**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** **B0715A270013 – Strojní inženýrství**

**Studijní specializace:** **Průmyslové inženýrství a management**

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Tvorba edukační aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř**

Autor: Anne-Maria Kasipovićová

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Bednář

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Anne-Maria KASIPOVIĆOVÁ** |
| Osobní číslo: | **S20B0153P** |
| Studijní program: | **B0715A270013 Strojní inženýrství** |
| Specializace: | **Průmyslové inženýrství a management** |
| Téma práce: | **Tvorba edukační aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř** |
| Zadávající katedra: | **Katedra průmyslového inženýrství a managementu** |

## Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Tvorba 3D modelů určených pro využití ve virtuální realitě
3. Implementace 3D modelů do Unity3D
4. Návrh scénáře aplikace
5. Popis vytvořené aplikace
6. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:


1. LINOWES, Jonathan. *Unity Virtual Reality Projects: Learn Virtual Reality by developing more than 10 engaging projects with Unity 2018.* 2nd Edition. Packt Publishing, 2018. ISBN 978-1788478809.
2. *Oficiální Unity3D návody dostupné na https://learn.unity.com/*
3. SHERMAN, William R., CRAIG, Alan B. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design.* 2nd edition. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann, 2019. ISBN 0128183993.
4. SIMONDS, Ben. *Blender master class : a hands-on guide to modeling, sculpting, materials and rendering.* San Francisco: No Starch Press, 2013. ISBN 978-1-59327-477-1.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Bednář**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Kubr**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**
děkan

**Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2022

# Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: …….  ……..

podpis autora

# Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Miroslavu Bednářovi za pomoc, ochotu a čas věnovaný při tvorbě této práce.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině za poskytnutou podporu a zázemí během studia.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | | |
|---|---|---|
| **AUTOR** | **Příjmení**<br>Kasipovićová | **Jméno**<br>Anne-Maria |
| **STUDIJNÍ PROGRAM** | B0715A270013 Strojní inženýrství | |
| **VEDOUCÍ PRÁCE** | **Příjmení (včetně titulů)**<br>Ing. Bednář | **Jméno**<br>Miroslav |
| **PRACOVIŠTĚ** | ZČU - FST – KPV | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DRUH PRÁCE** | ~~**DIPLOMOVÁ**~~ | **BAKALÁŘSKÁ** | **Nehodící se škrtněte** |
| **NÁZEV PRÁCE** | Tvorba edukační aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FAKULTA** | strojní | | **KATEDRA** | KPV | **ROK ODEVZD.** | 2023 |

**POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CELKEM** | 47 | | **TEXTOVÁ ČÁST** | 38 | **GRAFICKÁ ČÁST** | 9 |

| | |
|---|---|
| **STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)**<br><br>**ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY** