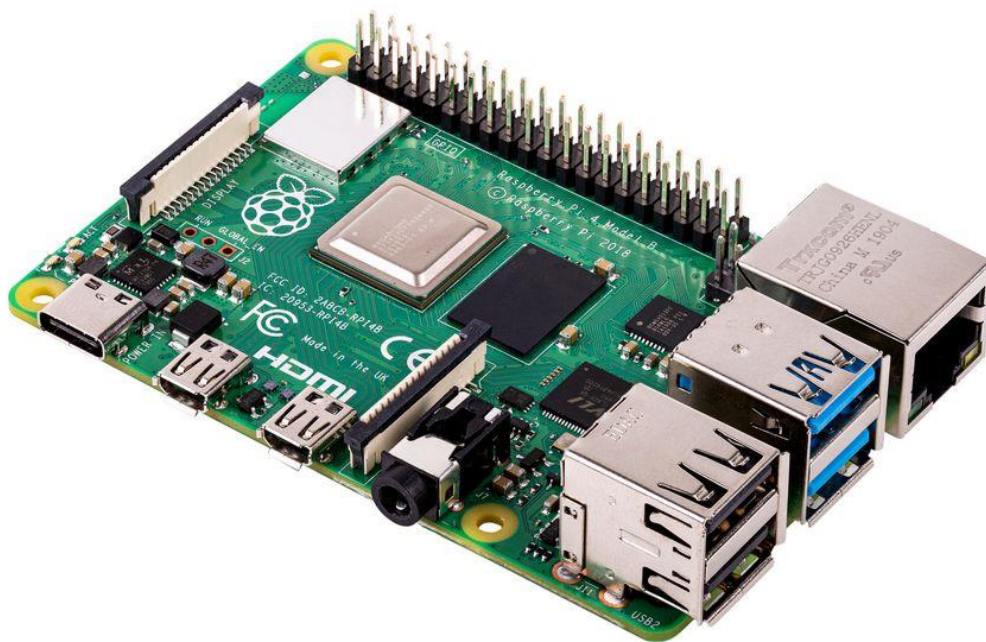
Toto prodloužení přineslo další efekt. Na jednu ze zkosených ploch bylo nyní možné umístit specifikaci pozice dílu. Takto umístěný text působí velmi čistě, především oproti původně zamýšlené variantě nápisu v žebrování. Zároveň dodává dílu novou kvalitu v podobě mikro detailu, který nenásilně poutá uživatelskou pozornost. Tato varianta byla později zvolena jako finální.



obr. 3-35 Vymezovač hrací plochy, finální varianta

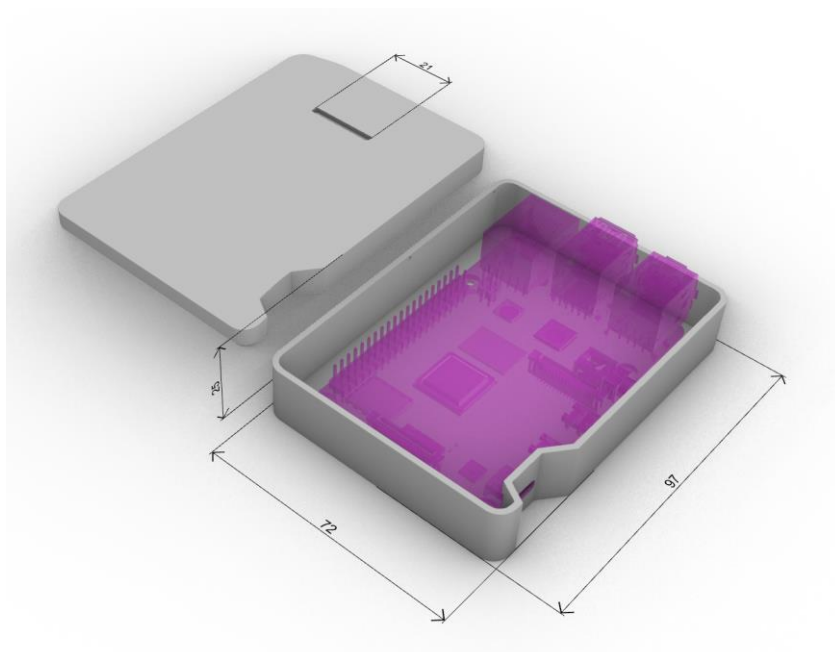
Kryt na mikropočítač

Dalším dílem, který bylo potřeba navrhnout byla krabička na mikropočítač. Oproti předchozím dílům byl u tohoto základní tvar definován již prakticky od začátku. Celý systém je navržen pro mikropočítač Raspberry Pi 4B, kterému musel být kryt přizpůsoben.



obr. 3-36 Raspberry Pi 4B [49]

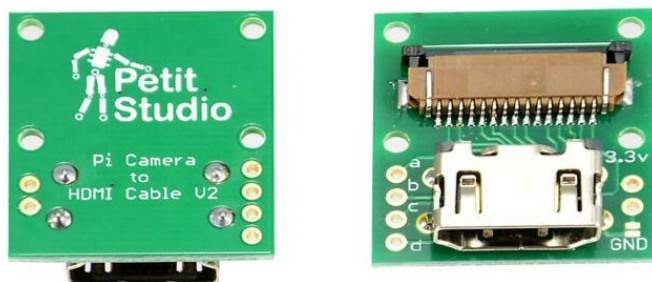
v prvotní fázi vznikl pouze velmi zjednodušený prototyp, který sloužil k ověření velikostí a několika dalších parametrů. Kryt počítal se dvěma otvory: jedním pro USB-C, kterým je mikropočítač napájen a druhým pro vedení kabelu ke kaměře. Mikropočítač i kamera jsou z výroby připraveny na kabel typu MIPI FFC, se kterým se u prvních iterací počítalo.



obr. 3-37 Kryt na mikropočítač, iterace 1, rozměrový náčrt

Prototyp této první iterace ukázal, že dimenzování otvoru pro USB-C port je vhodné a zařízení lze skrze něj bez problému napájet. Naopak otvor pro MIPI FFC kabel odhalil možný problém. Tento typ kabelu není určen na pravidelné připojování a odpojování. Tomu odpovídá poměrně komplikovaný přístup k portu a složitá obsluha pojistky proti vytržení. v případě, že by se kabel neodpojoval, výrazně by byla omezena skladnost celého produktu. Alternativně by bylo možné vymyslet systém pantů, který by umožnil rameno s kabele složit, nicméně by se zřejmě jednalo o technicky zbytečně složité řešení.

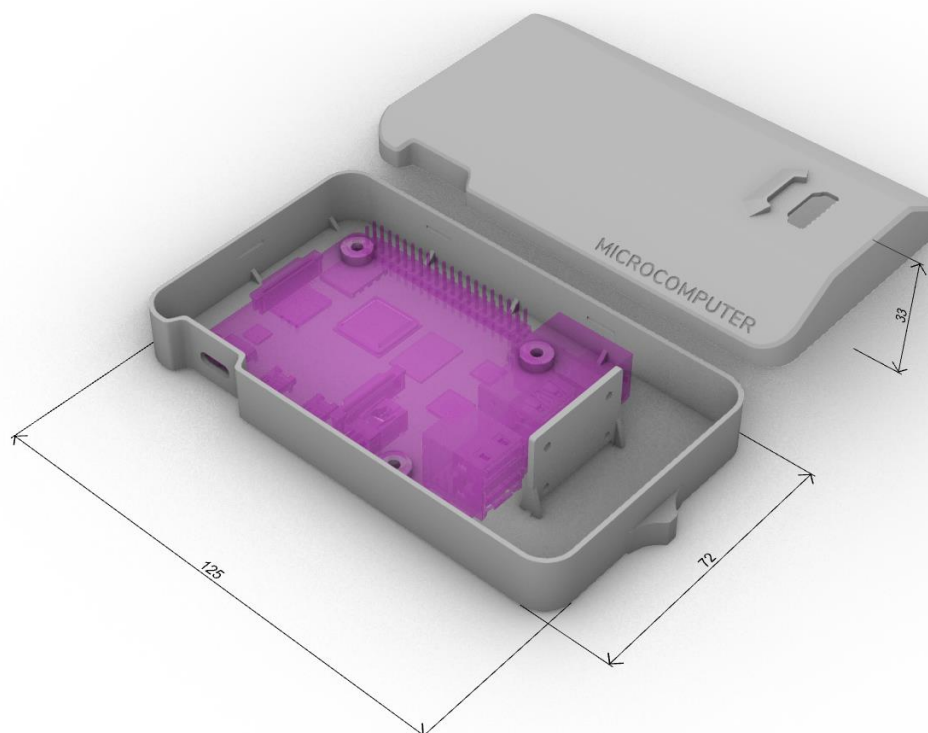
Po rešerši možných alternativ se ukázalo jako nejvhodnější řešení použít redukci z MIPI FFC na HDMI, což je běžně dostupný typ kabelu, který nemá problematické odpojování a připojování. Dostupných je několik řešení, která mají přibližně stejné rozměry i funkcionalitu.



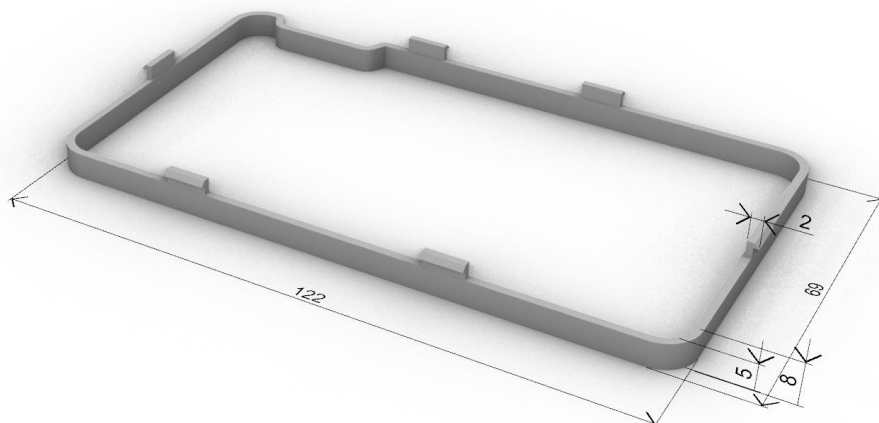
obr. 3-38 Redukce MIPI FFC na HDMI

Následující iterace tedy již počítala s vyvedením HDMI ve směru přípojného ramene. Oproti předchozí verzi byl více propracován tvar, kdy rádiusy kopírují ty použité na herních figurách a plochy jsou zkoseny pod stejným úhlem jako u vymezovačů hrací plochy. Obdélníkový půdorys maximálně respektuje samotný mikropočítač, tak aby zabíral co nejmenší prostor. Ze spodní strany byly umístěny otvory pro 2,5 mm šrouby, aby mikropočítač bylo možné uchytit ke krytu. Tato varianta má také dále připravenou plochu pro montáž výše zmíněné redukce pomocí 2 mm šroubků. Pod touto plochou je vyveden otvor pro MIPI FFC kabel tak,

aby redukce mohla být následně správně orientována. Na přední straně je umístěn tvarový vymežovací prvek, který slouží k vystředění mikropočítače a hrací desky, do jejíchž rádiusů tento prvek zapadá. Oba díly krabičky jsou pak spojeny pomocí 3 dílů se zámečky. Tento díl nebylo možné integrovat do dvou hlavních dílů, neboť by značně zkomplikoval tisknutelnost těchto dílů. Zároveň se ukázalo, že filament s příměsí dřeva je pro účely zámečků příliš křehký, a proto byl tento díl vytištěn z PLA.



obr. 3-39 Kryt na mikropočítač, iterace 2, rozměrový náčrt



obr. 3-40 Kryt na mikropočítač, spojovací díl, rozměrový náčrt

Poslední varianta už zaznamenala jen několik finálních úprav. Byl odstraněn nápis MICROCOMPUTER, který na tiscích vypadal nečitelně. Dále byl změněn výčnělek u HDMI výstupu, který slouží k pevnějšímu zajištění připojeného ramene s kamerou. Poslední změnou pak bylo přidání větracích otvorů na horní díl krabičky, protože mikropočítač se v původní verzi měl tendenci přehřívat.



obr. 3-41 Kryt na mikropočítač, finální varianta

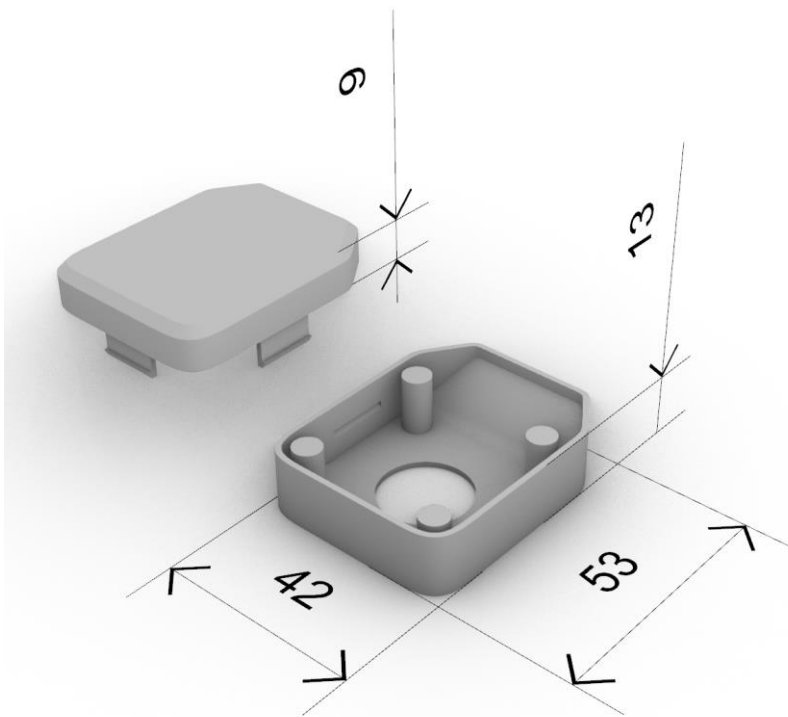
Kryt kamery

Pro účely prototypu bylo testováno několik typů kamer. Původně vybraná kamera Raspberry Pi Camera 3 se ukázala pro účely produktu jako nevhodná. Její poměrně úzké zorné pole znamenalo, že by kamera musela být umístěna ve výšce cca. 600 mm nad hrací deskou tak, aby byla v záběru celá. Umístění kamery v takové výšce však bylo nereálné, a to jak z důvodu konstrukce nosného ramene, tak i z estetického hlediska. Z těchto důvodů byly otestovány další dvě kamery, jedna s diagonálním zorným úhlem 95° a druhá, typu rybí oko, se zorným úhlem 95°. Kamera typu rybí oko, konkrétně model Arducam 12Mpx IMX477, byla nakonec zvolena jako nejvhodnější. Díky širokému zornému úhlu se podařilo zmenšit vzdálenost mezi hrací deskou a kamerou na cca. 300 mm, což již byl jak z technického, tak i estetického hlediska přijatelné.



obr. 3-42 Kamerový modul Arducam 12Mpx IMX 477 [50]

Pro tuto kameru byl následně navržen vhodný kryt. První iterace sloužila především k ověření rozměrových parametrů kamery a otestování základní funkce. Realizována byla z materiálu PLA Vertigo grey. Stejně jako u krytu mikropočítače, i zde bylo u první iterace předpokládáno použití MIPI FFC kabelu, který však, vzhledem k orientaci a velikosti kamery, bylo ještě složitější odpojit než v případě mikropočítače. Tato iterace nicméně ukázala, že rozměry byly zvoleny vhodně a že čočku kamery je možné i v krabici ochránit dodávaným krytem. Jako slabina se ukázaly zámečky, které byly poddimenzované a nedokázaly kryt udržet spojený.

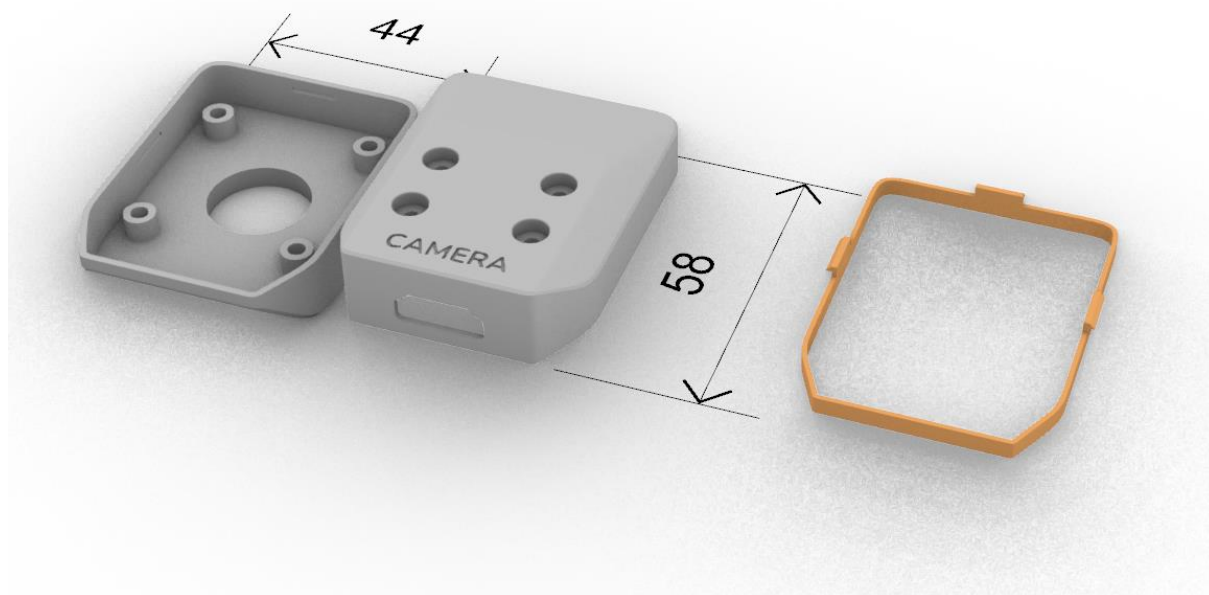


obr. 3-43 Kryt kamery, iterace 1, rozměrový náčrt



obr. 3-44 Kryt kamery, iterace 1, Fillamentum PLA Vertigo grey

Další iterace už předpokládala umístění stejné redukce na HDMI kabel, jaká byla použita u mikropočítače. v případě kamery bylo umístění této redukce problematictější, nicméně vzhledem k vysoké ohebnosti FFC kabelu se jej podařilo realizovat. Kamera i redukce jsou ke krytu upevněny stejným typem šroubů jako v případě mikropočítače, přičemž kamera je upevněna ke spodní části krytu a redukce k horní části.



obr. 3-45 Kryt kamery, iterace 2, rozměrový náčrt

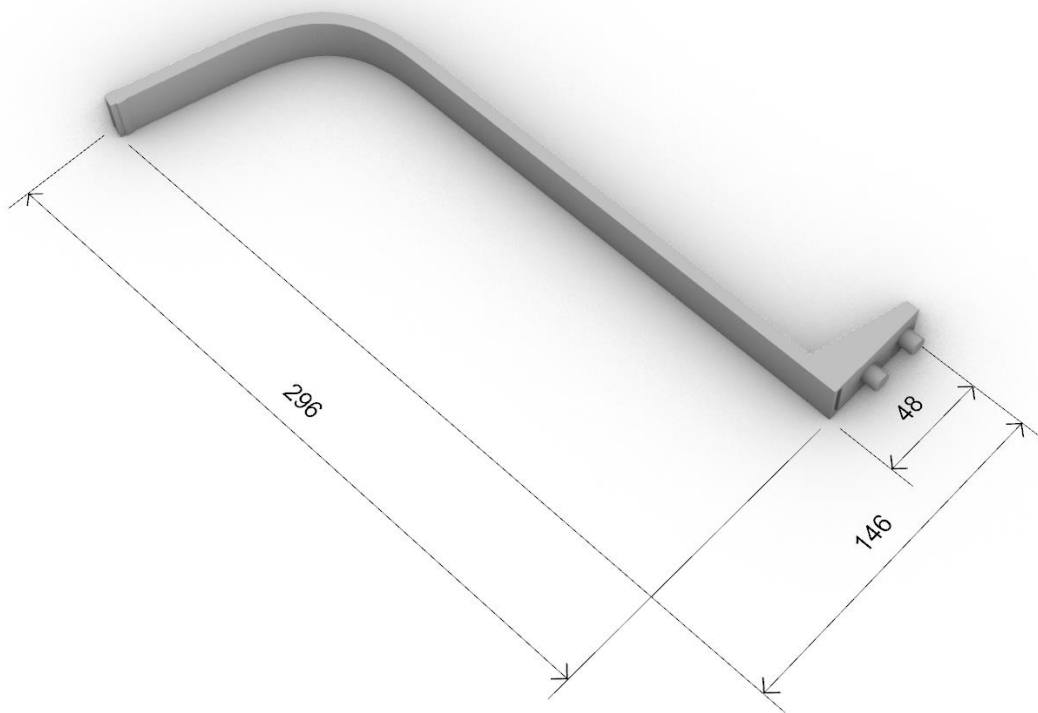
System zámečků byl upraven stejně jako u krytu mikropočítače, tedy do podoby samostatného dílu z klasického PLA, který se vlepí do horní části krytu a spodní část do něj zapadne svými drážkami. Oproti původní variantě byly přidány zkosené plochy, které respektují zkosení použité dřevo a zároveň reflektují skutečnost, že redukce na HDMI má menší plochu než kamera, a proto se celý kryt může směrem nahoru zužovat. Hlavy šroubů byly zapuštěny, což vytváří zajímavý technický detail. v ideálním případě se předpokládá použití černých šroubů, pro účely prototypu byly tyto šrouby pouze nalakovány na černou barvu.



obr. 3-46 Kryt kamery, finální varianta

Rameno pro upevnění kamery

Posledním technickým dílem, který bylo třeba navrhnout bylo rameno pro upevnění kamery. První iterace znovu sloužila pouze k ověření funkce. Cílem této iterace bylo ověřit umístění kamery nad hrací plochou, vyhodnotit obecnou funkčnost a otestovat možnosti připojení a odpojení FFC kabelu se kterým se zpočátku počítalo. Největší výzvou při designu byly rozměry a skladnost celého dílu, který bylo potřeba navrhnout tak, aby jej bylo možné z hlediska rozměrů vytisknout na 3D tiskárně a zároveň tak, aby jej bylo možné složit, jelikož v rozloženém stavu by byl velmi obtížně skladný.



obr. 3-47 Rameno pro upevnění kamery, iterace 1, rozměrový náčrt



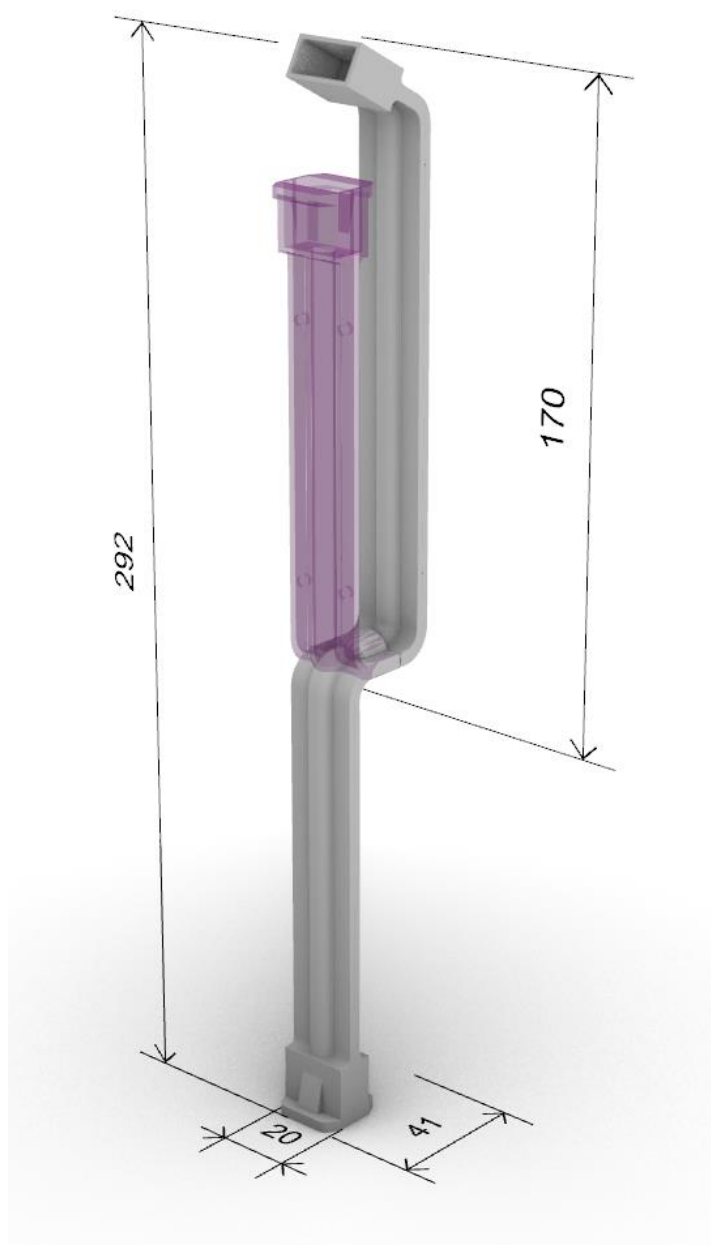
obr. 3-48 Rameno pro upnutí kamery, iterace 1, Fillamentum PLA Vertigo grey

Tato iterace potvrdila funkčnost i přibližné umístění kamery nad hrací deskou. Ukázalo se, že v tomto případě byla kamera posunutá až příliš nad střed hrací desky. Toto řešení sice fungovalo, nicméně kamera měla tendenci převažovat mikropočítač a systém tak nebyl stabilní. Ani z estetického hlediska tato varianta nepůsobila dobře, neboť vysunutí kamery nad hrací plochu zvyšovalo pocit mohutnosti a neohrabanosti tohoto řešení.

Další iterace už předpokládaly umístění kamery blíže nad mikropočítač a zároveň využití HDMI kabelu. Pro tyto účely byl zvolen ultratenký HDMI kabel o délce 350 mm. v druhé iteraci bylo cílem celý kabel uzavřít do ramene. Tato iterace byla vytvořena pomocí parametrického modelování, konkrétně za pomoci modulu Grasshopper pro Rhinoceros 7. Zde byl využit evoluční algoritmus Galapagos, který počítal různé varianty křivek, které by kabel mohl sledovat a které by splňovaly podmínky délky 350 mm a končily v definovaném bodu umístění kamery. Posledním parametrem, který do evolučního algoritmu vstupoval, byl úhel kamery, který byl pomocí funkce tangens automaticky dopočítáván tak, aby

kamera směřovala přímo na střed hrací desky. Bylo třeba zajistit, aby byl kabel do kamery zapojen tečně, a proto evoluční algoritmus ovlivňoval i tento parametr.

Na základě tohoto algoritmu vznikla křivka, podle které byla vytvořena druhá iterace ramene. Tato iterace předpokládala kompletní skrytí kabelu a skládání pomocí otočení části ramene o 180°. Tato ramena by se pak vzájemně zajišťovala pomocí závlačky.



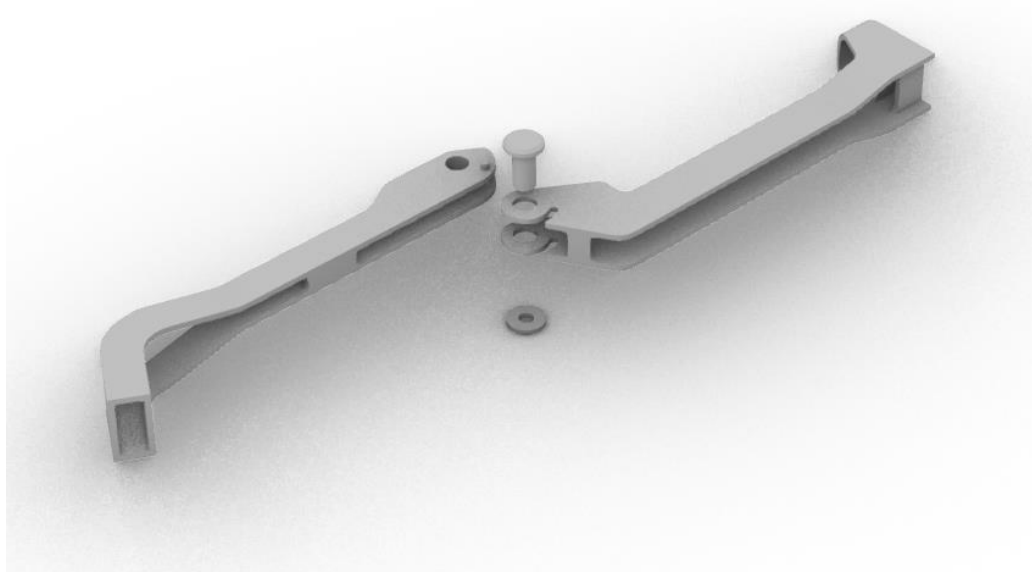
obr. 3-49 Rameno pro uchycení kamery, iterace 2, rozměrový náčrt

Tato iterace působila esteticky elegantně a odpovídala technicistním tvarovým prvkům použitým u jiných dílů. Po výrobě prototypu se však ukázalo několik problémů. Tím nejmenším byla poměrně komplikovaná výroba celého ramene z 5 kusů a dále na zručnost poměrně obtížné uzavření kabelu do součásti. Zásadnějším problémem však byla nepoddajnost kabelu, který měl svou silou neustálou tendenci celý díl rozlepovat. Tato nepoddajnost zároveň znemožnila reálné otočení jednoho z kusů o 180°. Kabel kladl velký odpor a torzní namáhání v jednom místě by ho velmi rychle zničilo.



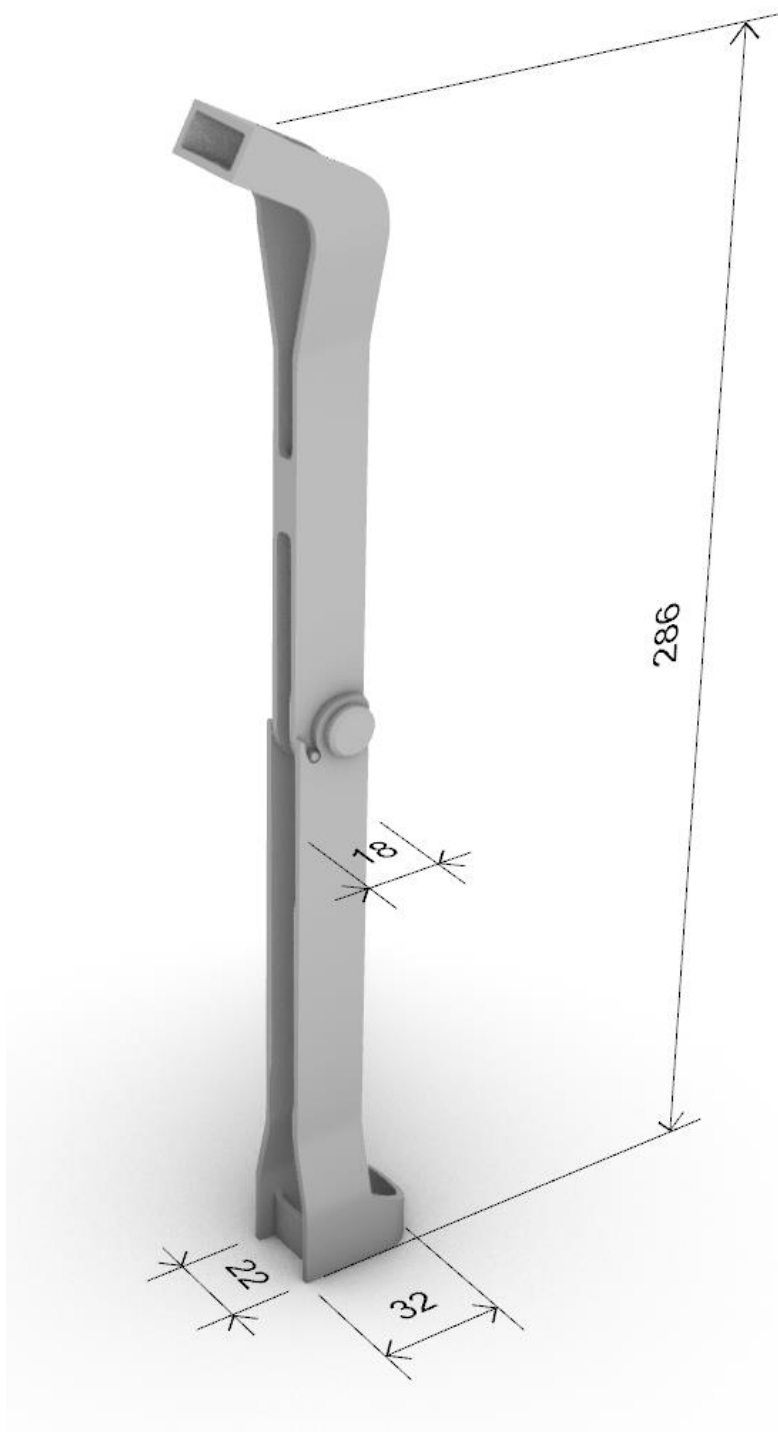
obr. 3-50 Rameno pro uchycení kamery, iterace 2, Fillamentum NonOilen

Další iterace byla navržena tak, aby byl kabel odhalen a do ramene se pouze vložil. Na základě dříve definované křivky bylo navrženo dvoudílné rameno s kloubem přibližně uprostřed. Na koncích tohoto ramene pak byly připraveny otvory na konce HDMI kabelu.



obr. 3-51 Rameno pro uchycení kamery, iterace 3

Tato varianta se již ukázala jako dostatečně funkční a dobře tisknutelná. Skladnost pomocí jednoduchého kloubového mechanismu byla také dobrá. v prvotních variantách bylo zúžení spodního dílu příliš razantní, což bránilo protažení HDMI kabelu. Proto muselo být v následující variantě posunuto výše. Dále bylo vyhodnoceno, že technicistní tvarování je v tomto případě až přehnané a že rameno mělo tendenci působit takřka jako jeřáb. Další iterace tady přistoupila k maximálnímu zjednodušení a odstranění přebytečných zkosení.



obr. 3-52 Rameno pro uchycení kamery, iterace 3,1, rozměrový náčrt

Tato varianta byla nakonec zvolena jako finální, především díky své jednoduchosti, a to jak z hlediska tisku, tak i uživatelské obsluhy.



obr. 3-53 Rameno pro uchycení kamery, finální varianta

Nosič markeru pro rozšířenou realitu

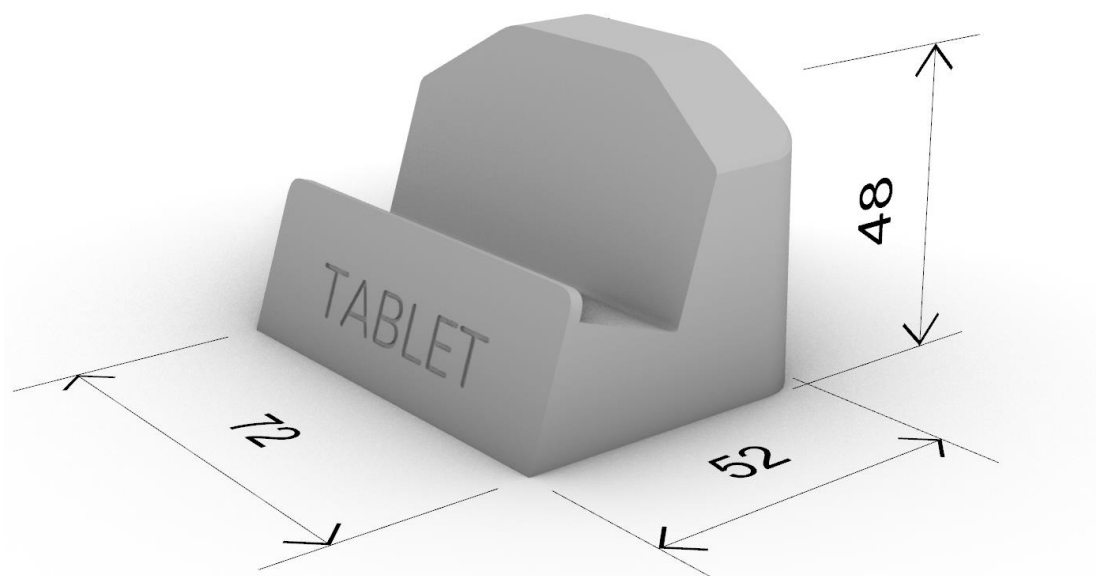
Jak se v průběhu navrhování ukázalo, ArUco markery v rozích hrací plochy nebyly dostačující pro rozpoznání mobilní rozšířenou realitou. v danou chvíli se nabízela dvě řešení, která budou dále prozkoumána v další části této práce. První variantou bylo pomocí 3D skeneru naskenovat rohové díly a k trackování v rozšířené realitě využít těchto 3D modelů. Druhou možností bylo vytvořit další díl, na který by bylo možné nanést například logo produktu nebo jiný obrázek, který by následně sloužil jako marker pro rozšířenou realitu. Vzniklo několik variant, z nichž byla vybrána tvarově jednoduchá verze, využívající stejných zkosení jaká, jsou použita na ostatních součástech.



obr. 3-54 Nosič markeru pro rozšířenou realitu, finální varianta

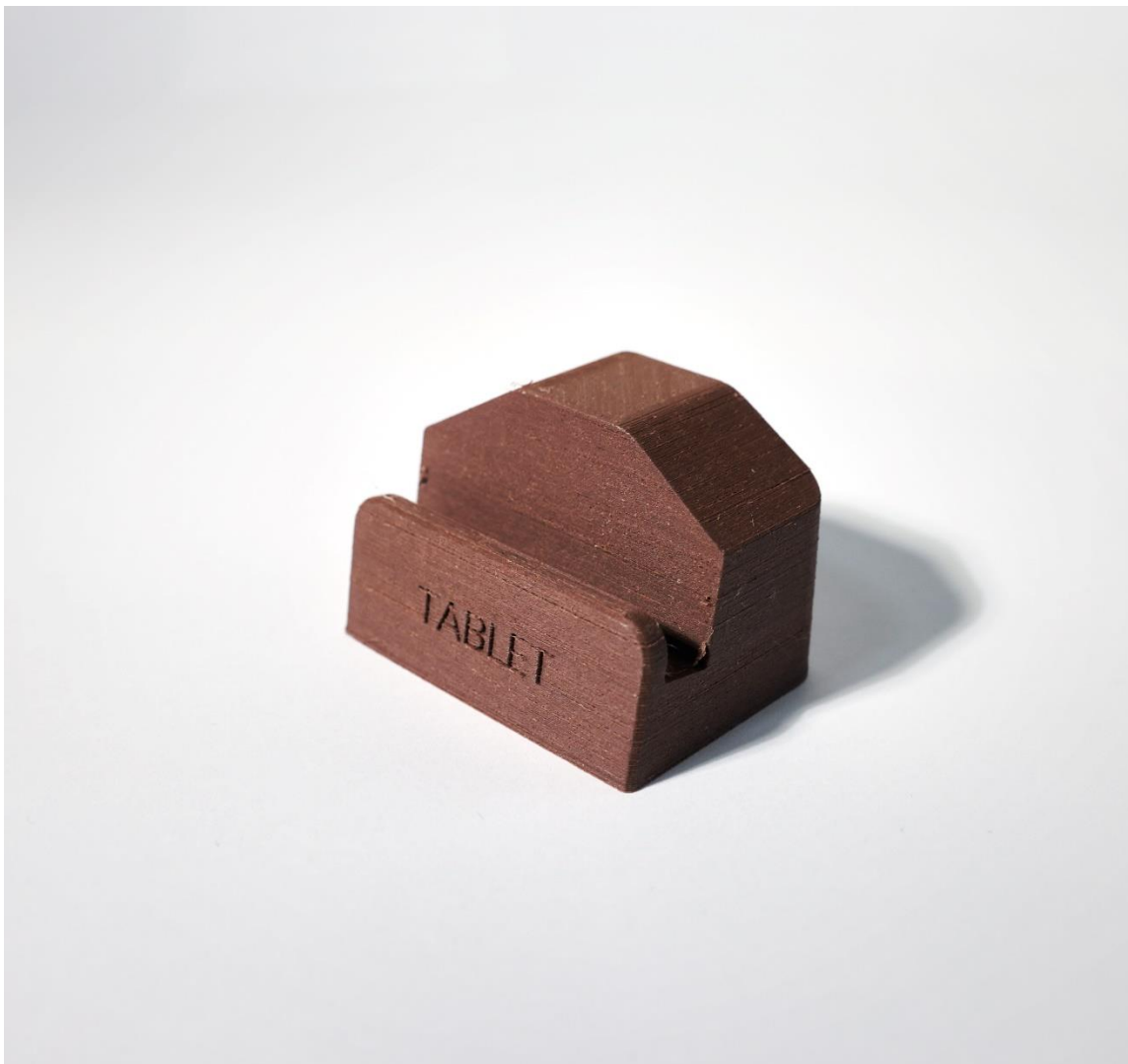
Stojan na tablet/mobil

Poslední součástí, která vznikla byl stojan na tablet. Jak se ukázalo, pokud by uživatel musel tablet neustále držet v ruce, byla by obsluha platformy zbytečně komplikovaná. Proto vznikl jednoduchý držák, využívající tvarových prvků použitých u jiných dílů, do kterého lze tablet upevnit zaměřený na hrací desku pod vhodným úhlem.



obr. 3-55 Stojan na tablet, iterace 1, rozměrový náčrt

Jak ukázal prototyp první iterace, tablet měl ve stojanu tendenci se převažovat, proto byl u další varianty zvolen menší úhel sklonu a byla zúžena drážka která tablet pomáhá držet na místě.



obr. 3-56 Stojan na tablet, finální varianta

3.1.3 Využití umělé inteligence v procesu navrhování

Rok 2022/23 znamenal praktickou revoluci na poli umělé inteligence a možností jejího využití v umění, designu a dalších odvětvích. Původně interně vyvíjené nástroje byly vypuštěny na veřejnost a umožnily i nevědecké komunitě začít experimentovat v tomto odvětví. Vývoj pokračoval a z původně úsměvných výstupů se během několika měsíců v první polovině roku 2022 začaly stávat díla, která už velmi efektivně dokázala přenést psanou myšlenku autora do vizuální podoby. Využití v průmyslovém designu bylo a do dnešního dne stále je spíše okrajové, neboť se jedná o dvourozměrná vizuální díla, které nemají návaznost na reálnou funkci a další parametry v tomto oboru klíčové.

Text-to-image generátory jsou založeny na získávání obrázku pomocí difuze ze šumu. v podstatě se jedná o iterativní proces odšumění, kdy jsou jednotlivé

iterace porovnávány s rozložením dat, které se tento generátor naučil na základě tréninkového modelu [51].

Možnosti využití těchto technologií je však i přes tyto nedostatky třeba prozkoumávat, snažit se najít jejich praktické využití, ale zároveň i pomoci najít jejich hranice, jelikož využití umělé inteligence přináší řadu eticky problematických otázek. Většina z nich se týká samotného autorství takto vzniknuvšího díla a případného porušení autorských práv při jeho vzniku. Modely umělé inteligence jsou trénovány na obrovském množství obrazových dat, mnohdy použitých bez vědomí původního autora [52]. Díla vygenerovaná pomocí umělé inteligence samozřejmě nejsou stejná jako původní obrazová data, na kterých byl model vytrénován, nicméně mohou kopírovat určité vizuální prvky, případně styl původního autora. Otázka umělé inteligence autorského práva tak zůstává nedořešena, ale je zřejmé, že se zákonodárné orgány snaží tento problém řešit [52].

V roce 2022 se mezi ostatními generativními nástroji osamostatnili tři klíčoví hráči:

- DALL·E 2 – Nástroj vyvinutý společností OpenAI, který hlavně v počátečních fázích generoval subjektivně nejlepší výstupy. Nicméně se neukázal jako efektivní v případě generování textur.
- Midjourney – Nástroj běžící na platformě Discord. Od počátku se vyznačoval tím, že na rozdíl od ostatních nástrojů bylo možné zadat i jednodušší pokyn a výstup byl přesto velmi kvalitní.
- Stable Diffusion – Je nástroj, který se nejvíce prosadil svou otevřeností. Uživatelskou komunitou byl tak integrován do různých aplikací, jako je například Blender, kde je s ním možné přímo pracovat. Oproti Midjourney obecně vyžaduje komplexnější a lépe promyšlené pokyny pro získání kvalitního výsledku.

V rámci této práce byly postupně využity nástroje Midjourney a Stable Diffusion, které se nejlépe osvědčily ve schopnosti generovat textury. Okrajově byla také využita aplikace Barium.AI, přímo určená ke generování textur, která ovšem nevykazovala tak dobré výsledky, a navíc byla postupem času integrována do společnosti Unity, což způsobilo její dočasné zastavení. Plán na využití těchto technologií se zrodil prakticky v okamžiku, kdy tyto nástroje začaly být schopné generovat kvalitní, relevantní výstupy.

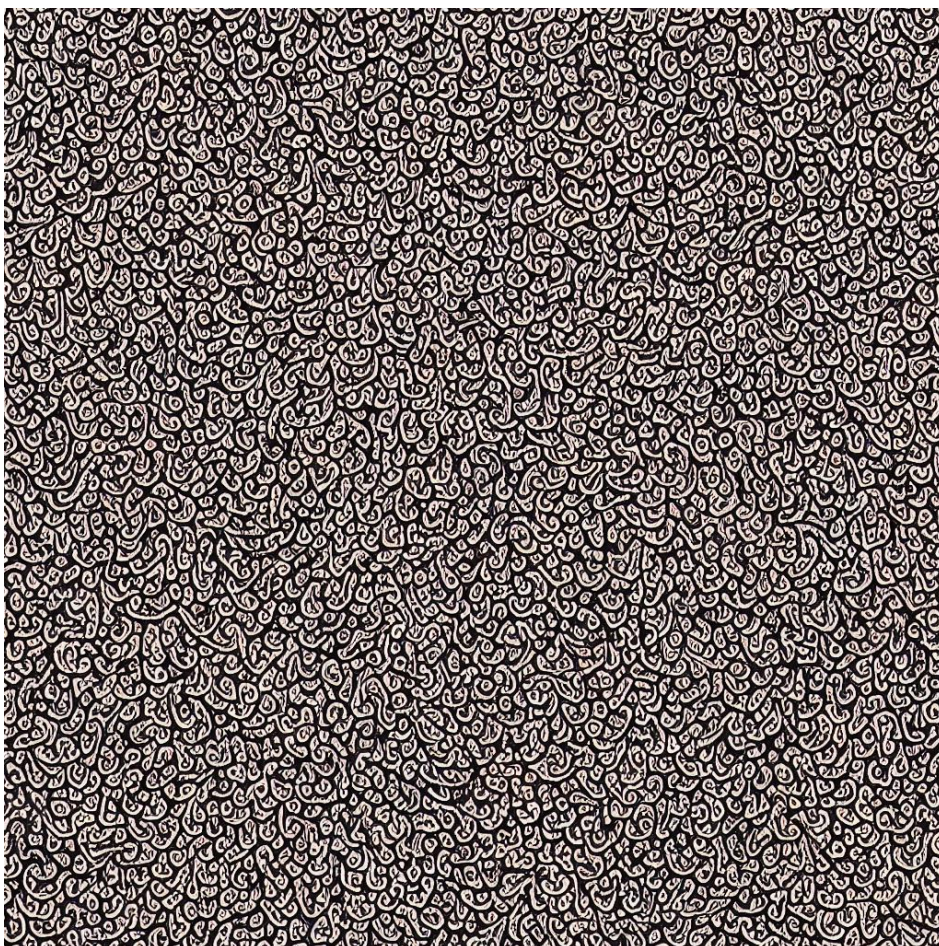
Od začátku bylo jasně rozhodnuto, že tyto nástroje nebudou využity jako inspirační zdroj, ani jako způsob generování celkové formy nebo tvaru. Hlavním důvodem pro toto rozhodnutí byla výše zmíněná, eticky problematická otázka autorského práva. Cílem bylo využít umělou inteligenci tak, aby výsledný produkt

spíše dokreslila a ozvláštnila, než aby jej sama definovala. Zároveň bylo důležité využít ji tam, kde je ona sama nejefektivnější, zatímco člověk by naopak byl efektivní velmi málo.

Jako vhodná se k tomuto účelu zdála možnost generovat textury s částečně abstraktními prvky, jejichž explorační procesy lidskému tvůrci zabrala neúměrné množství času. Naopak výstupy umělé inteligence, přestože byly ne vždy relevantní nebo kvalitní, bylo možné poměrně rychle iterovat a testovat, což umožnilo vybrat nejkvalitnější výstupy.

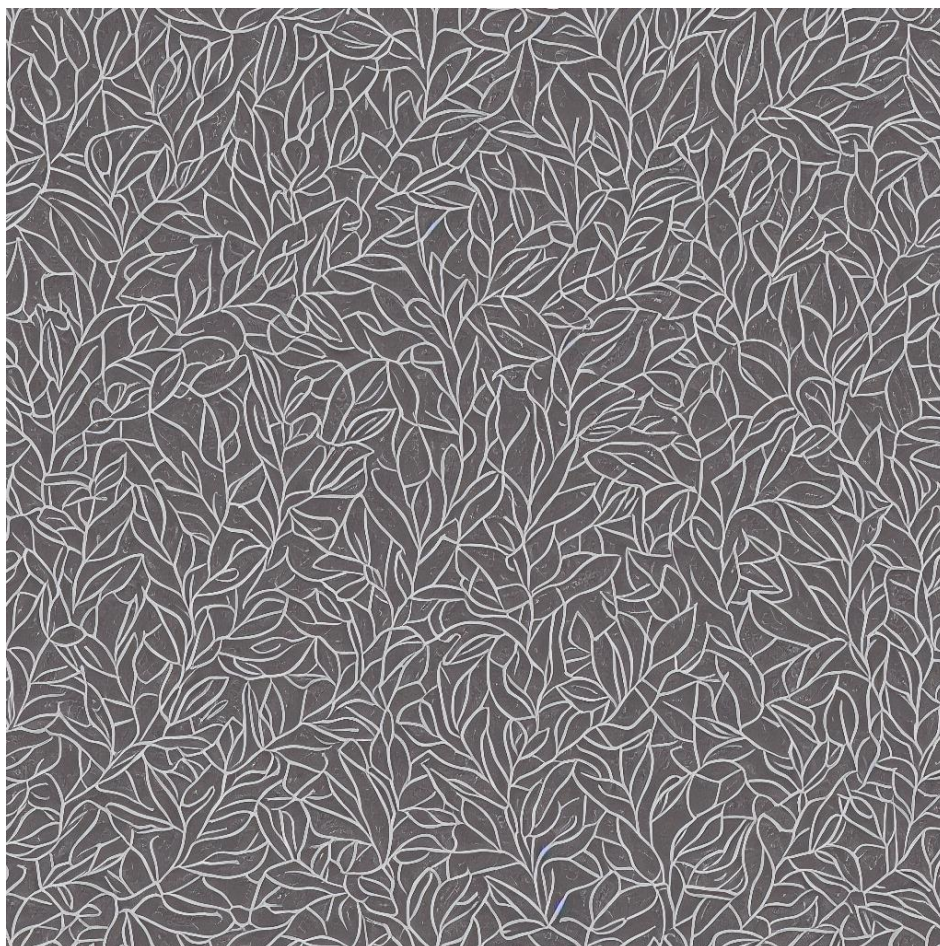
Cílem tedy bylo navrhnout textury, které budou co možná nejlépe reprezentovat biomy jednotlivých figur a zároveň je půjde snadno přenést do reliéfu na povrchu figury. Jinými slovy tedy tyto textury musely dobře fungovat v černobílém barevném prostoru.

V počátečních fázích bylo snahou vytvořit textury, které by daný biot reflexivně stylizovaly za pomoci například ornamentálních motivů, které využívají kultury v daném biomu žijící. Příkladem by tak mohly být ornamentální motivy z Hané pro figuru reprezentující evropský les, nebo například tibetské ornamenty zobrazující vysokohorský biot.



obr. 3-57 Vysokohorský biom s tibetským ornamentem, generovaný výstup, Stable Diffusion

Jak však ukazuje obrázek výše, snaha o využití ornamentu spíše troskotala. Byť byly některé výstupy lepší než jiné, obecně šlo pozorovat, že si umělá inteligence nedokáže poradit s tak abstraktním úkolem jako je převedení reprezentace hor do ornamentálního stylu určité kultury. Výstupy vždy silně směřovaly buď ke konkrétnímu, realistickému zobrazení biomu nebo naopak k velmi abstrahovaným ornamentům.



obr. 3-58 Les mírného pásma s evropským ornamentem, generovaný výstup, Stable Diffusion

Ani zdařilejší reprezentace, jako například ta na obrázku výše, nedosahovaly dostatečných kvalit. U lesu mírného pásma bylo dosaženo určité formy ornamentality, tato však byla spíše neurčitá a neodkazovala se na konkrétní kulturně typické ornamenty. Tento typ textur zároveň nefungoval příliš dobře ve formě reliéfu. Ukázalo se tedy, že snaha o tento typ stylizace by ke dnešnímu dni musela být stále realizovaná ručně, lidským grafikem, který by dokázal tyto dvě relativně vzdálené, abstraktní koncepty spojit.

V dalších pokusech již tedy bylo od snahy o ornamentalitu upuštěno a maximální úsilí bylo věnováno snaze o získání textur, které by co nejlépe fungovaly jako reliéfy.

U všech textur z finální série byl praktikován stejný metodický postup přípravy. Většina textur byla stále generována pomocí nástroje Stable Diffusion, a až několik posledních bylo vygenerováno pomocí Midjourney. K výměně nástroje pro

generování došlo především proto, že Midjourney začalo s postupem času (a po několika aktualizacích) vytvářet subjektivně lepší výstupy než Stable Diffusion.

Všechny vygenerované textury byly v softwaru Blender upraveny následovně:

- Byl normalizován jejich barevný rozsah tak, aby při převodu na reliéf všechny generovaly přibližně stejné výškové rozdíly.
- Pomocí jednoduchého parametrického systému byly textury upraveny tak, aby se směrem do středu ztrácely a neomezovaly tak detekci ArUco markeru umístěného vždy ve středu figury.

Takto upravené textury pak byly naimportovány do softwaru Rhinoceros, kde byly pomocí příkazu Heightfield převedeny do formy reliéfu s rozlišením 256 x 256 kontrolních bodů. Takto nízké rozlišení sice zapříčinilo ztrátu některých jemných detailů, nicméně vzhledem k metodě výroby pomocí FDM 3D tisku by takto jemné detaily stejně nebylo možné na herní figuru aplikovat.

Tento reliéf byl následně pomocí booleovských operací sloučen se základním 3D modelem herní figury. Do ní byl následně vyříznut prostor pro aplikaci ArUco markeru. Každá takto připravená figura byla následně vytištěna na běžně dostupné 3D tiskárně Ender 3 S1 a bylo opticky zhodnoceno, zda je daná textura dostatečně kvalitní.

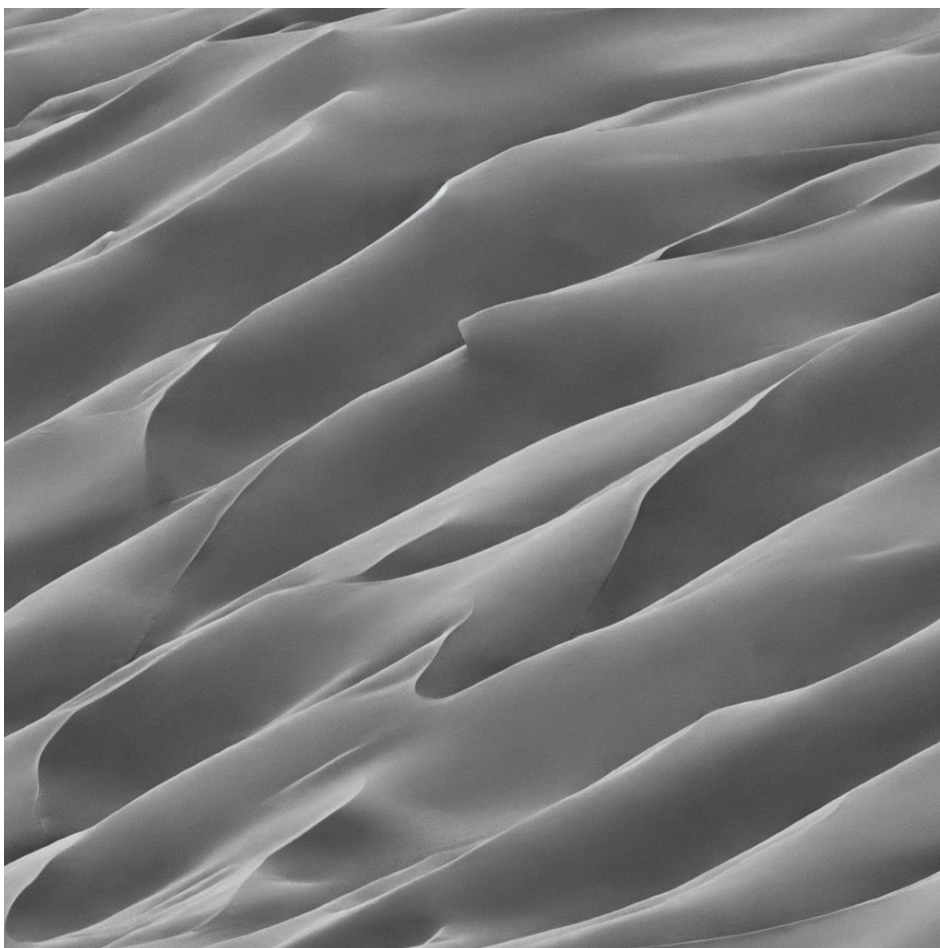
Jako první z finální série vzniknula textura pro les mírného pásma. Tato textura se stala pomyslným etalonem kvality pro všechny ostatní, jelikož fungovala velmi dobře jako reliéf a její význam správně interpretovali i náhodně oslovení laici. Základem pro všechny generované textury byla slova displacement map, greyscale a topview. v případě textury pro les mírného pásma pak byla tato slova doplněna o slova: spruce cones, pine cones, forest ground a european forest.



obr. 3-59 Les mírného pásma, šišky, generovaný výstup, Stable Diffusion

Vzniklo několik různých variant, přičemž některé akcentovaly spíše stromovou kůru – což se však ukázalo jako nerozpoznatelné na finálním 3D tištěném reliéfu.

Druhou vzniknuvší texturou byla textura reprezentující poušť. Zde byl výtvarný záměr od začátku prakticky jasně daný. Na poušti nejsou nijak zásadně rozšířeny žádné snadno rozpoznatelné rostliny. Typický a velmi snadno rozpoznatelný je pohled na písečné duny. Cílem při generování pouště tedy bylo vygenerovat pohled na tyto duny shora. Základní klíčová slova byla stejná jako u předchozí textury, a tato byla doplněna o tyto výrazy: desert, dune sea, dunes a sand.



obr. 3-60 Poušť, písečné duny, generovaný výstup, Stable Diffusion

I tato textura fungovala ve formě reliéfu velmi dobře. Poměrně ostré bílé linky vytvořily vytažením do prostoru efektní podobu odpovídající písečným dunám, které se postupně plynule zvedají jedním směrem a na jejich vrcholu je pak ostrý zlom.

Dalším vybraným biotopem byla džungle. U té bylo cílem vytvořit dojem divokého pralesa, plného listnatých stromů, lián a dalších exotických rostlin. Pro tento biotop vzniklo nejvíce různých variant generovaných textur, s různou mírou stylizace a různými druhy rostlin. Typicky se na těchto texturách objevovala příliš velká, tmavá místa, která by na reliéfu nebyla vidět. Sekundárním cílem bylo tedy vybrat texturu, která by tento problém co možná nejvíce eliminovala. U výstupů generovaných pomocí Midjourney se navíc v tomto případě objevovaly náznaky vodoznaku podobného vodoznakům, které používají fotobanky. v datasetu použitým pro výuku modelu se tak zřejmě objevily nezakoupené obrázky z fotobank, které tento výstup negativně ovlivňovaly. Zároveň tato skutečnost jen potvrdila výše zmíněné potenciální problémy s užitím vizuálních děl bez vlastnictví autorských práv k trénování modelů umělé inteligence.



obr. 3-61 Džungle, viditelné vizuální artefakty v podobě vodoznaku, generovaný výstup, Midjourney

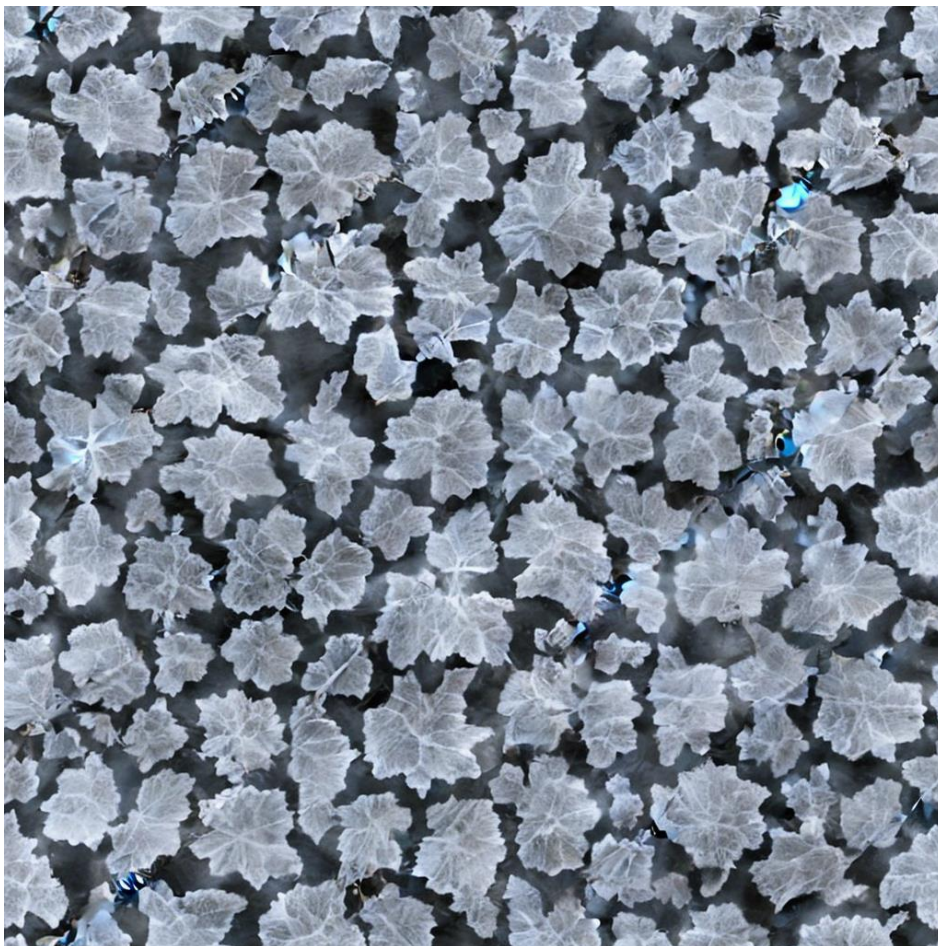
Pro vygenerování finálního výstupu byl tedy nakonec znovu použit nástroj Stable Diffusion. Klíčová slova byla v tomto případě: Jungle, jungle leaves, deep jungle texture.



obr. 3-62 Džungle, listy, generovaný výstup, Stable Diffusion

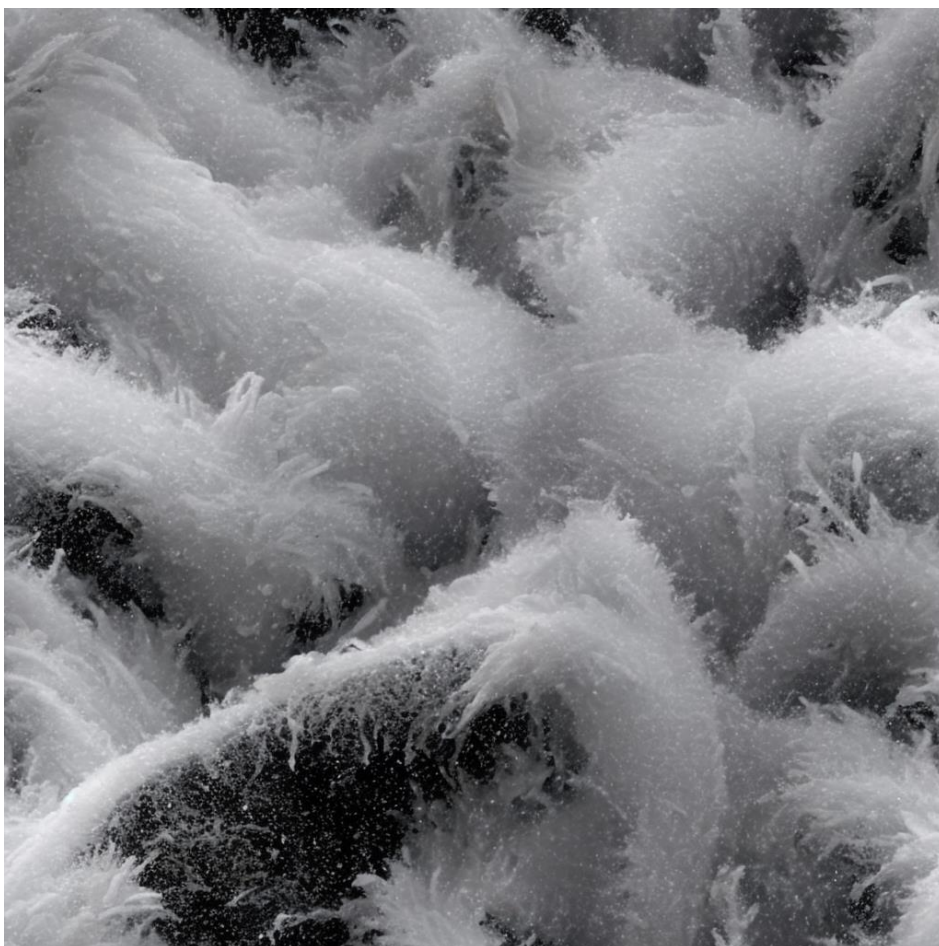
Čtvrtým biotopem, pro který vznikla textura, se stala tundra/tajga. Prvotní snahou bylo vytvořit textury připomínající jehličí. Tenké linie však na reliéfu působily nerozpoznatelně. Zároveň, vzhledem k použití šišek pro reprezentaci lesu mírného pásma, by zde mohlo docházet ke zmatení.

Druhým pokusem bylo vytvořit krystalky ledu, případně sněhové vločky, tedy organizovanou krystalickou strukturu. Snahy o vygenerování uspokojivého výsledku však nebyly úspěšné. Výstupy připomínaly spíše síť vlásečnic, které by sice ve vhodně zvolené barevnosti mohly připomínat rozpraskaný led, nicméně vzhledem k aplikaci v podobě reliéfu nebylo možné s úpravou barevnosti počítat. Alternativně vznikla ještě textura, která znázorňovala rostoucí ledové krystaly, ale na reliéfu by mohla spíše připomínat listy, což bylo pro biotop tundry/tajgy nežádoucí.



obr. 3-63 Tundra/tajga, krystaly ledu, generovaný výstup, Stable Diffusion

Vzhledem k tomu, že výstupy z předešlých pokusů nemohly být považovány za uspokojivé, byl otestován ještě čtvrtý přístup. Cílem v tomto případě bylo napodobit sněhovou bouři a chlad, který přináší. To se nakonec ukázalo jako nejlepší volba. Emoci chladu a ostrého větru se do textury podařilo přenést, a zároveň se podařilo docílit zajímavého efektu na reliéfu figury. Klíčová slova použitá pro tuto texturu byla: Blizzard, snow storm, freezing a wind.



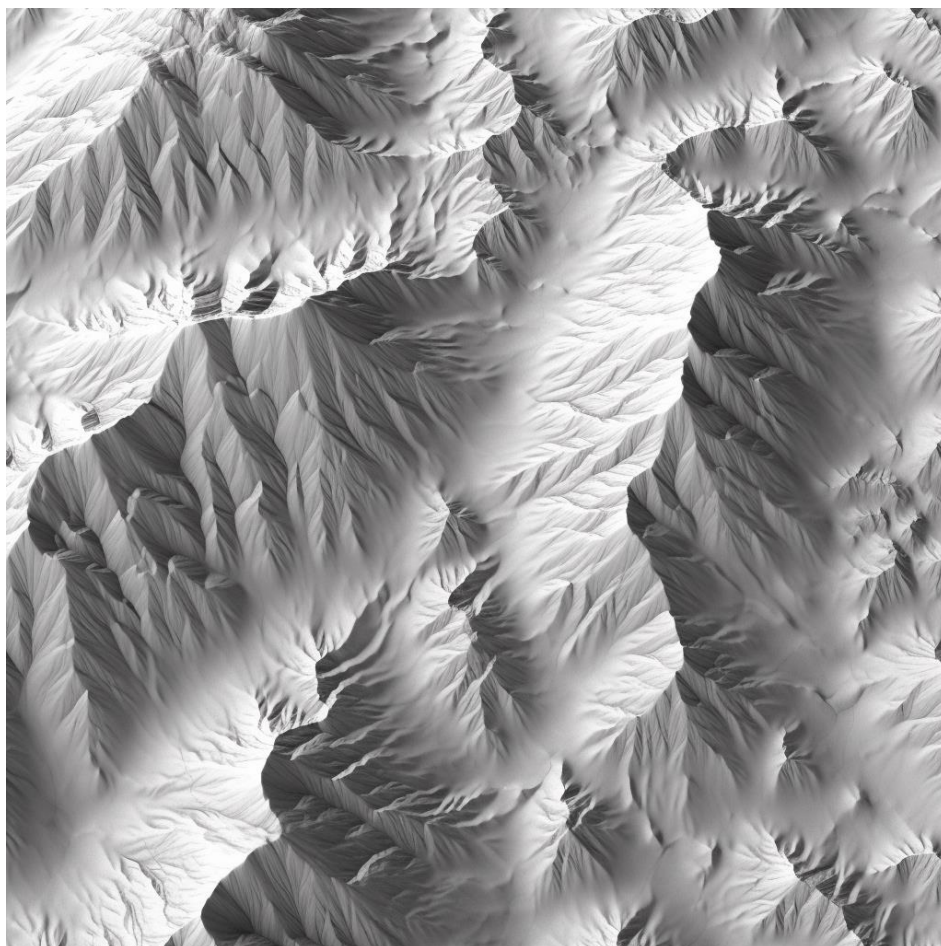
obr. 3-64 Tundra/tajga, sněhová bouře, generovaný výstup, Stable Diffusion

Předposledním zvoleným biomem byla savana. Cílem bylo vytvořit texturu, která by zachycovala horko a vyprahlou zem podobně jako textura pro poušť, ale zároveň se dostatečně odlišovala. Pro tuto texturu, tak byl zvolen jiný přístup než pro textury předešlé. Textura byla generovaná pomocí Midjourney, jelikož s aktualizovaným modelem došlo ke zlepšení schopností tohoto nástroje v oblasti textur. Druhou změnou bylo, že v případě savany nebyly definujícím prvkem rostliny, ani přírodní útvary. Stěžejním klíčovým slovem se stala zebra a její pruhy. Díky tomu vzniknul na reliéfu skutečně efekt, který měl podobnost s texturou pouště. Vizually textura na reliéfu připomíná pásy travin, střídající se s holou, vyprahlou půdou. Tato textura se nakonec ukázala jako jedna z vizuálně nejvýraznějších a nejsnadněji rozpoznatelných. Klíčová slova byla zvolena následovně: Zebra, zebra skin, zebra texture.



obr. 3-65 Savana, zebra, generovaný výstup, Midjourney

Posledním biotopem pak bylo vysokohorské pásmo. Jak již bylo zmíněno výše, původní snahou zde bylo aplikovat tibetskou, nebo nepálskou ornamentální motivaci. Toto se však ukázalo jako nerealizovatelné, a proto se následující snahy upínaly k vygenerování pohledu na hory z nadhledu. v tuto chvíli se znovu ukázaly limitace umělé inteligence, jelikož ani Stable Diffusion ani Midjourney nebyly správně schopny abstrahovat tento pohled shora. Vznikaly tak textury, které připomínaly spíše horizont, případně nějaký mix mezi pohledem zepředu a shora. Po sérii pokusů se nakonec pomocí nástroje Midjourney podařilo vytvořit uspokojivě vypadající texturu. Na reliéfu tato textura mírně připomíná texturu vygenerovanou pro biotop tundry/tajgy. To však může být považováno za výhodu, neboť obě textury by měly zachycovat chlad. Díky této skutečnosti tak všechny textury tvoří pomyslné významové páry, které mají společné vizuální rysy (džungle a les, poušť a savana, tundra/tajga a vysokohorské pásmo). Klíčovým slovem pro texturu hor bylo: texture of mountains from above.



obr. 3-66 Vysokohorské pásmo, pohled shora, generovaný výstup, Stable Diffusion

3.1.4 Finální tvarové řešení

Finální řešení sestává ze všech výše zmíněných dílů a krabice do které lze všechny součásti uschovat. Možnost uschování tabletu do krabice se nepředpokládá vzhledem k různým velikostem těchto zařízení a také faktu, že tablet bude velmi pravděpodobně sloužit i k jiným účelům než jen jako zobrazovací zařízení pro tuto platformu.

Obecně lze říci, že se mezi jednotlivými součástmi podařilo nalézt tvarovou harmonii, byť tvarování některých součástí podlého faktu, že produkt je primárně určen na výrobu pomocí 3D tisku. 3D tištěné prvky samy o sobě dokáží vytvářet jistou vizuální kvalitu, která je nejlépe viditelná u dílů vyrobených z filamentu s příměsí dřeva, který má zajímavou kresbu a zdůrazněné vrstvy 3D tisku mu sluší. Stejně tak lze tuto kvalitu pozorovat u reliéfů použitých na horních stěnách figur, které by bylo velmi obtížné konvenčními metodami vyrobit.



obr. 3-67 Finální tvarové řešení

V případě, že by se produkt někdy vyráběl sériově, většina dílů by mohla být zachována ve stejné nebo velmi blízké podobě. Nejzásadnější úpravou by pravděpodobně musely projít již zmíněné figury, a to právě kvůli obtížně vyrobiteľnému reliéfu. Pokud by výrobce chtěl vytvořit luxusnější produkt s vyšší cenovkou, nabízela by se možnost figury opatřit například E-ink displejem. To by je sice značně prodražilo, nicméně na druhou stranu by stačilo vyrábět jeden typ figury a informace na displeji měnit dle potřeby. E-ink displej je typický svou malou spotřebou energie a pro dané použití vhodný. Zároveň by bylo možné pracovat s variabilní velikostí ArUco markeru, který by se mohl zobrazovat až

v případě, že by se figura nacházela na hrací desce. Zároveň by se pravděpodobně díky způsobu podání E-ink displejem mírně zlepšila strojová čitelnost těchto markerů.

Systém složený z modulů umožňuje platformu různými způsoby konfigurovat, případně jednotlivé díly dokonce upravovat nebo měnit a tím dosáhnout různých uživatelských zážitků a odlišné funkcionality. Produkt tak může být zajímavou cestou pro domácí kutily do světa rozšířené reality.

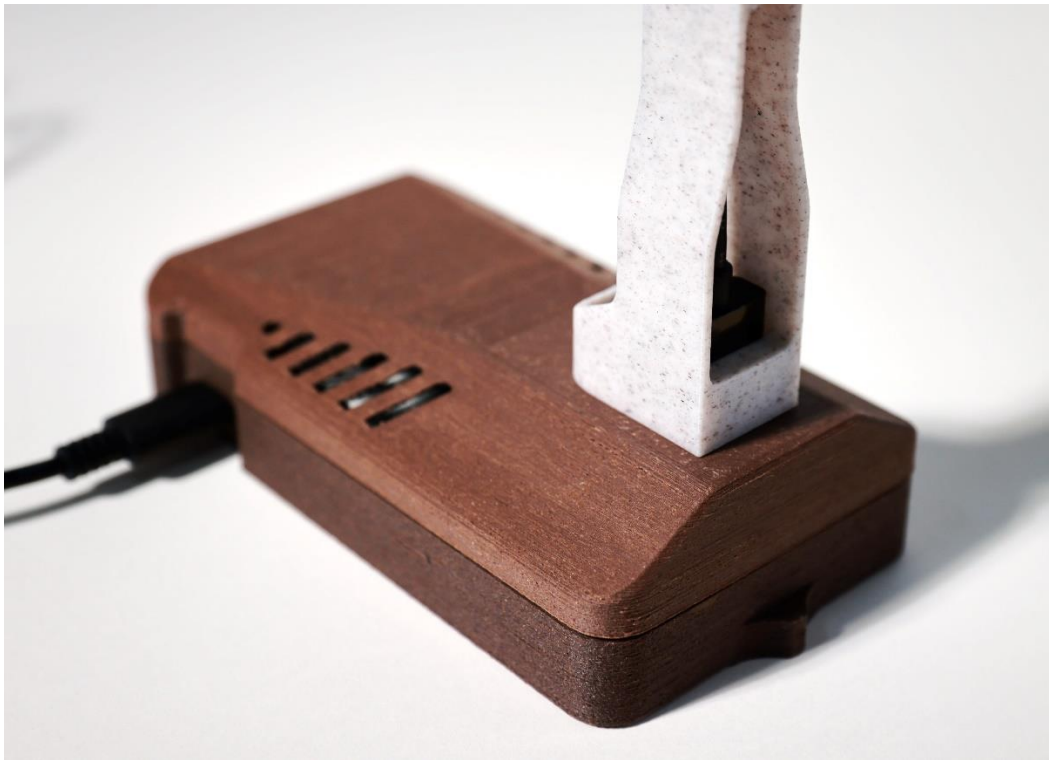
3.1.5 Ergonomie

Z ergonomického hlediska nejsou na produkt kladeny žádné zvýšené nároky. Samotné složení produktu je přímočaré a nevyžaduje speciální dovednosti ani zvýšené dosahy. Klíčová je především práce s mikropočítačem a kamerou, které musí uživatel před každým použitím zapojit. Připojení mikropočítače do sítě probíhá pomocí USB-C kabelu a umístěním odpovídá rozložení mikropočítače Raspberry Pi 4B.



obr. 3-68 Zapojení USB-C

Připojení HDMI kabelu k mikropočítači i kameře je také standardní a jejich rozložení odpovídá funkci produktu. Zdířka na mikropočítači tedy směřuje přímo nahoru a zdířka na kameře směřuje tečně k nosnému rameni tak, aby kamera směřovala na střed hrací plochy.



obr. 3-69 Zapojení HDMI



obr. 3-70 Zapojení kamery

Posledním zásadním kontaktem je vyskládávání figur na hrací plochu do drážek k tomu určených. Předpokládá se chycení figur za rádiusy v rozích, které tvoří přirozený prostor pro prsty. Pro větší ruce může být tento prostor malý, nicméně nepředpokládá se, že by hrací figury pokrývaly celou plochu bez prázdných míst. v opačném případě lze figury odebírat postupně od krajů, kde je prostoru pro manipulaci dostatek. i větší rukou však lze figuru z hrací plochy vždy sejmout, byť někdy se sníženou pohodlností.



obr. 3-71 Figury na hrací ploše

3.1.6 Bezpečnost a hygiena

Vzhledem k malým částem, u kterých by mohlo hrozit vdechnutí je produkt určen spíše pro starší děti od prvního stupně základní školy, případně vzhledem k jeho modularitě, v jiných variantách i pro dospělé uživatele.

Použité materiály lze považovat za zdravotně nezávadné. U PLA výrobce deklaruje možnost kontaktu s jídlem, což sice není tento případ, nicméně to ukazuje na vysokou bezpečnost materiálu. Filament Timberfill s příměsí dřeva tuto certifikaci nemá, nicméně vzhledem k využití produktu nelze očekávat zásadní problémy.

Riziko by pro běžného uživatele 3D tiskáren neměla představovat ani samotná výroba produktu, a to včetně montáže elektronických součástí, které jsou v takovýchto projektech běžně užívány. Potenciální riziko by mohlo vzniknout, pokud by rozšířená realita byla nahlížena pomocí headsetu, které jsou často velmi křehké, což by mohlo například dětského uživatele ohrozit. Je však třeba říci, že využití s headsetem je v tuto chvíli a za současného stavu technologie předpokládáno jako spíše okrajové. Bezpečností rizika v tomto případě navíc souvisejí spíše s headsetem jako takovým než s produktem, kterým se tato práce zabývá.

3.1.7 Barevné a grafické řešení

Součástí designu se stal i návrh loga. Logo v tomto případě plní i roli markeru pro rozšířenou realitu, a kromě estetických kvalit tak v návrhu musela být brána v potaz i funkční podstata. Všechna navržená loga byla vložena do webového prostředí Vuforia, programu pro práci s rozšířenou realitou, který každý vložený marker ohodnotí 1 až 5 hvězdičkami dle jeho kvality. Při návrhu loga byly respektovány základní parametry pro markery, tak jak je specifikuje společnost Vuforia, konkrétně se jedná o následující parametry [53]:

- Vysoká míra detailu.
- Grafické prvky jsou na ploše rozmístěny s rovnoměrnou hustotou.
- Neopakující se vzory.
- Vysoký kontrast.

Zároveň bylo cílem navrhnout logo, které by dostatečně vystihovalo produkt a jeho vizuální styl. Jako název bylo zvoleno ARealms, tedy spojení AR (rozšířená realita) a Realms (říše, světy). Tato slovní hříčka vhodně reprezentuje možnosti, které produkt přináší. Pro logotyp byl zvolen font Nunito, který byl zároveň použit i na některých fyzických dílech k lepšímu označení jejich funkce.

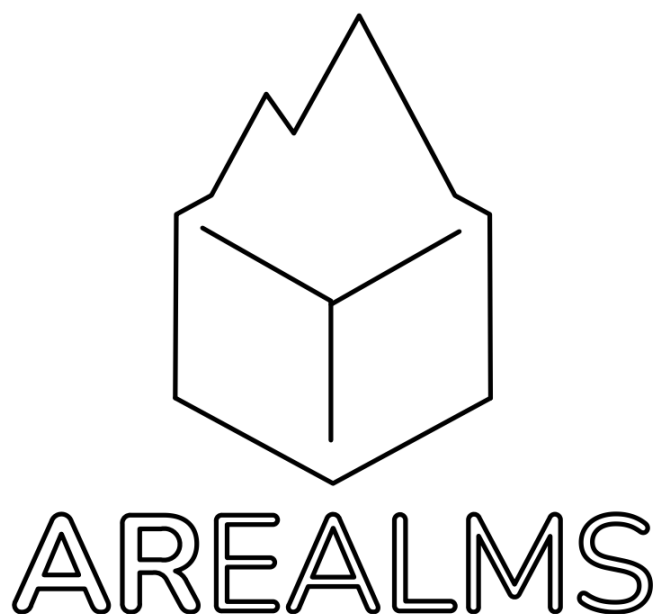
V prvotní fázi vznikly tři základní návrhy loga, které byly následně upravovány. Všechny tři tyto návrhy se snažily vyjádřit kontrast mezi geometrizovaným reálným světem v podobě krychle s organickým světem rozšířené reality.



obr. 3-72 Loga, prvotní variantní studie

První návrh, který je na obrázku nejvíce vlevo, reprezentuje figuru na hrací ploše. Z této figury pak stoupají hory, coby symbol rozšířené reality. Druhá varianta využívá principu zrcadlení, kdy pod logotypem se nacházejí geometrizované figury v podobě čtverců, ke kterým je zrcadlově umístěn kontrastní prvek v podobě horizontu horského masivu. Poslední variantou pak byla reprezentace hrací plochy při pohledu shora, do níž je vložen symbol stromu. Tato třetí varianta byl hned na začátku zavržena jako nejméně nosná a příliš přímočará.

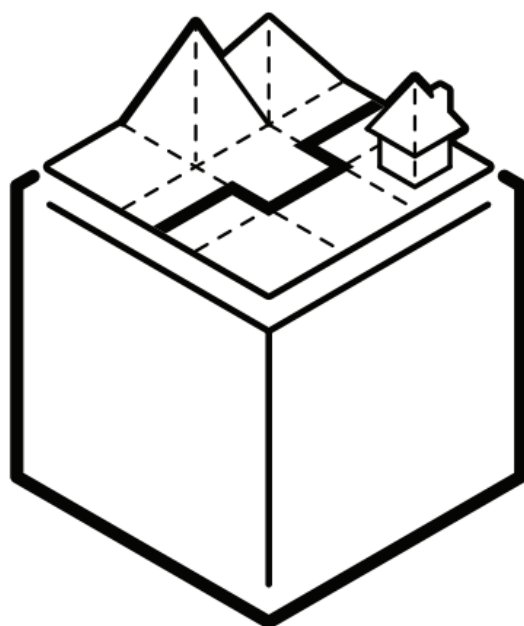
První dvě varianty naopak podléhaly delšímu výběru, protože obě měly jistý potenciál kvality. Jako vhodnější však nakonec byla vybrána první varianta, která celý systém reprezentovala nejlépe a jako logo působí nejkompaktnějším dojmem. Následně vyvíjené varianty tedy vycházely z této první verze. Postupně bylo otestováno několik různých přístupů založených na odebírání a přidávání linií z původní varianty loga. Výsledkem byla zjednodušená varianta, využívající minimální množství čar pro zobrazení prostorového efektu krychle. Oproti původní variantě byl text AREALMS převeden do podoby obrysu ve snaze ho více sjednotit se symbolem. Jak se ale ukázalo, text se tímto způsobem vizuálně ztrácel a logo se tak stalo méně čitelným.



obr. 3-73 Loga, iterace 2

Tato iterace přinesla jisté vizuální zlepšení, stále však měla několik problémů. v první řadě se jednalo o špatnou čitelnost hor, které se nad krychlí nacházejí. v očích uživatele by mohly evokovat například i plamen. v dalších pokusech tedy bylo snahou dodat horám prostorový efekt, nicméně ani jedna z těchto variant se neukázala jako vizuálně dostatečně kvalitní.

V další a závěrečné iteraci bylo snahou posunout se ke konkrétnějšímu zobrazení světa a krajiny. Podoba krychle z předchozí iterace zůstává stejná. Nad ní se nachází zjednodušená geometrizovaná krajina sestávající ze dvou hor, řeky a domu. Pro zdůraznění faktu, že se jedná o virtuální svět, jsou detaily krajiny vytvořeny přerušovanou čarou. Text pod logem se vrátil do plné podoby a oproti předchozím iteracím byl sjednocen do jednoho řezu, aby se pro uživatele zjednodušila čitelnost. Finální varianta loga byla ve vývojářském portálu Vuforia automaticky ohodnocena pěti hvězdičkami a lze ji tedy považovat za vhodnou pro použití coby markeru pro rozšířenou realitu.



AREALMS

obr. 3-74 Logo, finální iterace

3.2 Vývoj aplikace

Doprovodná aplikace vykreslující rozšířenou realitu byla vyvinuta pomocí softwaru Unity, což je, jak již bylo řečeno, multiplatformní vývojový engine, který je právě pro oblasti AR a XR nejvhodnějším řešením. Od počátku bylo cílem aplikaci vyvinout a primárně otestovat pro systém Android, nicméně právě díky faktu, že engine je multiplatformní, by ji bylo s minimálním úsilím možno převést i na další platformy.

Pro účely vývoje byly srovnány rozšiřující pluginy pro Unity MARS a Vuforia, které se oba specializují na zážitky v rozšířené realitě. Hlavní výhodou pluginu

MARS je možnost testovat vyvíjené aplikace v syntetickém prostředí, což může velmi urychlovat práci. Zkoušky však ukázaly, že Vuforia pracuje spolehlivěji a vývoj s ní je více přímočarý, zvláště v případě kdy se virtuální objekty mapují vzhledem k markeru a ne pouze kamkoliv do fyzického prostředí (v takovém případě pak lépe funguje MARS).

Před začátkem vývoje byl definován následující postup práce:

1. Přijmout signál z mikropočítače Raspberry Pi 4B a zobrazit ho v textové formě v aplikaci.
2. Vytvořit generátor map, který z dvourozměrného pole vytvoří prostorovou mapu s danými lokálními vlastnostmi.
3. Propojit přijímaný signál s generátorem map; zajistit správný překlad přijatých hodnot.
4. Navrhnout základní prvky prostředí (stromy, rostliny, textury).
5. Vytvořit jednoduché a funkční uživatelské rozhraní pro demonstraci funkce.
6. Zhodnotit konečný stav aplikace a definovat možná vylepšení a rozšíření v budoucnu.

V následujících podkapitolách budou jednotlivé kroky vývoje popsány, včetně použitých metod vývoje, a následně budou vyhodnoceny.

3.2.1 Jádro

Celá aplikace byla vytvořena pomocí enginu Unity, konkrétně jeho verze 2022.1.23f1. První částí, která byla naprogramována, byl skript přijímající data z Raspberry Pi a zobrazující je na displeji tabletu. Tuto část aplikace měl na starost student FAI UTB ve Zlíně Tomáš Hanáček, který připravoval i samotným rozpoznávací program pro mikropočítač Raspberry ve své bakalářské práci.

Student dostal za úkol připravit tento skript tak, aby hodnoty vysílané z mikropočítače přicházely ve dvourozměrném poli v následujícím formátu: [[ID figury, X souřadnice, Y souřadnice]]. Přijímání signálu mělo být řešeno buď přes WiFi nebo Bluetooth. Student se nakonec rozhodnul zvolit variantu s WiFi, která byla jednodušší na implementaci a z hlediska funkčnosti znamenala pouze drobnou komplikaci v podobě delšího spouštění mikropočítače. v dlouhodobém horizontu by byl přechod na variantu Bluetooth preferován v kontextu průmyslově vyráběné varianty, nicméně z hlediska prototypu se jednalo o marginální záležitost.

```

public Text variableText;

public IPAddress rpi_address = IPAddress.Parse("192.168.5.1");
byte[] sendMessage = Encoding.ASCII.GetBytes(" ");
public int port = 11000;
UdpClient listener;
IPEndPoint rpiEP;
Thread receiveThread;
public string result="[]";

// Start is called before the first frame update
☉ Zpráva Unity | Počet odkazů: 0
void Start()
{
    receiveThread = new Thread(new ThreadStart(Listen));
    receiveThread.IsBackground = true;
    receiveThread.Start();
}

☉ Zpráva Unity | Počet odkazů: 0
void Update()
{
    variableText.text = result;
}

☉ Zpráva Unity | Počet odkazů: 0
public void OnDisable()
{
    if (receiveThread != null)
    {
        receiveThread.Abort();
    }
    listener.Close();
    Debug.Log("Socket closed.");
}

Počet odkazů: 1
public void Listen()
{
    listener = new UdpClient(port);
    rpiEP = new IPEndPoint(rpi_address, port);
    listener.Connect(rpiEP);
    //listener.Client.ReceiveTimeout = 500;
    listener.Client.Blocking = false;

    while (true)
    {
        try
        {
            //Debug.Log("Sending Message");
            listener.Send(sendMessage, sendMessage.Length);
            //Debug.Log("Waiting for message");
            byte[] bytes = listener.Receive(ref rpiEP);

            //Debug.Log("Received message from " + groupEP);
            result = Encoding.ASCII.GetString(bytes, 0, bytes.Length);
            //Debug.Log(Encoding.ASCII.GetString(bytes, 0, bytes.Length));
        }
        catch (SocketException e)
        {
            Debug.Log(e);
        }
    }
}

```

obr. 3-75 Skript přijímající data z Raspberry Pi

Jakmile se přijímání dat podařilo spolehlivě vyřešit, bylo přistoupeno k programování samotného generátoru map, který tvoří nejdůležitější část aplikace.

Pro tyto účely byl scéně Unity vytvořen objekt typu `terén` s rozlišením 257 x 257 pro parametr výšky a 512 x 512 pro takzvanou `splatmap`, což je mapa definující rozložení textur na ploše terénu.

Pro účely programování generátoru bylo využito umělé inteligence, konkrétně aplikace ChatGPT 3, která se v době vývoje nově objevila na trhu a dokázala generovat kód v míře, jakou žádný jiný software do té doby nezvládal. ChatGPT 3 je jazykový model vyvinutý společností OpenAI, který byl vytrénován na obrovském množství dat tak, aby dokázal porozumět a generovat text podobně jako člověk [54]. Přestože původním plánem bylo psát kód ručně, z výzkumného hlediska se jevílo jako zajímavější kód generovat a pozorovat tak, do jaké míry může, například v rámci umělecky zaměřených oborů, pomoci autorům dotáhnout jejich vize k nimž nemají potřebné programátorské znalosti.

Základní struktura programu, který bylo třeba vygenerovat byla dána hned na začátku. K tomuto kroku jisté znalosti programování potřeba jsou, neboť bylo třeba umělé inteligenci jasně definovat požadavky, ideálně v krátkých, snadno testovatelných krocích. Základní, předem definované požadavky byly následující:

- Vytvořit skript pro Unity C#.
- Přemapovat pole o velikosti 8 x 8 na větší a při tomto mapování zajistit vyhlazení dat.

Pro převedení pole z velikosti 8 x 8 na pole o velikosti 257 x 257 bylo třeba vybrat vhodnou interpolační metodu. Interpolace má za cíl proložit známá data polynomem, který co možná nejlépe kopíruje hledanou funkci [55]. Jakmile tento polynom známe, můžeme dopočítat jeho hodnotu v libovolném místě. Jako nejjednodušší by se jevila bilineární interpolace, ta by ovšem v případě aplikace na mapu nemusela fungovat optimálně. v případě bilineární interpolace jsou body proloženy přímkou ve dvou osách [56].

Dalším pokusem byla tedy snaha o využití bikubické interpolace, kdy se body funkce prokládají polynomem třetího stupně [56]. Ta byla realizována generováním pomocí umělé inteligence. Následující text se věnuje detailnímu popsání komunikace s umělou inteligencí a interpretaci výsledků tohoto generování.

```
ST write me a c# script which does bicubic interpolation of 8x8 twodimensional array into 257x257 twodimensional array
```

obr. 3-76 Příkaz pro umělou inteligenci 1



Here is a C# script that performs bicubic interpolation on an 8×8 two-dimensional array, and scales it up to a 257×257 two-dimensional array:

```
c# Copy code

using System;
using System.Linq;

class BicubicInterpolation
{
    static void Main()
    {
        double[,] original = new double[8, 8];
        double[,] interpolated = new double[257, 257];

        // Populate the original array with some values
        for (int i = 0; i < 8; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 8; j++)
            {
                original[i, j] = i + j;
            }
        }

        double x, y, x1, x2, y1, y2;
        int i, j;
        double[] arr = new double[4];

        for (i = 0; i < 257; i++)
        {
            for (j = 0; j < 257; j++)
            {
                x = (double)i / 32;
                y = (double)j / 32;
                x1 = (int)x;
                x2 = x1 + 1;
                y1 = (int)y;
                y2 = y1 + 1;
            }
        }
    }
}
```

obr. 3-77 Část výstupu umělé inteligence

Umělá inteligence úspěšně vygenerovala požadovaný skript. Následující požadavek byl, aby umělá inteligence u proměnných nahradila typ double za typ float. Toto by byla velmi jednoduchá operace i v případě ručního programování, nicméně v rámci ověření schopností umělé inteligence byly testovány i takto jednoduché příkazy, se kterými si obecně poradila velmi dobře.

Vygenerovaný skript byl následně vložen do Unity a testován. Ukázalo se, že umělá inteligence udělala několik chyb. Pro člověka se základní znalostí programování by bylo možné tyto chyby najít a pojmenovat. Pokud by se však o programování tímto způsobem zajímal úplný laik, chyby by pravděpodobně odhalit nedokázal, a tedy je elementární orientace v kódu nutná i pro tento způsob programování. Následující příkazy se věnovaly snaze upozornit umělou inteligenci na chyby, které udělala a zjistit, zda je schopná je opravit. Tyto příkazy byly záměrně zadány poněkud vágně, aby byly schopnosti AI ověřeny lépe.

První chyba spočívala v indexu mimo hranice pole. v původním kódu umělá inteligence neošetřila podmínky pro hodnoty na okrajích pole, což způsobilo chybu. Po zadání následujícího příkazu umělá inteligence vytvořila ošetření okrajového případu, nicméně kód stále nebyl funkční.

```
ST in the previous code seems that in rows which contains: arr[0] = getValue(original, x1, y1);  
arr[1] = getValue(original, x2, y1);, the index is getting out of bounds
```

obr. 3-78 Příkaz pro umělou inteligenci 2

V dalším příkazu tedy bylo vyspecifikováno, v jaké části má AI hledat chybu.

```
ST the part x = (float)i / 32;  
y = (float)j / 32;  
x1 = (int)x;  
x2 = x1 + 1;  
y1 = (int)y;  
y2 = y1 + 1;  
  
arr[0] = getValue(original, x1, y1);  
arr[1] = getValue(original, x2, y1);  
arr[2] = getValue(original, x1, y2);  
arr[3] = getValue(original, x2, y2);  
  
seems not to work correctly
```

obr. 3-79 Příkaz pro umělou inteligenci 3

Umělá inteligence pak správně vyhodnotila jako problematické místo, kde se počítá x1 a y1. Přidáním funkce Math.Floor, která proměnné zaokrouhluje dolů byl problém vyřešen a skript bylo možné spustit.

V následujícím příkazu dostala AI za úkol vyplnit původní pole 8 x 8 náhodnými testovacími hodnotami od 0 do 0.3. Tyto hodnoty dočasně sloužily jako testovací data, protože signál z mikropočítače zatím nebyl na skript připojen a jeho připojení by testování pouze zbytečně zpomalilo.

S testovacími daty se ukázalo, že původní ošetření okrajových podmínek nebylo optimální, a proto AI nabídla verzi, kde jsou okrajové hodnoty přímo extrapolovány z původních dat.

```
c# Copy code  
  
static float getValue(float[,] original, float x, float y)  
{  
    int x1 = (int)Math.Floor(x);  
    int y1 = (int)Math.Floor(y);  
    if (x1 < 0)  
        x1=0;  
    if (y1 < 0)  
        y1=0;  
    if (x1 >= 8)  
        x1=7;  
    if (y1 >= 8)  
        y1=7;  
    return original[x1, y1];  
}
```

obr. 3-80 Část výstupu umělé inteligence 2

Ukázalo se, že interpolovaná data neměla hladký průběh. Pro ověření, že se nejedná pouze o náhodu spojenou s náhodně generovanými hodnotami, dostala umělá inteligence za úkol vyplnit vstupní hodnoty lineárním gradientem. S těmito daty se potvrdilo, že bikubická interpolace data nevyhlazuje, jelikož interpolovaný výstup připomínal schodovitou strukturu.

Po vzneseném dotazu umělá inteligence potvrdila, že se jedná o korektní chování, jelikož tento způsob interpolace dokáže správně vyhladit jen určitý typ dat. Na základě této informace byla umělá inteligence požádána, aby navrhla jiný způsob interpolace, jehož výstupem by byla plocha s hladkým průběhem.

Na základě tohoto požadavku byl vygenerován skript, který pomocí knihovny MathNet.Numerics vykonával interpolaci pomocí spline. Jak se ale ukázalo tuto

knihovnu bylo třeba nainportovat pomocí takzvaného Nuget package, který ovšem není podporován v enginu Unity.

V následujícím příkazu tedy dostala umělá inteligence za úkol zvolit interpolační metodu, která by vytvářela hladkou plochu i pro zcela náhodná data. Vytvořen byl skript, který používal Sinc interpolaci. Ani zde však výsledek nebyl uspokojivý, protože tato interpolace se výrazně lišila od vstupních dat.

Posledním nabídnutým řešením byl Gaussův filtr. Gaussův filtr odpovídá běžnému Gaussovu rozložení. Z jednotlivých hodnot vytvoří takzvané kernely, jejichž hodnoty jsou násobeny váhou dle Gaussova rozdělení [57]. Ten se z nabízených možností ukázal jako nejlépe funkční, a proto s ním bylo dále pracováno.

```
float sigma = 1;
for (int i = 0; i < 257; i++)
{
    for (int j = 0; j < 257; j++)
    {
        float sum = 0;
        float weightSum = 0;
        for (int n = 0; n < 8; n++)
        {
            for (int m = 0; m < 8; m++)
            {
                float dist = (i / 32f - n) * (i / 32f - n) + (j / 32f - m) * (j / 32f - m);
                float weight = Mathf.Exp(-dist / (2 * sigma * sigma));
                sum += mapSource[n, m] * weight;
                weightSum += weight;
            }
        }
        mapSourceInterpolated[i, j] = sum / weightSum;
    }
}
```

obr. 3-81 Výstup umělé inteligence, Gaussův filtr

Následně byla umělá inteligence požádána, aby do výsledného pole přidala Perlinův šum, který by v mapě vytvořil patřičný mikro-detail. Perlinův šum se ve videohrách často užívá ke generování map a světů. Příklad může být hra No man's sky, která s Perlinovým šumem pracuje pro generaci terénu planet [58]. Jedná se o procedurálně generovaný šum, kterým je ve vhodné konfiguraci možné napodobovat různé přírodní textury [59].

```
using System;

float scale = 0.1f; // adjust this value to control the amount of noise
for (int i = 0; i < 257; i++)
{
    for (int j = 0; j < 257; j++)
    {
        float noise = Mathf.PerlinNoise((i + Time.time) * scale, (j + Time.time) * scale);
        mapSourceInterpolated[i, j] += noise * 0.05f; // adjust this value to control the amplitude of the noise
    }
}
```

obr. 3-82 Výstup umělé inteligence, Perlinův šum

Výstup tohoto skriptu byl již dostatečně kvalitní, proto začala přímá implementace pro systém terénu, který je součástí Unity. Pro tyto účely byl ručně naprogramován objekt typu Biome, který sestával z následujících parametrů:

- jméno
- ID
- minimální výška
- maximální výška
- teplota
- vlhkost
- difuzní mapa
- normálová mapa

Na základě těchto parametrů, které by bylo možné dále rozšiřovat, je možné spočítat jednotlivé hodnoty pro celou mapu a na základě nich určit, jaké rostliny a stromy, případně i zvířata, mohou v daných podmínkách žít.

Postupně se ukázala, že Gaussův filtr až příliš rozmazává detaily. Proto byla umělá inteligence požádána, aby nejprve provedla bilineární interpolaci a původní pole zvětšila na 128 x 128 a toto zvětšené pole následně pomocí Gaussova filtru zvětšila na velikost 257 x 257.

V tomto případě AI udělala podobnou chybu jako v případě bikubické interpolace a nevyřešila okrajové situace. Po upozornění na konkrétní místo s chybou dokázala problém opravit.

ST

```
still out of bounds you need to make exceptions for these: float q11 = mapHeights[x1, y1];  
float q12 = mapHeights[x1, y1 + 1];  
float q21 = mapHeights[x1 + 1, y1];  
float q22 = mapHeights[x1 + 1, y1 + 1];
```

obr. 3-83 Příkaz pro umělou inteligenci 3

V průběhu testování se ukázalo, že zvětšení pole 257 x 257 je pro mobilní telefon výpočetně velmi náročné. Pokud by se mapa generovala pouze jednou, nebyl by to problém, nicméně vzhledem k faktu, že mapu je nutno aktualizovat prakticky v reálném čase, muselo být její rozlišení redukováno. Postupné testování ukázalo, že i při rozlišení 65 x 65 mapa stále vypadá dobře a výpočetně se jedná o mnohem přijatelnější variantu.

Umělá inteligence tedy byla požádána, aby upravila skript tak, že pole 8 x 8 se nejprve pomocí bilineární interpolace zvětší na pole 32 x 32 a následně pomocí Gaussova filtru na 65 x 65.

V tuto chvíli bylo generování terénu funkční a vizuálně uspokojivé a bylo tak možné přistoupit k texturování. Umělá inteligence v tomto případě navrhla využít takzvanou splatmap, což je v podstatě textura složená z tolika vrstev, kolik je potřeba materiálů. Každá vrstva pak může v libovonném místě mapy nabývat hodnot 0 až 1 a tím definovat, do jaké míry je v daném místě daný materiál zastoupen.

```
// ... your existing code
mapData = mapTerrain.terrainData;
// Create 8 terrain layers
TerrainLayer waterTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer forestTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer jungleTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer desertTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer savannahTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer tundraTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer taigaTerrainLayer = new TerrainLayer();
TerrainLayer mountainTerrainLayer = new TerrainLayer();
waterTerrainLayer.diffuseTexture = waterTexture[0];
forestTerrainLayer.diffuseTexture = forestTexture[0];
jungleTerrainLayer.diffuseTexture = jungleTexture[0];
desertTerrainLayer.diffuseTexture = desertTexture[0];
savannahTerrainLayer.diffuseTexture = savannahTexture[0];
tundraTerrainLayer.diffuseTexture = tundraTexture[0];
taigaTerrainLayer.diffuseTexture = taigaTexture[0];
mountainTerrainLayer.diffuseTexture = mountainTexture[0];

//Add terrain layers to terrainData
mapData.terrainLayers = new TerrainLayer[] { waterTerrainLayer, forestTerrainLayer,
// Create the splatmap data
float[,] splatmapData = new float[128, 128, 8];
```

obr. 3-84 Skript vytvořený umělou inteligencí, splatmap

Samotné vyplnění mapy texturami pak probíhá obdobně jako u generování jejího výškového profilu. v tomto případě je vynechána lineární interpolace, která způsobovala že přechody mezi texturami byly příliš ostré a původní pole 8 x 8 je pouze zvětšeno pomocí Gaussova filtru na 128 x 128.

Následně bylo vytvořeno jednoduché herní menu, které obsahuje ikony reprezentující jednotlivé stromy a rostliny. Vizuální stránka uživatelského rozhraní bude rozebrána v dalších kapitolách. Uživatel pak může jednotlivé ikony přetáhnout na mapu a v místě uvolnění se vytvoří instance dané rostliny. Umělé inteligenci byl tedy zadán následující příkaz.

ST

in unity scene i have a button, when i press i want to start a drag and drop process. On release i want to cast a ray from the point of release. If the ray hits terrain object i want to spawn a prefab on the place where the ray hit the terrain. are the instructions clear?

obr. 3-85 Příkaz pro umělou inteligenci 4

Příkaz byl v tomto případě definován poměrně specificky se znalostí principu takzvaného raycastingu, což je metoda, která z daného místa vyšle paprsek v určitém směru (v tomto případě ve směru pohledu kamery) a následně zjišťuje do jakého objektu tento paprsek narazil. Na místě tohoto nárazu pak skript vygeneruje takzvaný prefab, což je předpřipravený herní objekt. v tomto konkrétním případě jsou prefaby jednotlivé modely rostlin a stromů.

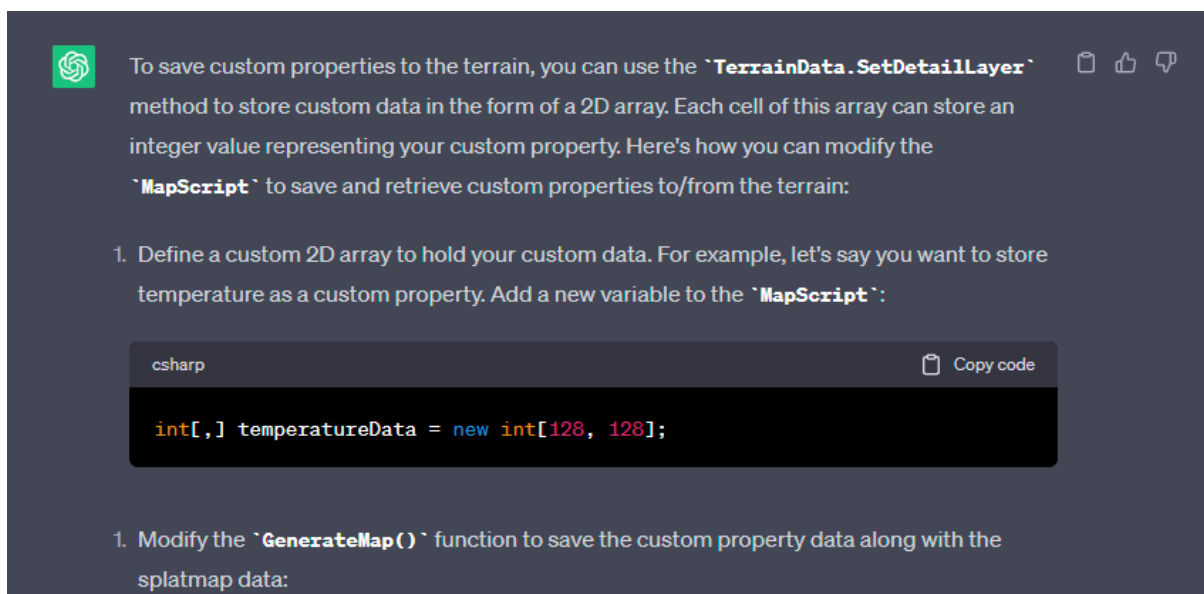
Umělá inteligence v tomto případě vygenerovala funkční kód, který fungoval na první pokus. Tato část kódu byla následně dalšími příkazy postupně po malých kouscích rozšiřována o další funkce, což se v průběhu vývoje ukázalo jako neefektivnější metoda z hlediska udržení koherence.

V následujícím příkazu byla AI požádána, aby skript modifikovala tak, že místo jednoho prefabu jich v blízkém okolí vytvoří několik s náhodnou velikostí a rotací. Zde umělá inteligence udělala drobnou chybu v podobě špatně deklarované proměnné. Tento problém nicméně opravila hned po zadání chybové hlášky.

Dále byl kód rozšířen tak, aby jednotlivé náhodně rozmístěné prefaby mezi sebou vzájemně nemohly kolidovat. i tento úkol byl úspěšně vyřešen pomocí zjednodušeného fyzikálního systému, který je součástí Unity.

V následujících příkazech se však již naplno začaly ukazovat problémy umělé inteligence. Celý kód byl v tuto chvíli již dost komplexní a složený ze dvou nezávislých částí. AI už v tuto chvíli nedokázala brát v potaz veškeré informace, které měla k dispozici a kódy, které nabízela, různými způsoby negovaly funkce dříve naprogramované. Případně byla nabízená řešení příliš složitá. Od této chvíle tak byla třeba větší angažovanost lidského faktoru v její kontrole. Oprava chyb zároveň začala vyžadovat větší porozumění kódu ze strany lidské kontroly, neboť umělá inteligence několikrát chybu špatně vyhodnotila a její opravy se začaly točit v kruzích.

AI dostala dále za úkol uložit k informacím o terénu i informaci o teplotě a vlhkosti v daném místě. AI navrhla využít takzvanou detail layer, do které by tato data mohla být uložena.



To save custom properties to the terrain, you can use the `TerrainData.SetDetailLayer` method to store custom data in the form of a 2D array. Each cell of this array can store an integer value representing your custom property. Here's how you can modify the `MapScript` to save and retrieve custom properties to/from the terrain:

1. Define a custom 2D array to hold your custom data. For example, let's say you want to store temperature as a custom property. Add a new variable to the `MapScript`:

```
csharp
int[,] temperatureData = new int[128, 128];
```

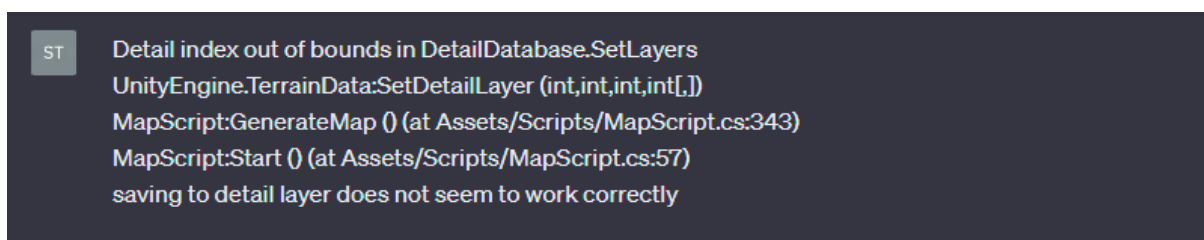
1. Modify the `GenerateMap()` function to save the custom property data along with the splatmap data:

obr. 3-86 Odpověď umělé inteligence, využití Detail layer

V tuto chvíli umělá inteligence poprvé změnila jména některých proměnných a zapříčinila tak nefunkčnost kódu. Po upozornění však tuto chybu byla schopna opravit.

Zdalo se, že připravený kód funguje. AI tak dostala za úkol udělat nový skript, který by byl součástí dříve instancovaných prefabů a v místě jejich polohy by z mapy získal informaci o vlhkosti a teplotě. Zde znovu umělá inteligence ztratila kohezi, jelikož se tuto informaci snažila aproximovat z výškové mapy, přestože tato data byla krátce předtím uložena do detail layer. Po upozornění na konkrétní část kódu, kde jsou tyto informace ukládány, navrhla umělá inteligence alternativní řešení, které už s touto informací pracovalo.

Po spuštění kódu se však vyskytla chyba, kterou umělá inteligence nebyla schopna opravit.



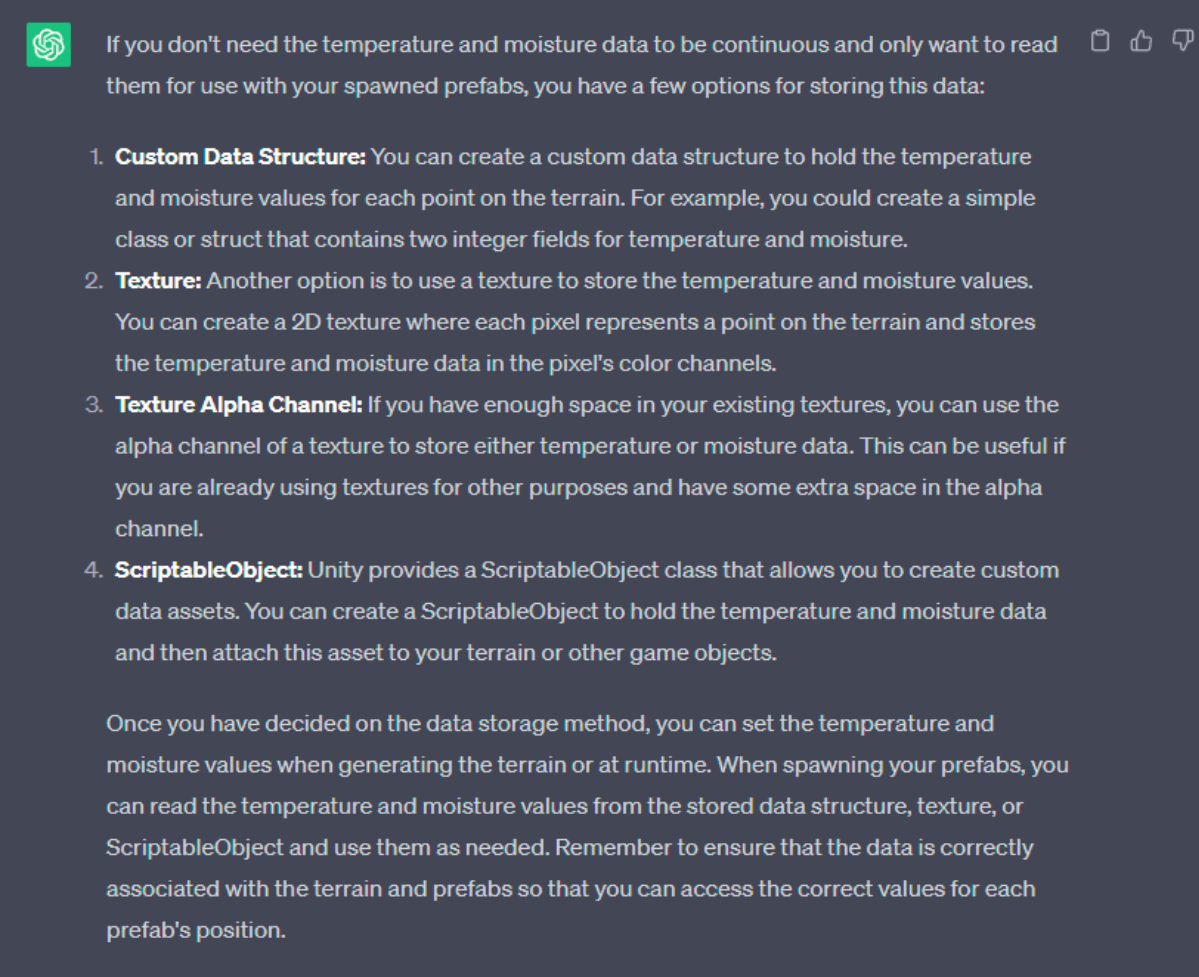
```
ST Detail index out of bounds in DetailDatabase.SetLayers
UnityEngine.TerrainData:SetDetailLayer (int,int,int,int[,])
MapScript:GenerateMap () (at Assets/Scripts/MapScript.cs:343)
MapScript:Start () (at Assets/Scripts/MapScript.cs:57)
saving to detail layer does not seem to work correctly
```

obr. 3-87 Chybové hlášení, komunikace s umělou inteligencí

Jednalo se o typickou chybu s indexy mimo hranice pole. Umělá inteligence se však dostala do smyčky a nabízena řešení nevedla ke změně. v tuto chvíli tedy muselo přijít hledání chyby ze strany člověka. Přidáním výpisů informací do

konzole se ukázalo, že umělá inteligence hledá chybu na špatném místě a že problém není v poli, které se do detail layer zapisuje, ale v tom, že její vrstvy nejsou předem definovány. Následně byla nabídnuta oprava, ve které byly tyto vrstvy definovány. Definice nicméně ukazovala na to, že detail layer není určena k uschování tohoto typu dat a že se jedná o nástroj ke zobrazování malých, takzvaných detailních textur. Umělá inteligence po dotazu tuto skutečnost potvrdila a ukázalo se tak, že se vzhledem k příliš vágnímu zadání dostala do slepé uličky.

Zároveň však nabídla několik alternativních řešení:



The screenshot shows a GitHub-style interface with a dark background. At the top left is the GitHub logo. To its right is the text: "If you don't need the temperature and moisture data to be continuous and only want to read them for use with your spawned prefabs, you have a few options for storing this data:". Below this are four numbered list items, each with a bolded title and a description. At the bottom of the list is a paragraph of text. The list items are: 1. Custom Data Structure, 2. Texture, 3. Texture Alpha Channel, and 4. ScriptableObject. The paragraph below discusses setting values when generating terrain or at runtime and reading them from the chosen storage method.

If you don't need the temperature and moisture data to be continuous and only want to read them for use with your spawned prefabs, you have a few options for storing this data:

- Custom Data Structure:** You can create a custom data structure to hold the temperature and moisture values for each point on the terrain. For example, you could create a simple class or struct that contains two integer fields for temperature and moisture.
- Texture:** Another option is to use a texture to store the temperature and moisture values. You can create a 2D texture where each pixel represents a point on the terrain and stores the temperature and moisture data in the pixel's color channels.
- Texture Alpha Channel:** If you have enough space in your existing textures, you can use the alpha channel of a texture to store either temperature or moisture data. This can be useful if you are already using textures for other purposes and have some extra space in the alpha channel.
- ScriptableObject:** Unity provides a ScriptableObject class that allows you to create custom data assets. You can create a ScriptableObject to hold the temperature and moisture data and then attach this asset to your terrain or other game objects.

Once you have decided on the data storage method, you can set the temperature and moisture values when generating the terrain or at runtime. When spawning your prefabs, you can read the temperature and moisture values from the stored data structure, texture, or ScriptableObject and use them as needed. Remember to ensure that the data is correctly associated with the terrain and prefabs so that you can access the correct values for each prefab's position.

obr. 3-88 Komunikace s umělou inteligencí, alternativy ukládání dat

Z těchto možností byla zvolena datová struktura, která se jevila jako nejjednodušší řešení. Tuto struktura umělá inteligence vytvořila a bylo možné se tak vrátit zpět ke skriptu, který měl za úkol tato data načíst do prefabu.

Znovu se projevil problémy umělé inteligence v orientaci v komplikovaném kódu, kdy chtěla využít neexistující skript. Sérií postupných oprav se podařilo

využít již předem definovaných skriptů k získání dat. Jak se ale ukázalo, umělá inteligence navrhla špatný systém určení polohy prefabu vzhledem k terénu. Znovu se dostala do smyčky, kdy k opravám využívala detail mapu, která už ale dříve přestala být používána. Po lidské kontrole skriptu se ukázalo, že k určení souřadnic používá AI polohu mapy samotné a nikoliv prefabu. Výsledná souřadnice tak vždy byla v počátečním bodu terénu. v tuto chvíli již umělá inteligence zcela přestala zvládat situace a nové pokusy o opravy byly většinou nesmyslné a chaotické.

V následujícím příkazu tedy bylo definováno, že se nemá snažit současný skript pro určení teploty a vlhkosti v dané poloze mapy opravit, ale že má začít od začátku. Aby byl jasně definován kontext, byly do příkazu vloženy oba již existující kódy, tedy skript který se stará o generování mapy a skript který se stará o vytváření prefabů na mapě. Příkaz byl pak následující:

```
ST What we need now is that those prefabs would retrieve the temperature and moisture values based on where are they spawned on the terrain
```

obr. 3-89 Příkaz pro umělou inteligenci 5

Umělá inteligence nejprve připravila skript, který by byl integrován k tlačítkům, která ovládají vytváření objektů. To by však bylo z programátorského hlediska obtížně kontrolovatelné a náročné na údržbu. Byla tedy požádána aby skript mohl být přímo součástí vytvářeného prefabu. Skript by tak byl zároveň spuštěn přímo ve chvíli, kdy by byl prefab vytvořen. AI se následně v tomto skriptu snažila získat polohu prefabu z jiného skriptu, který ovládá jeho vytváření. To by sice bylo možné, ale předání dat tímto způsobem by bylo zbytečně komplikované a neefektivní. Umělá inteligence tedy byla upozorněna, že může využít přímo polohu prefabu samotného, což je naopak velmi snadno získatelná informace.

Nabízené řešení bylo znovu velmi komplikované a nekoherentní vůči zbytku kódu.

```
ST Dont try to modify it, start over. I want a terrainInfo to do this. On start it would retrieve the prefab position (terrain info collector is attached to prefab). Then it would get its position on the terrain. And from this it would get the temperature and moisture value from mapscript for its position
```

obr. 3-90 Příkaz pro umělou inteligenci 6

Po této opravě již umělá inteligence vytvořila funkční skript, který dokázal z dříve připravené datové struktury získat data o teplotě a vlhkosti v místě, kde byl prefab vytvořen.

V tuto chvíli bylo možné vytvořit systém, který by měnil jednotlivé modely prefabu od sazenice až po vzrostlý/uschlý strom. Každá rostlina a strom měla připravena několik modelů postupného růstu, které byly k prefabu přiřazeny.

```
I need to create an IEnumerator which would change the model of the prefab overtime. 3D models are stored in models array and growtime variable means how long it would take to change from first model to the last model in array
```

obr. 3-91 Příkaz pro umělou inteligenci 7

Umělá inteligence úspěšně připravila skript, který se staral o výměnu modelů v průběhu předem stanovené doby růstu. Následujícím příkazem byla doba růstu mírně randomizována tak, aby každý prefab rostl jinak dlouho a výsledek tak nevypadal příliš genericky. Závěrem byla i AI požádána, aby přidala proměnnou, která bude řídit, jestli se rostlina z finálního stavu promění na uschlou nebo ne. Na základě teploty a vlhkosti je pak tato proměnná ovládána.

Shrnutí

Obecně lze zhodnotit, že umělou inteligenci lze úspěšně využívat i k programování komplexnějších aplikací. i přes občasné chyby, kterých se umělá inteligence dopouštěla, byla alespoň základní struktura generovaného kódu správná a chyby byly spíše drobnějšího charakteru. Lze také říct, že tyto chyby často pramenily z příliš vágního zadání nebo špatného pochopení záměru ze strany umělé inteligence. Většinu těchto chyb však dokázala po zadání chybového hlášení z herního enginu opravit, a to bez větší účasti lidského faktoru. v pokročilejších fázích se však objevily i chyby, které by bez přispění lidské kontroly opraveny nebyly.

Znalost programování není pro toto generování vyloženě nutná. Klíčovým parametrem je především schopnost přesně definovat svůj cíl a kroky k němu vedoucí a následně být schopen jej pochopitelně vyjádřit. Nabízí se tak využití této technologie například právě průmyslovými designéry k dotažení projektů, které by jinak bez znalosti programování musely skončit pouze jako vize či modely. Na druhou stranu je však třeba říct, že alespoň základní znalost programování přináší značnou výhodu. Jednak umožní člověku lépe definovat pokyny pro umělou inteligenci, jelikož má lepší představu o tom, jak lze takového cíle programátorský dosáhnout. Zároveň je klíčová v odhalování chyb. v počátečních fázích sice

umělá inteligence dokázala většinu chyb opravit sama, ale později, když projekt začal být velmi komplexní, začala i umělá inteligence ztrácet schopnost udržovat kód koherentní a často se dostávala do smyček, kdy chyby nebyla schopná opravit. Až díky přesnému nalezení chyby a nastínění možného řešení se jí podařilo tyto problémy opravit.

Důležitým faktorem je také předchozí znalost herního enginu Unity a jeho zákonitostí. Umělá inteligence je sice schopná psát kromě skriptu i návody krok za krokem, nicméně snadná orientace a předchozí příprava rutinních věcí celý proces vývoje značně urychlují. Znalost funkcionalit Unity zároveň umožňuje přesněji definovat některé pokyny. Zde je sice vysoce pravděpodobné, že umělá inteligence by efektivní řešení časem nabídla i bez předchozího přesného zadání, nicméně by k tomu pravděpodobně vedlo několik iterací.

Pro zkušenějšího uživatele Unity se pak jedná o nástroj, který výrazně urychluje práci, kdy dokáže rychle řešit úkoly, které jsou běžné a jednoduché, ale zdlouhavé, ale i úkoly komplikované, které by z programátorského hlediska vyžadovaly dlouhou předchozí rešerši a porozumění.

Nejefektivněji dokázala umělá inteligence pracovat, pokud jí byly úkoly zadávané po částech, kdy se nejprve začalo obecnou funkční kostrou, která se v dalších příkazech rozšiřovala o další funkce. Efektivita naopak klesala u příkazů, které byly velmi komplexní a vyžadovaly více věcí najednou. Problematické byly rovněž příkazy v pokročilých fázích vývoje, které navazovaly na předchozí kód nebo informace, ale přímo jej nerozšiřovaly. I s těmito úkoly si však AI nakonec poradila, byť bylo třeba zadávat příkazy s větším rozmyslem a s odkazy na příslušná, dříve vyvinutá místa v kódu, ze kterých má čerpat.

3.2.2 Detekce v rozšířené realitě

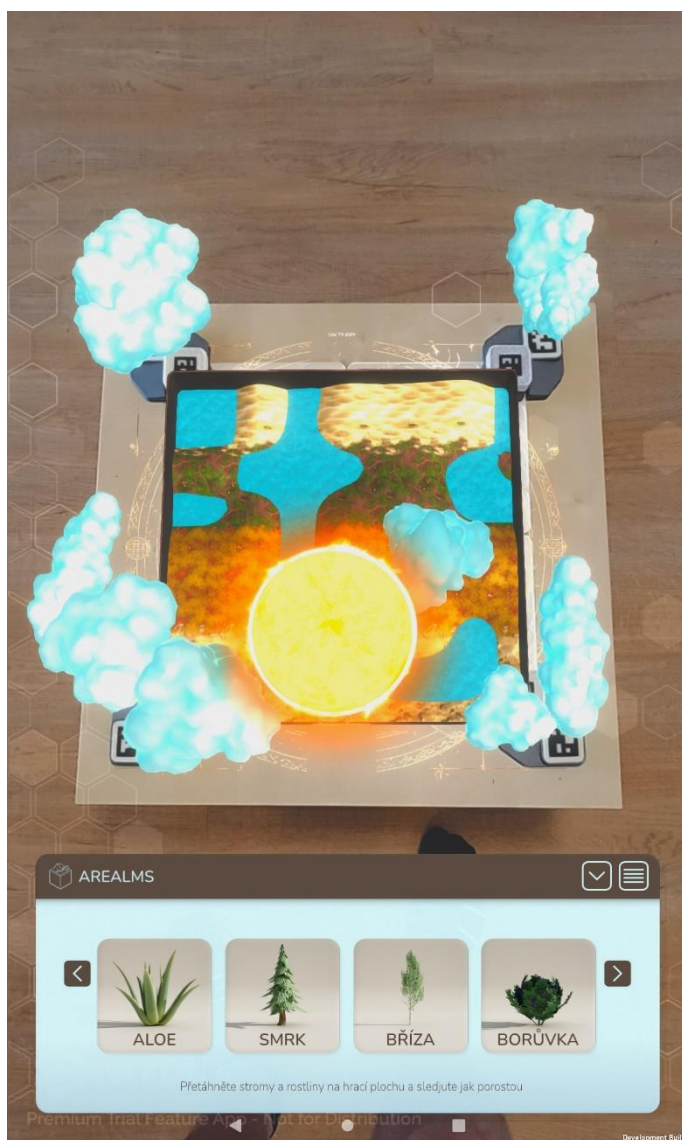
Jak již bylo zmíněno výše, detekce hrací desky a zobrazení virtuálních prvků v rozšířené realitě se děje pomocí pluginu Vuforia pro engine Unity. Otestovány byly dva způsoby detekce, z nichž oba jsou funkční a aplikaci je relativně snadné přenastavit z jednoho režimu do druhého.

Prvním režimem je detekce obrázku ve formě loga AREALMS vytištěného na speciálním dílu. Tato řešení je velmi přímočaré a snadné na implementaci. Detekce 2D obrázků je součástí neplacené verze pluginu Vuforia a lépe by tak odpovídala možnosti upravovat aplikaci jako open source. Nevýhodou je méně spolehlivá detekce, kdy především z větší dálky aplikace nedokáže logo rozpoznat se 100% spolehlivostí a dochází tak k výpadkům. Přesto se však jedná o použitelný způsob detekce.



obr. 3-92 Ukázka z testování detekce pomocí obrázku

Druhým způsobem je detekce pomocí 3D skenu. Pro tyto účely byly pomocí mobilního telefonu naskenovány rohové díly. Jedná se o náročnější metodu z hlediska přípravy, nicméně skenování, pokud se provede dobře, stačí provést jen jednou. Detekce 3D objektů spadá do placené verze pluginu Vuforia, což je asi její největší nevýhoda. Lze ji však testovat i ve verzi zdarma za cenu, že je aplikace opatřena vodoznakem. Samotná detekce je pak spolehlivější a funguje i z větší vzdálenosti, což je nesporná výhoda této metody. Zároveň lze tímto způsobem vyřadit díl, který slouží jako nosič obrázku a tím celý produkt zjednodušit.

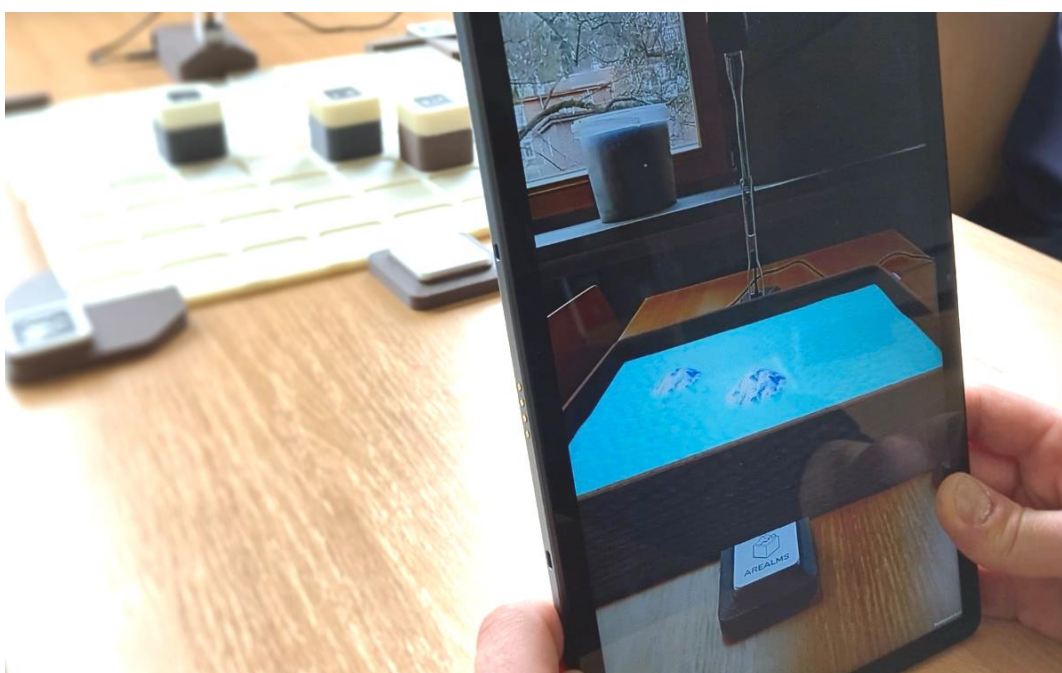


obr. 3-93 Ukázka z testování detekce pomocí 3D objektu

3.2.3 Hratelnost

Následující řádky se věnují stručnému popisu toho, jak platforma a konkrétní případová studie pracuje a jaké jsou další možnosti rozšíření. Hra začíná sestavením hrací desky z jednotlivých dílů. Po jejím složení připojí uživatel mikropočítač do elektrické sítě. Počítač se následně přibližně minutu spouští. Poté vytvoří WiFi síť, na kterou je třeba připojit se z mobilu, tabletu nebo jiného zobrazovacího zařízení. Od této chvíle je navázána mezi tabletem a mikropočítačem komunikace. v tabletu hráč spustí příslušnou aplikaci a naskenuje hrací desku. v rozšířené realitě se následně začne promítat mapa, která je na začátku reprezentována rovnou vodní plochou. Hrací deska je v reálném čase snímána kamerou, jejíž obraz je kontinuálně vyhodnocován mikropočítačem. Jakmile se v záběru objeví figura, mikropočítač určí její typ a souřadnice na hrací desce. Tyto informace jsou pak

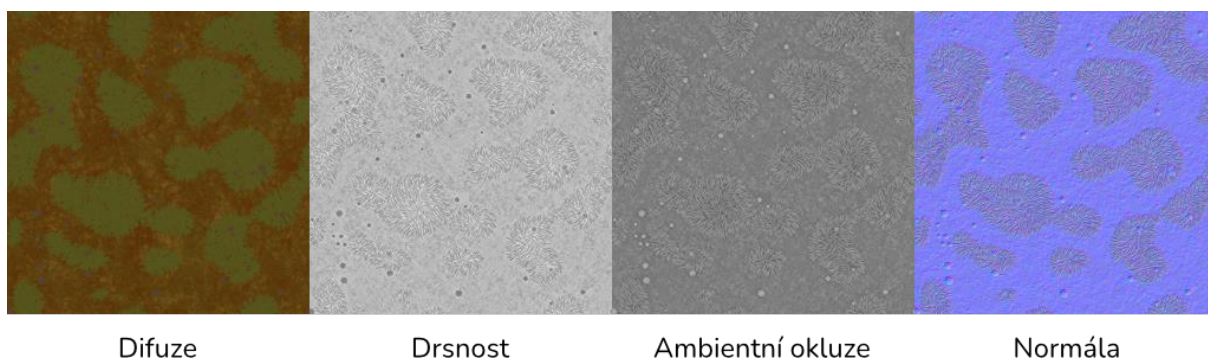
odeslány do tabletu. Přidáváním a odebíráním figur může hráč mapu kdykoliv měnit a v reálném čase ji tak aktualizovat. S mapou může uživatel dále interagovat. K dispozici má jednoduché menu, ve kterém se nacházejí ikony různých rostlin a stromů. Prostým přetažením ikony na mapu může v daném místě tuto rostlinu zasadit (v rozšířené realitě se mapě vykreslí 3d model dané rostliny). Na základě toho, v jakém biomu rostlinu vysadil potom může pozorovat, jak v něm daná rostlina bude růst (např. model břízy se, pokud je vysazen v poušti, po čase změní na uschlou břízu). Po konzultacích s pedagogy by bylo možné i tuto případovou studii dále rozšiřovat (například zjednodušeně simulovat počasí, dát uživateli možnost kontrolovat celkovou teplotu mapy a pozorovat tak efekty globálního oteplování nebo simulovat chování zvířat), nicméně jedná se spíše o podnět pro možný budoucí výzkum.



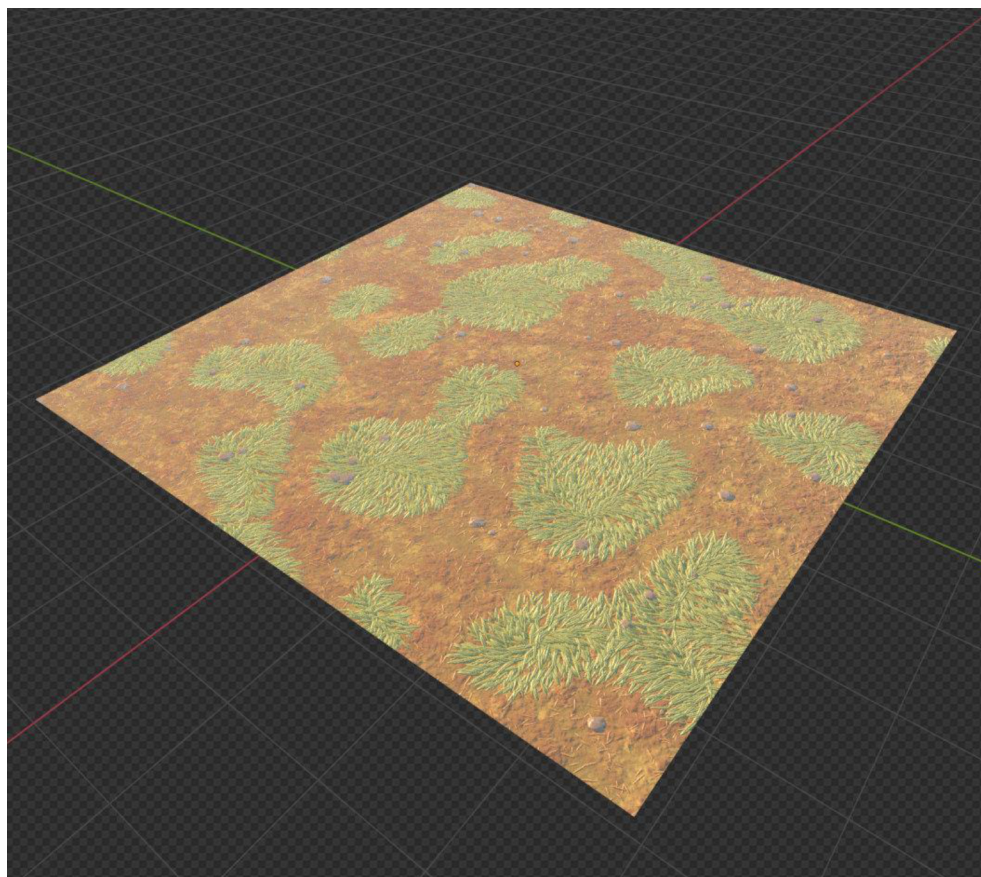
obr. 3-94 Testování prvního funkčního prototypu platformy

3.2.4 Grafické prvky

Jednotlivé grafické elementy pro hru byly realizovány ve spolupráci se studentem magisterského studia ateliéru Game design, UTB ve Zlíně BcA. Tadeášem Kříbkem. Student vytvořil textury pro povrchy jednotlivých biomů, včetně patřičných normálových a dalších map. Cílem bylo vytvořit jednotlivé elementy a textury s jistou mírou stylizace, protože vysoce realistické prvky by v daném měřítku nepůsobily dobře a zároveň by nebyly vhodné pro vykreslování na tabletu nebo mobilním telefonu, tedy na zařízeních s relativně malým výkonem. Stylizace zároveň umožní snazší rozpoznatelnost jednotlivých prvků i na menších displejích.



obr. 3-95 Příklad připravených textur, taiga



obr. 3-96 Renderovaná textura, taiga

Tímto způsobem byly textury realizovány pro veškeré biomy, které se ve hře v současné době nacházejí.

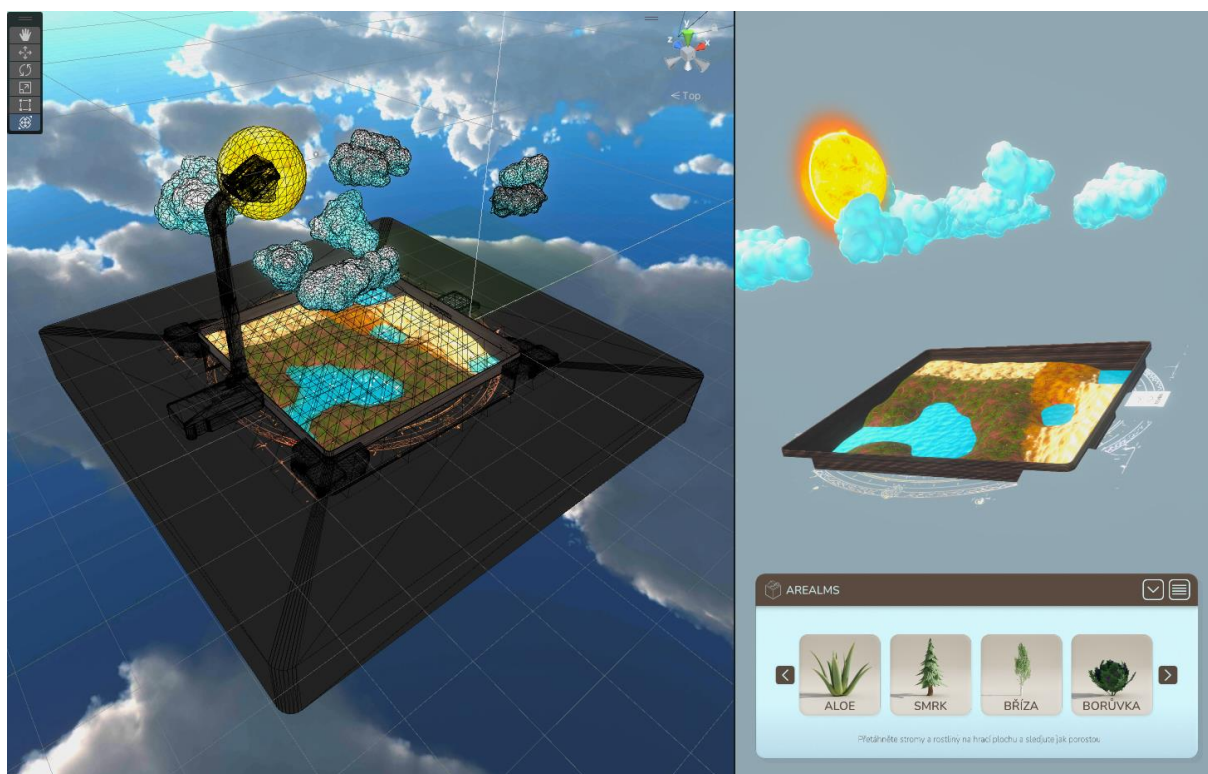
Pro každý biom bylo následně vybráno několik typů stromů a rostlin, které jsou v daných podmínkách typické. Konkrétně pro biom tajgy se jednalo o břízu, smrk a borůvku. Některé z rostlin pak samozřejmě mohou růst v různých biomech. Každá z těchto rostlin byla vymodelována v několika variantách od malé sazenice

až po plně vzrostlou. Každá má také svou suchou variantu, která se objeví na konci růstu v případě, že byla rostlina zasazena v nevhodném biomu.



obr. 3-97 Rostliny v různých fázích růstu, pouštní biom

Samotný terén je vložen do 3D modelu dřevěné krabice, která je pomocí masek vytvořena tak, aby působila, že je zapuštěna do stolu (nebo jiné plochy) ve skutečném světě. Původní systém materiálů pro tvorbu terénů, který je v Unity standardně používán tyto masky nepodporuje. Proto bylo nakonec použito placené rozšíření MicroSplat [60]. Tento systém zároveň podporuje i takzvané PBR renderování, což umožňuje uvěřitelnější vyobrazení. PBR renderování je založeno na fyzikálních zákonech a jejich vzorcích, tak aby při použití správných fyzikálních jednotek a veličin byla získána co nejvěrnější, z fyzikálního hlediska přesná, reprezentace materiálu a jeho světlených vlastností [61].

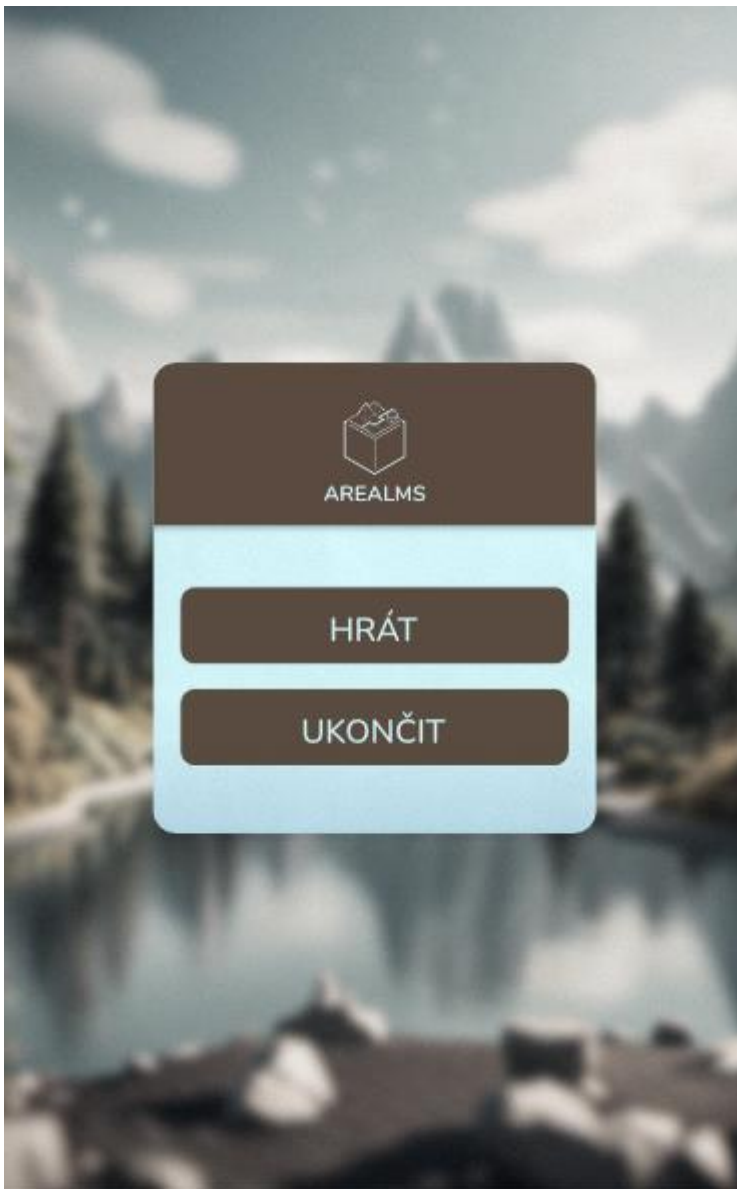


obr. 3-98 Terén v syntetickém prostředí Unity

3.2.5 Uživatelské rozhraní

Součástí vývoje aplikace byl i návrh jednoduchého uživatelského rozhraní. Cílem bylo vytvořit současně působící ovládací prvky, které budou vhodně barevně a tvarově komunikovat se zbytkem produktu. Jako základní barva byla zvolena hnědá #544438, která blízce připomíná barvu filamentu použitého na výrobu některých dílů. Jako doplňková barva byla zvolena světle modrá #CEF0F5.

Hlavní menu se skládá z okna s logem a dvou tlačítek. Na pozadí je použit obrázek generovaný umělou inteligencí a následně mírně upravený v grafickém programu.



obr. 3-99 Uživatelské rozhraní, hlavní menu

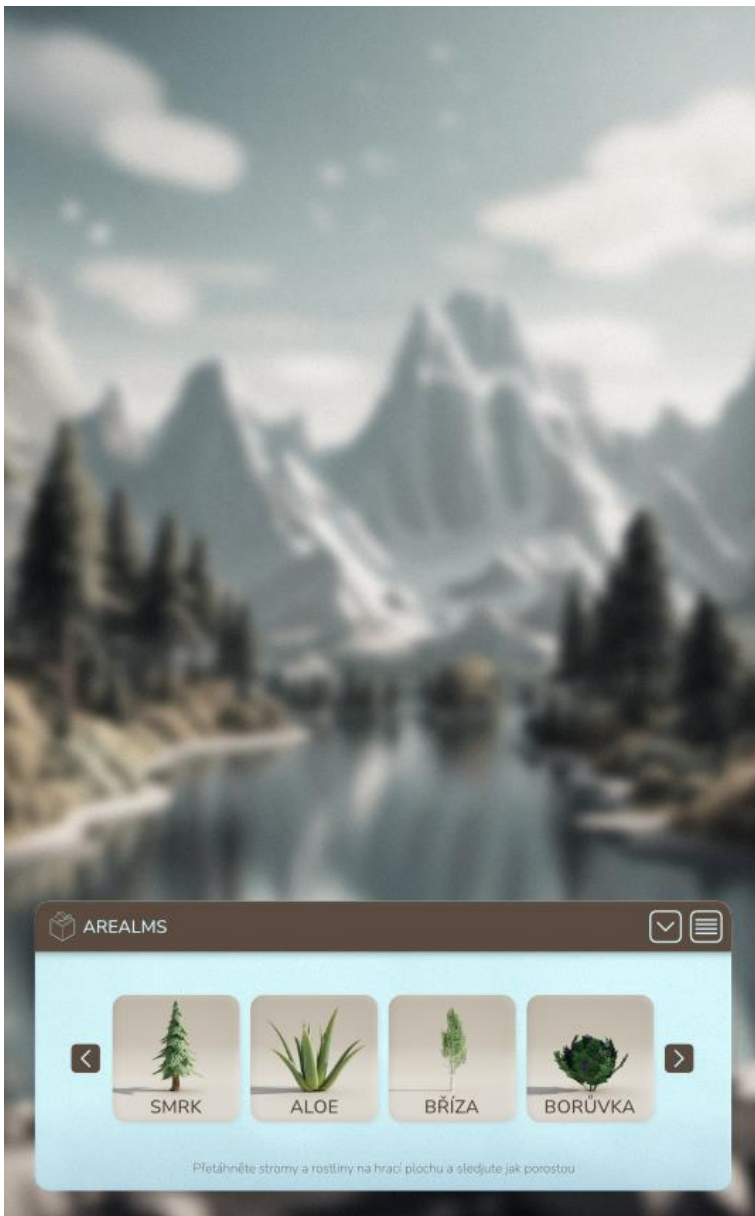
Druhá obrazovka reprezentuje stav po spuštění aplikace, kdy hrací deska ještě nebyla rozpoznána. Tato obrazovka sestává z loga umístěného ve čtverci se zaoblenými rohy a z výzvy k naskenování loga ve fyzickém světě pro zobrazení rozšířené reality.



obr. 3-100 Uživatelské rozhraní, výzva k naskenování loga

V obrázku výše je použito znovu generované pozadí pro lepší čitelnost grafiky, nicméně v aplikaci se na jeho místě zobrazuje skutečný obraz kamery.

Poslední obrazovku tvoří menu s ikonami jednotlivých rostlin a stromů. Ikony jsou záměrně velké, aby se aplikace snadno ovládala. Šipkami po stranách lze postupně procházet mezi různými ikonami. Šipka v horní části slouží k dočasnému schování menu tak, aby nerušilo obraz. Vedle ní se nachází poslední ikona, kterou je možné kdykoliv vyvolat menu.

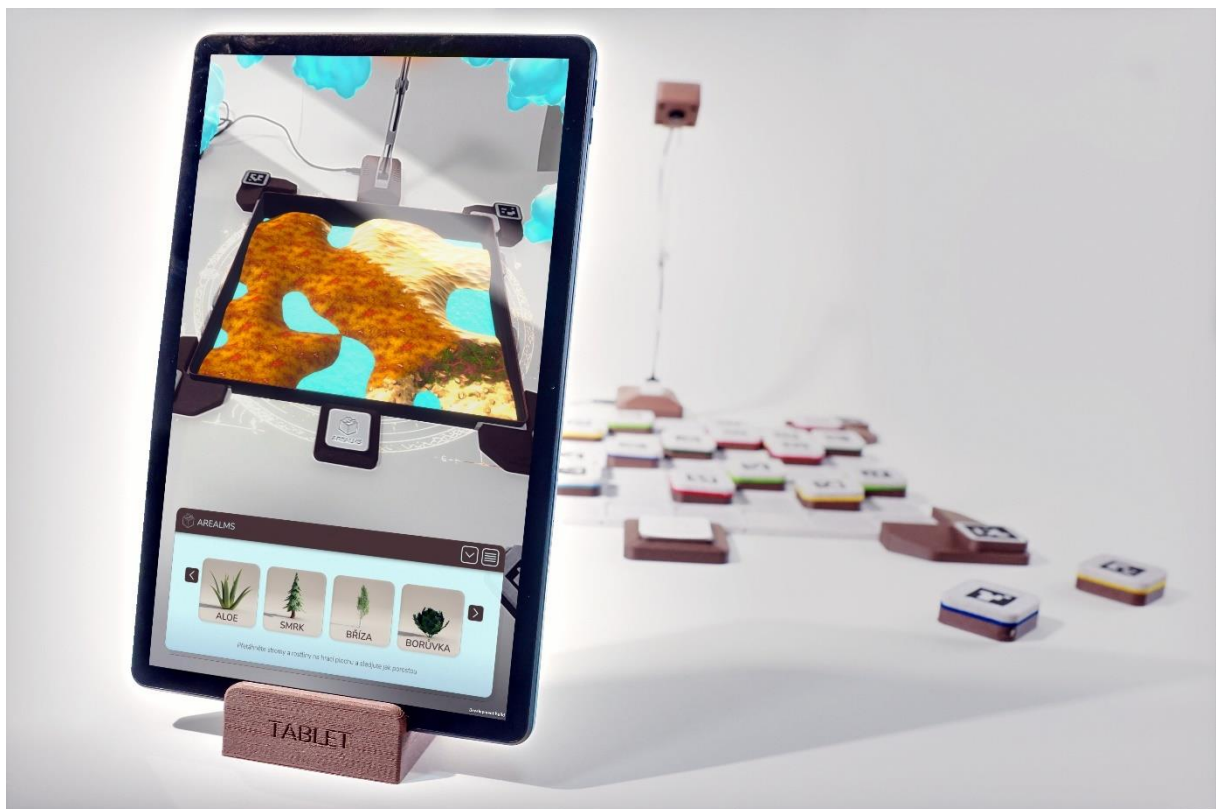


obr. 3-101 uživatelské rozhraní, menu s ikonami rostlin

4. Fotodokumentace finálního prototypu



obr. 4-1 Foto prototypu 2



obr. 4-2 Foto prototypu 3

5. Diskuze

Výsledný prototyp představuje unikátní řešení na poli rozšířené reality. v kontextu konkurenčních řešení vyčnívá především svou modularitou a víceúčelovostí. Přináší vysokou míru interaktivity, která dodnes není u podobných produktů obvyklá a zároveň filozoficky vhodně spojuje reálnou a virtuální složku, díky čemuž není použití rozšířené reality samoúčelné.

5.1 Psychologická, sociální, ekonomická a ekologická funkce

Produkt byl od počátku navrhován i s ohledem na dětského uživatele, jehož psychika je ohrožena daleko více než psychika dospělých lidí. Navržená koncepce tak předpokládá možný vzdělávací přesah, kdy využití obdobných produktů bude postupně více integrováno do výuky, vzhledem k plánům na zlepšení informační gramotnosti žáků. Open source povaha návrhu předpokládá možnost sestavit doma nebo ve školních podmínkách, což umožní lepší porozumění funkci a principům celého produktu. Navržená případová studie, v případě dalšího rozšíření a výzkumu, předpokládá možné budoucí nasazení přímo v pedagogickém procesu.

Podstatná je v tomto případě i haptická funkce, která zajišťuje lepší propojení s reálným světem. Přestože by některé součásti bylo možné redukovat do formy papírových kartiček a jejich funkce by byla zachována, jejich trojrozměrná forma zajišťuje přirozenější a uživatelsky pohodlnější interakci, a to jak pro dětského, tak i dospělého uživatele. Zároveň je tímto zajištěna i delší životnost produktu.

Z ekonomického hlediska je třeba říci, že open source přístup, který umožňuje výrobu produktu doma, jej také prodražuje. Nejdražšími položkami jsou v tomto případě mikropočítač a kamera. Vyšší je v tomto případě i cena za materiál, kdy kvůli 3D tisku je jeho spotřeba a cena o něco vyšší, než by byla v případě výroby běžnými metodami. Na druhou stranu je možné snadno vyrobit jakoukoliv část, která by se ztratila nebo rozbila, což je výhodné jak z ekologického, tak i ekonomického hlediska. v případě, že by se potřeby na výrobu jednoho produktu centralizovaly a uživatelé se zasílaly jako předpřipravená sada, bylo by možné jeho cenu výrazně redukovat. Nejlevnější by pak byla úplná sériová výroba, která by umožnila zkrácení času výroby i úspory materiálu. Nabízelo by se také vyvinutí vlastního mikropočítače, který by byl uzpůsoben speciálně účelu rozpoznávání figur, což by v dlouhodobém horizontu mohlo znamenat finanční úsporu. v případě sériové výroby by se předpokládaná prodejní cena mohla pohybovat mezi 3 000 až 4 000 Kč. Produkt je tak spíše určen pro vyšší střední třídu, která je ochotna investovat i do dražších hraček. Další cílovou skupinou jsou pak instituce jako jsou školy nebo jiná vzdělávací a naučná centra.

Ekologicky lze open source přístup považovat za velmi přínosný. Jak již bylo zmíněno, tento systém umožňuje uživateli snadnou opravu nebo doplnění sady bez nutnosti kupovat celý produkt. Zároveň uživatel dostává poměrně velkou svobodu v tom, jaké materiály a způsoby výroby může využít, což umožňuje lepší využití lokálních surovin a možností. Výroba vlastními silami zároveň zvyšuje uživatelův vztah k produktu, kdy si uvědomuje, kolik jeho výroba dala práce a více si ho tak váží. Lze tak očekávat vyšší životnost produktu. Pro výrobu prototypu byly záměrně zvoleny materiály s nižším ekologickým dopadem, tak aby produkt obstál v dnešní době, kdy se nároky a informovanost zákazníků v této problematice výrazně zvyšují.

5.2 Přínos pro vědu, výzkum, praxi

V teoretické části práce jsou zmapovány současně existující produkty využívající rozšířené reality, stejně jako zařízení, která ji umožňují zobrazovat. To může posloužit jako základ pro vývoj dalších produktů podobného zaměření. Důkladně jsou zmapovány možné způsoby detekce polohy herních figur a pro účely prototypu byl zvolen ten nejvhodnější z nich.

Podstatné jsou i pasáže zabývající se využitím umělé inteligence v designérském a programátorském procesu. Využití generovaných textur k tvorbě fyzických reliéfu je poměrně jedinečná záležitost, která ukazuje možné způsoby přímého využití současného stavu text to image generování v průmyslovém designu. Část věnovaná programování s pomocí umělé inteligence detailně popisuje metodu práce s ní a možná úskalí, která tento způsob práce přináší. Zvláštní důraz je zde kladen na zhodnocení toho, zda je nutné aby měl uživatel předchozí programátorské znalosti a zkušenosti.

Práce nabízí možný základ pro další výzkum, a to v různých vědeckých odvětvích. Celý koncept je možné dále rozvíjet z pedagogického hlediska a zkoumat možnosti jeho nasazení přímo ve výuce. Je také možné se zabývat možným rozšířením o složku ve virtuální realitě, případně dále rozšiřovat případovou studii o další funkce, které byly již dříve zmíněny. Nebo se nabízí vývoj dalších možných variant, z nichž některé byly nastíněny v textu práce.

V neposlední řadě je možné dále pokračovat ve vylepšování způsobu detekce figur na hrací ploše. Současný způsob optické detekce je sice funkční, ale přesto dochází k občasným výpadkům signálu. Tento problém by možné řešit například naprogramováním filtru, který by tyto krátkodobé výpadky dokázal kompenzovat. Alternativně se také nabízí možnost zkoumat i jiné typy detekce, než je optická. v rámci práce byla přímá detekce figur elektronicky přímo z hrací desky zavrhnuta jako příliš nákladná. Pokud by se však podařilo vyvinout levnější řešení,

jednalo by se o elegantní řešení, které by pravděpodobně mělo ještě vyšší spolehlivost detekce.

6. Závěr

Všechny cíle disertační práce byly splněny. Výstupem je funkční prototyp víceúčelové modulární platformy včetně případové studie ve formě aplikace, která slouží jako studie proveditelnosti. Oproti současným produktům je hlavním přínosem této platformy právě její možná víceúčelovost, a také vyšší míra interaktivity, než je u obdobných produktů běžné. Případová studie může sloužit jako výukový nástroj pro přírodopis a zeměpis. Vývoj alternativních aplikací může sloužit jako vstupní bod pro navazující výzkum.

Spolupráce s FAI UTB a ateliérem Game design FMK UTB přinesla zajímavá technická a vizuální řešení a poskytla dvěma studentům možnost pracovat na větším projektu a pomoci ho dotáhnout až k funkčnímu prototypu.

Z designérského hlediska práce přináší ucelený produkt, který je díky modulární povaze snadno skladný a z funkčního hlediska přehledný. Klíčová je jeho možná rozšiřitelnost a škálovatelnost počtu herních figur. U prototypu se předpokládá možná domácí výroba, kdy by mohl být distribuován ve formě open source, což by umožnilo i rychlejší budoucí vývoj. Nelze však vyloučit ani možnost sériové výroby, která by byla možná po drobných úpravách jednotlivých součástí.

7. Seznam použitých zkratek a symbolů

obr.	Obrázek
AR	Augmented reality
VR	Virtual reality
XR	Extended reality
GPS	Global Positioning System
PC	Personal computer
Kč	Koruna česká
LiDAR	Light Detection And Ranging
mm	milimetr
PLA	Polylactic acid
C#	Typ programovacího jazyku

9. Bibliografie

- [1] Výzkum od stolu. In: *Masarykova univerzita* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: kisk.phil.muni.cz/100metod/vyzkum-od-stolu
- [2] Rozhodovací matice. In: *Masarykova univerzita* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://kisk.phil.muni.cz/100metod/rozhodovaci-matice>
- [3] SOUKOPOVÁ, Jana. *Vícekritériální metody hodnocení*. Brno, 2013. Dostupné také z: is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MKV_VZVP/um/33149329/Studijni_text_metody_vicekriterialniho_rozhodovani.pdf
- [4] Expertní rozhovor. In: *Masarykova univerzita* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: kisk.phil.muni.cz/100metod/expertni-rozhovor
- [5] *Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping*. Liberec, 2012. Dostupné také z: www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/P%C5%99ehled%20technik%20vyu%C5%BE%C3%ADvan%C3%BDch%20p%C5%99i%20Rapid%20Prototyping.pdf
- [6] LIDWELL, William, Kritina HOLDEN a Jill BUTLER. *Univerzální principy designu: 125 způsobů jak zvýšit použitelnost a přitažlivost a ovlivnit vnímání designu*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3540-2.
- [7] Hračky a zdraví. In: *Národní zdravotnický informační portál* [online]. Státní zdravotní ústav, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: www.nzip.cz/clanek/165-hracky-a-zdravi
- [8] Beyond AR vs. VR: What is the Difference between AR vs. MR vs. VR vs. XR?. In: *Interaction design foundation* [online]. 2022 [cit. 2022-12-12]. Dostupné z: <https://www.interaction-design.org/literature/article/beyond-ar-vs-vr-what-is-the-difference-between-ar-vs-mr-vs-vr-vs-xr>

- [9] AZUMA, Ronald. A survey of augmented reality. *Presence: teleoperators & virtual environments*. 1997, **6**(4), 355-385.
- [10] *Pokémon GO* [online]. Niantic, Inc., 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://pokemongolive.com/>
- [11] Lapras. In: *TechCrunch: Startup and Technology News* [online]. Yahoo, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/wp-content/uploads/2017/12/lapras-2.png>
- [12] Pokémon GO. In: *Cool magazin* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://c1.primacdn.cz/sites/default/files/6/6e/5032228-poka.jpg>
- [13] Minecraft Earth. In: *Google Play* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://play-lh.googleusercontent.com/1QP36EeTNUU6jWg0LvvrRdQ3bnfWEj4HK5EdiMgbmePGYo5AyOD2bI887ERLMftA98w=w1565-h969-rw>
- [14] The world map is based on OpenStreetMap, and is populated by tappables and Adventures. In: *IGN* [online]. IGN Entertainment, Inc., 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://oyster.ignings.com/wordpress/stg.ign.com/2019/09/Minecraft-Earth-OpenStreetMap-1-IGN-720x517.jpg?fit=bounds&width=1280&height=720>
- [15] Microsoft. In: *Insider* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://i.insider.com/557f133decad041b7ea257cd?width=700&format=jpeg&auto=webp>
- [16] People are going crazy for this holographic version of 'Minecraft'. In: *Insider* [online]. 2022 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: www.insider.com/minecraft-for-hololens-2015-6
- [17] AR Tanks: Build & Battle Tanks in AR!. In: *App Store* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: apps.apple.com/us/app/ar-tanks/id1419210354

- [18] *Stavebnice s technologií rozšířené reality | LEGO® Hidden Side* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: www.lego.com/cs-cz/themes/hidden-side/about
- [19] J.B.'s Ghost Lab. In: *Domovská stránka | Oficiální obchod LEGO® CZ* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: www.lego.com/en-us/product/j-b-s-ghost-lab-70418
- [20] Jak používat aplikaci rozšířené reality | LEGO® Hidden Side™. In: *Domovská stránka | Oficiální obchod LEGO® CZ* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: www.lego.com/cs-cz/themes/hidden-side/ar-games
- [21] LEGO® VIDIYO™ | Tvůrce hudebních videoklipů | Oficiální prodejna LEGO. In: *Domovská stránka | Oficiální obchod LEGO® CZ* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: www.lego.com/cs-cz/themes/vidiyo/about
- [22] Lego Vidiyo review. In: *Stuff* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.stuff.tv/wp-content/uploads/sites/2/2021/02/lego-vidiyo-lead.jpg?resize=1080,810>
- [23] Party Llama BeatBox. In: *Domovská stránka | Oficiální obchod LEGO® CZ* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: www.lego.com/cs-cz/product/party-llama-beatbox-43105
- [24] Mario Kart Live: Home Circuit – Official Site. In: *Nintendo Official Site: Consoles, Games, News, and More* [online]. Redmond, 2022 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: mklive.nintendo.com
- [25] Nintendo Mario Kart Live Home Circuit - Mario (SWITCH). In: *MALL.CZ* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: www.mall.cz/hry-pc-konzole/nintendo-mario-kart-live-home-circuit-mario-100068791424
- [26] NOVÝ TRAILER BLÍŽE PŘEDSTAVUJE NOVINKU MARIO KART LIVE: HOME CIRCUIT NA NINTENDO SWITCH. In: *Mojenintendo.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z:

www.mojenintendo.cz/news/novy-trailer-blize-predstavuje-novinku-mart-kart-live-home-circuit-na-nintendo-switch/

- [27] *Education system using augmented reality*. Korea. KR102463364. Uděleno 7.11.2022. Dostupné také z:
https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=KR&NR=102463364B1&KC=B1&FT=D&ND=3&date=20221107&DB=EP ODOC&locale=cz_CZ
- [28] JONG WON, LEE. *SOFTWARE CODING EDUCATIONAL SERVICE SYSTEM USING VARIABLE SMART BLOCKS AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY*. KR20220126948. Uděleno 19.9.2022. Dostupné také z:
https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=KR&NR=20220126948A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20220919&DB=EP ODOC&locale=cz_CZ
- [29] JONG WON, LEE. *EPL Modular physical block-based EPL augmented reality simulator system*. Korea. Uděleno 18.5.2022. Dostupné také z:
https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=KR&NR=20220041579A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20220401&DB=EP ODOC&locale=cz_CZ
- [30] SEDLÁK, Jan. *Legendární programovací jazyk Karel se po čtyřiceti letech vrací v nové verzi*. Česká Republika, 2021. Dostupné také z:
<https://www.lupa.cz/aktuality/legendarni-programovaci-jazyk-karel-se-po-ctyriceti-letech-vraci-v-nove-verzi/>
- [31] MUTHYALA, SIDDHARTH, JAN VAN BEEK HARM, LASORNE, FRANTZ GUYON a JENSEN MIKKEL HOLM. *TOY CONSTRUCTION SYSTEM FOR AUGMENTED REALITY*. USA. US2022105440. Uděleno 4.7.2022. Dostupné také z:
https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2022105440A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20220407&DB=EP ODOC&locale=cz_CZ

- [32] KEEFE, JOHN ALEXANDER a ANDREW JOSEPH COOPER. *JP2022130648 (A) - AUGMENTED REALITY TOY*. Japonsko. JP20220106751 20220701. Uděleno 6.9.2022. Dostupné také z: https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=JP&NR=2022130648A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20220906&DB=EPODOC&locale=cz_CZ
- [33] Google AR & VR | ARCore. In: *Google* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: arvr.google.com/arcore/
- [34] Augmented Reality - Apple Developer. In: *Apple* [online]. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: developer.apple.com/augmented-reality/
- [35] *Vuforia Engine Overview*. Boston, Massachusetts, USA, 2023. Dostupné také z: <https://library.vuforia.com/getting-started/vuforia-features>
- [36] *Holokit* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: holokit.io
- [37] *Meta Quest 2* [online]. 2022 [cit. 2022-06-11]. Dostupné z: www.meta.com/quest/products/quest-2/
- [38] This is Meta Quest Pro. In: *Meta* [online]. United States, 2023 [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/quest-pro/>
- [39] ŠURKALA, Milan. Microsoft popírá ukončení vývoje AR headsetu Hololens 3. In: *Svět hardware* [online]. 2022 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: www.svethardware.cz/microsoft-popira-ukonceni-vyvoje-ar-headsetu-hololens-3/57011
- [40] *HoloLens 2* [online]. 2022 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: www.microsoft.com/en-us/hololens/buy
- [41] POSPÍŠIL, Jan. Vyzkoušeli jsme Microsoft HoloLens 2. Napravují zásadní nedostatky první generace. In: *Mobilenet.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: mobilenet.cz/clanky/vyzkouseli-jsme-microsoft-hololens-2-napravuji-zasadni-nedostatky-prvni-generace-37291

- [42] *Magic leap 1* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: www.magicleap.com/magic-leap-1
- [43] Vision Pro. In: *Apple* [online]. Cupertino, United States, 2023 [cit. 2023-08-05]. Dostupné z: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>
- [44] HANÁČEK, Tomáš. *Detekce objektů v obraze pro rozšířenou realitu*. Zlín, 2023. Bakalářská práce. Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.
- [45] Detection of ArUco Markers. In: *Home - OpenCV* [online]. 2022 [cit. 2022-11-14]. Dostupné z: docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html
- [46] Fillamentum NonOilen®. In: *Fillamentum NonOilen®* [online]. Hulín, 2023 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.fillamentumnonoilen.com/cs/filament-nonoilen/>
- [47] *Furniture linoleum*. Krommenie, Nizozemsko, 2020. Dostupné také z: https://forbo.blob.core.windows.net/forbodocuments/15212/Forbo_Furniture%20Linoleum%20brochure_EN-IS_2020.pdf
- [48] BOOTS, Bas, Connor William RUSSELL a Dannielle Senga GREEN. Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground. *Environmental Science & Technology*. 2019, **53**(19), 11496-11506. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.9b03304
- [49] PI4 4GB BULK. In: *Distrelec Česká republika* [online]. 2023 [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/raspberry-pi-5ghz-quad-core-4gb-ram-raspberry-pi-pi4-4gb-bulk/p/30152781>
- [50] Arducam 12Mpx IMX477 kamerový modul. In: *RPishop.cz* [online]. Roudné, Česká Republika, 2023 [cit. 2023-07-18]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/mipi-kamerove-moduly/3386-arducam-12mpx-imx477-kamerovy-modul.html>
- [51] SAHARIA, Chitwan, William CHAN, Saurabh SAXENA et al. Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language

- Understanding. *ArXiv*. 2022, **220511487**. Dostupné také z:
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:248986576>
- [52] *Generative Artificial Intelligence and Copyright Law*. 4. Washington DC, 2023. Dostupné také z:
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/LSB/LSB10922>
- [53] Best Practices for Designing and Developing Image-Based Targets. In: *Vuforia Library* [online]. 2023 [cit. 2023-07-21]. Dostupné z:
<https://library.vuforia.com/objects/best-practices-designing-and-developing-image-based-targets>
- [54] ALJANABI, Mohammad, Mohanad GHAZI, Ahmed Hussein ALI, Saad Abas ABED a OTHERS,. ChatGPT: open possibilities. *Iraqi Journal For Computer Science and Mathematics*. 2023, **4(1)**, 62-64.
- [55] *Polynomy a interpolace*. Brno, 2012. Dostupné také z:
https://is.muni.cz/el/1433/jaro2012/MB102/31659318/polynomy_interpolace.pdf
- [56] HAVELKA, Jan. *Geometrické transformace obrazu*. Brno, 2008. Bakalářská práce. FIT VUT v Brně.
- [57] BURGER, Wilhelm a Mark J. BURGE. *Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction*. 3. Švýcarsko: Springer Cham, 2022. ISBN 978-3-031-05743-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-031-05744-1
- [58] HARRIS, Duncan a Alex WILTSHIRE. *Making Videogames: The Art of Creating Digital Worlds*. 1. Londýn: Thames & Hudson, 2022, 256 s. ISBN 9780500023143.
- [59] PERLIN, Ken. An image synthesizer. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. 1985, **19(3)**, 287-296. ISSN 0097-8930. Dostupné z: doi:10.1145/325165.325247
- [60] *MicroSplat*. San Francisco CA 94103 USA, 2023. Dostupné také z:
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/terrain/microsplat-96478>

- [61] PHARR, M, W JAKOB a G HUMPHREYS. *Physically Based Rendering, fourth edition: From Theory to Implementation: From Theory to Implementation*. MIT Press, 2023. ISBN 9780262048026. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=i9d2EAAAQBAJ>

10. Seznam obrázků

obr. 2-1	Hra Pokémon GO [11]	18
obr. 2-2	Mapa Pokémon GO [12]	20
obr. 2-3	Minecraft Earth Mapa [14]	21
obr. 2-4	Minecraft Earth [13]	22
obr. 2-5	Minecraft pro Hololens [15]	23
obr. 2-6	AR Tanks [17]	24
obr. 2-7	AR Tanks [17]	25
obr. 2-8	LEGO Hidden side [19]	27
obr. 2-9	LEGO Hidden side [20]	28
obr. 2-10	LEGO VIDIYO [22]	29
obr. 2-11	LEGO VIDIYO [23]	30
obr. 2-12	Mario Kart Live [25]	32
obr. 2-13	Mario Kart Live [26]	33
obr. 2-14	Education system using augmented reality [27]	36
obr. 2-15	Augmented reality-based educational programming language authoring system using block smart toys [29]	37
obr. 2-16	Toy construction systém for augmented reality [31]	38
obr. 2-17	Augmented reality toy [32]	39
obr. 2-18	HoloKit [36]	43
obr. 2-19	Meta Quest 2 [37]	44
obr. 2-20	Meta Quest Pro [38]	45
obr. 2-21	HoloLens 2 [40]	46
obr. 2-22	Magic Leap 1 [42]	47
obr. 2-23	Apple Vision Pro [43]	48
obr. 3-1	Ukázka detekce pomocí barvy [44]	56
obr. 3-2	Detekce tvaru [44]	57
obr. 3-3	Detekce pomocí ArUco markers [44]	58
obr. 3-4	Prvotní vizualizace koncepce projektu	60
obr. 3-5	Prvotní vizualizace hracích figur	61
obr. 3-6	Hrací deska, varianta 2	63
obr. 3-7	Hrací figura, varianta 2, dřevo/porcelán	64
obr. 3-8	Hrací figura, varianta 2, Ne-Ro/NonOilen	65
obr. 3-9	Hrací deska, iterace 1, rozměrový náčrt	67
obr. 3-10	Hrací deska, iterace 2, rozměrový náčrt	68
obr. 3-11	Hrací deska, iterace 2.1	69

obr. 3-12	Hrací deska, iterace 3	70
obr. 3-13	Hrací deska, iterace 3, 3D tisk, NonOilen	71
obr. 3-14	Hrací deska, iterace 3, systém skladování	72
obr. 3-15	Hrací deska, iterace 3.1, systém skladování s vyme- zovacím prvkem	73
obr. 3-16	Hrací deska, iterace 4	74
obr. 3-17	Hrací deska, finální 3D tisk	75
obr. 3-18	Hrací deska, iterace 4, systém skladování	76
obr. 3-19	Hrací deska, finální systém skladování	77
obr. 3-20	Srovnání možných metod 3D tisku herních figur	78
obr. 3-21	ArUco markery z přírodního linolea Forbo furniture linoleum ...	81
obr. 3-22	Spodní část figury, PLA Vertigo grey	82
obr. 3-23	Spodní část figury, NeRo, pozitiv, forma a finální odlitek	83
obr. 3-24	Spodní část figury, NeRo	84
obr. 3-25	Spodní část figury, NeRo filament	85
obr. 3-26	Spodní část figury, Fillamentum Timberfill Rosewood	86
obr. 3-27	Svrchní díl figury, srovnání NonOilen (vlevo) a PLA Light ivory	87
obr. 3-28	Svrchní díl figury, porcelánový výpalek	89
obr. 3-29	Herní figura, Fillamentum PLA Turkey egg	90
obr. 3-30	Herní figury, finální varianty	92
obr. 3-31	Vymezovač hrací plochy, iterace 1, rozměrový náčrt	93
obr. 3-32	Vymezovač hrací plochy, iterace 2, rozměrový náčrt	94
obr. 3-33	Vymezovač hrací plochy, iterace 2.1, Fillamentum PLA Vertigo grey	95
obr. 3-34	Vymezovač hrací plochy, iterace 3, rozměrový náčrt	96
obr. 3-35	Vymezovač hrací plochy, finální varianta	97
obr. 3-36	Raspberry Pi 4B [49]	98
obr. 3-37	Kryt na mikropočítač, iterace 1, rozměrový náčrt	98
obr. 3-38	Redukce MIPI FFC na HDMI	99
obr. 3-39	Kryt na mikropočítač, iterace 2, rozměrový náčrt	100
obr. 3-40	Kryt na mikropočítač, spojovací díl, rozměrový náčrt	101
obr. 3-41	Kryt na mikropočítač, finální varianta	101
obr. 3-42	Kamerový modul Arducam 12Mpx IMX 477 [50]	102
obr. 3-43	Kryt kamery, iterace 1, rozměrový náčrt	103
obr. 3-44	Kryt kamery, iterace 1, Fillamentum PLA Vertigo grey	103
obr. 3-45	Kryt kamery, iterace 2, rozměrový náčrt	104

- obr. 3-46** Kryt kamery, finální varianta 105
- obr. 3-47** Rameno pro upevnění kamery, iterace 1, rozměrový náčrt 106
- obr. 3-48** Rameno pro upnutí kamery, iterace 1, Fillamentum PLA Vertigo grey 107
- obr. 3-49** Rameno pro uchycení kamery, iterace 2, rozměrový náčrt 108
- obr. 3-50** Rameno pro uchycení kamery, iterace 2, Fillamentum NonOilen 109
- obr. 3-51** Rameno pro uchycení kamery, iterace 3 110
- obr. 3-52** Rameno pro uchycení kamery, iterace 3,1, rozměrový náčrt 111
- obr. 3-53** Rameno pro uchycení kamery, finální varianta 112
- obr. 3-54** Nosič markeru pro rozšířenou realitu, finální varianta 113
- obr. 3-55** Stojan na tablet, iterace 1, rozměrový náčrt 114
- obr. 3-56** Stojan na tablet, finální varianta 115
- obr. 3-57** Vysokohorský biom s tibetským ornamentem, generovaný výstup, Stable Diffusion 118
- obr. 3-58** Les mírného pásma s evropským ornamentem, generovaný výstup, Stable Diffusion 119
- obr. 3-59** Les mírného pásma, šišky, generovaný výstup, Stable Diffusion 121
- obr. 3-60** Poušť, písečné duny, generovaný výstup, Stable Diffusion 122
- obr. 3-61** Džungle, viditelné vizuální artefakty v podobě vodoznaku, generovaný výstup, Midjourney 123
- obr. 3-62** Džungle, listy, generovaný výstup, Stable Diffusion 124
- obr. 3-63** Tundra/tajga, krystaly ledu, generovaný výstup, Stable Diffusion 125
- obr. 3-64** Tundra/tajga, sněhová bouře, generovaný výstup, Stable Diffusion 126
- obr. 3-65** Savana, zebra, generovaný výstup, Midjourney 127
- obr. 3-66** Vysokohorské pásmo, pohled shora, generovaný výstup, Stable Diffusion 128
- obr. 3-67** Finální tvarové řešení 129
- obr. 3-68** Zapojení USB-C 130
- obr. 3-69** Zapojení HDMI 131
- obr. 3-70** Zapojení kamery 131
- obr. 3-71** Figury na hrací ploše 132
- obr. 3-72** Loga, prvotní variantní studie 134

obr. 3-73	Loga, iterace 2	135
obr. 3-74	Logo, finální iterace	136
obr. 3-75	Skript přijímající data z Raspberry Pi	138
obr. 3-76	Příkaz pro umělou inteligenci 1	139
obr. 3-77	Část výstupu umělé inteligence	140
obr. 3-78	Příkaz pro umělou inteligenci 2	141
obr. 3-79	Příkaz pro umělou inteligenci 3	141
obr. 3-80	Část výstupu umělé inteligence 2	142
obr. 3-81	Výstup umělé inteligence, Gaussův filtr	143
obr. 3-82	Výstup umělé inteligence, Perlinův šum	143
obr. 3-83	Příkaz pro umělou inteligenci 3	144
obr. 3-84	Skript vytvořený umělou inteligencí, splatmap	145
obr. 3-85	Příkaz pro umělou inteligenci 4	146
obr. 3-86	Odpověď umělé inteligence, využití Detail layer	147
obr. 3-87	Chybové hlášení, komunikace s umělou inteligencí	147
obr. 3-88	Komunikace s umělou inteligencí, alternativy ukládání dat	148
obr. 3-89	Příkaz pro umělou inteligenci 5	149
obr. 3-90	Příkaz pro umělou inteligenci 6	149
obr. 3-91	Příkaz pro umělou inteligenci 7	150
obr. 3-92	Ukázka z testování detekce pomocí obrázku	152
obr. 3-93	Ukázka z testování detekce pomocí 3D objektu	153
obr. 3-94	Testování prvního funkčního prototypu platformy	154
obr. 3-95	Příklad připravených textur, taiga	155
obr. 3-96	Renderovaná textura, taiga	155
obr. 3-97	Rostliny v různých fázích růstu, pouštní biom	156
obr. 3-98	Terén v syntetickém prostředí Unity	157
obr. 3-99	Uživatelské rozhraní, hlavní menu	158
obr. 3-100	Uživatelské rozhraní, výzva k naskenování loga	159
obr. 3-101	uživatelské rozhraní, menu s ikonami rostlin	160
obr. 4-1	Foto prototypu 2	161
obr. 4-2	Foto prototypu 3	161

11. Seznam tabulek a grafů

tab. 2-1 Vícekriteriální analýza současných produktů na trhu	34
tab. 2-2 Vícekriteriální analýza zobrazovacích technologií	49

12. Seznam příloh

Životopis autora

Publikační a umělecké aktivity autora

Samostatné přílohy:

Fyzický model

3D modely ve formátu .stl

Unity projekt

Aplikace ve formátu .apk



Štěpán Dlabaja

🏠 **Domů** : Pod Strání 767, 76001, Zlín, Česko

✉ **E-mail:** sdlabaja@utb.cz ☎ **Telefon:** (+420) 774110495

Datum narození: 03/11/1995 **Státní příslušnost:** Česká republika

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

[10/2022 – Aktuální]

Programátor, grafik

Motica games

Město: Brno

Země: Česko

- Vývojher pro třetí strany
- Zpracování grafických podkladů

[02/2023 – Aktuální]

Externí spolupracovník - programátor, grafik

VR|SPACE

Město: Brno

Země: Česko

Vývoj AR aplikací

[2019 – 12/2021]

Designér

Leitners s.r.o.

Město: Brno

Země: Česko

Design produktů, firemní identita, 3D vizualizace

[2018 – 2019]

Designér, programátor

Creative Teapot s.r.o.

Město: Brno

Země: Česko

Programování rozšíření pro software Blender, součást stáže Vzdělávání praxí

[2017 – 2018]

Programátor

MONET+, a.s.

Město: Zlín

Země: Česko

Programování webových stránek pomocí technologie Angular

[2014 – 2015]

Programátor, elektrotechnik

Otevřená věda, UTB

Město: Zlín

Země: Česko

Středoškolská stáž zaměřená na vývoj snímače teploty na prst

VZDĚLÁNÍ A ODBORNÁ PŘÍPRAVA

[2020 – Aktuální]

Doktorské studium

Fakulta multimediálních komunikací, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně <https://www.utb.cz/>

Adresa: nám. T. G. Masaryka 5555, 76001, Zlín, Česko

[2015 – 2020]

Magisterské studium

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně www.vut.cz

Adresa: Antonínská 548/1, 60190, Brno, Česko

[2007 – 2015]

Maturitní vzdělání

Gymnázium Zlín - Lesní čtvrť www.gymzl.cz

Adresa: Lesní čtvrť III 1364, 76001, Zlín, Česko

ZNALOST JAZYKŮ

Mateřský jazyk/jazyky: čeština

Další jazyk(y):

angličtina

POSLECH C1 ČTENÍ C1 PSANÍ B2

SAMOSTATNÝ ÚSTNÍ PROJEV B2 MLUVENÁ KOMUNIKACE B2

němčina

POSLECH B1 ČTENÍ B1 PSANÍ B1

SAMOSTATNÝ ÚSTNÍ PROJEV B1 MLUVENÁ KOMUNIKACE B1

Úrovně: A1 a A2: uživatel základů jazyka (začátečník), B1 a B2: samostatný uživatel (mírně pokročilý), C1 a C2: zkušený uživatel (pokročilý)

DIGITÁLNÍ DOVEDNOSTI

Kancelářský software

MS Windows | MS Office

Grafický software

Adobe Photoshop | Adobe Illustrator | Adobe After effects | Grasshopper | Rhinoceros | Blender | Keyshot | 3ds Max

Programování/Game development

Unity | Javascript | Python | C#

VYZNAMENÁNÍ A OCEŇENÍ

[18/07/2021]

C-IDEA2020 - Golden Award Udělující instituce: C-IDEA DESIGN UNION

Ocenění za design hodinek Leitners Ad Maiora

TVŮRČÍ ČINNOST

[05/10/2022 – 09/10/2022]

Na Mars!

Realizační výstavy v rámci Designbloku 2022

- Návrh dvou vystavených exponátů
- Realizace VR výstavy
- Realizace webu

Odkaz: <https://namars.fmk.utb.cz/>

[12/2021 – 01/2022] **Půjdem spolu do Betléma**

Účast na výstavě Půjdem spolu do Betléma

- Realizace figur tří králů a pastýře s ovečkami

[12/07/2023 – 30/08/2023] **PROMPTnations**

Účast na mezinárodní výstavě děl generovaných pomocí umělé inteligence.

Odkaz: promptnations.fmk.utb.cz

Publikační a umělecká činnost autora

Štěpán Dlabaja | 2023



Leitners Ad Maiora

BLY / 50 %

Návrh hodinek Ad Maiora byl pro společnosti Leitners Watch s.r.o. realizován v autorské spolupráci s Ing. Tomášem Paškou.

Projekt získal ocenění C-IDEA Gold Award 2020.



Brožura k výstavě Aquademiq

CLY / 10 %

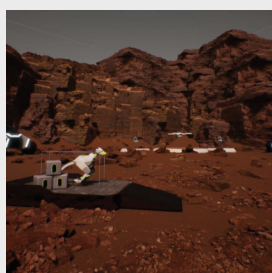
Brožura k výstavě ateliéru Průmyslový design na EXPO 2020 v Dubaji.



Na Mars! - kolekce produktů

BLZ / 25 %

Realizace dvou produktů vystavovaných v rámci ateliérového projektu Na Mars! Na Designbloku 2022.



Na Mars! - VR výstava a web

AKZ / 25 %

Realizace VR výstavy a webu v rámci ateliérového projektu Na Mars! Na Designbloku 2022.



Na Mars! - Brožura

CMZ / 25 %

Brožura k výstavě v rámci ateliérového projektu Na Mars! Na Designbloku 2022.

Publikační a umělecká činnost autora

Štěpán Dlabaja | 2023



Awincado - maskot

CMZ / 99 %

Realizace maskota pro společnost Awincado s.r.o.



Půjdem spolu do Betléma! - Tři králové

CMZ / 99 %

Tři králové vytvoření pro projekt Půjdem spolu do Betléma, který byl opencallem a společnou vánoční výstavou Fakulty multimediálních komunikací UTB ve Zlíně v roce 2021.



Půjdem spolu do Betléma! - Pastýř a ovečky

CMZ / 99 %

Pastýř a jeho ovečky vytvoření pro projekt Půjdem spolu do Betléma, který byl opencallem a společnou vánoční výstavou Fakulty multimediálních komunikací UTB ve Zlíně v roce 2021.

Ing. Štěpán Dlabaja

Design dětské hračky na principu rozšířené reality

Design of a toy using augmented reality

Disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Ing. Štěpán Dlabaja

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2023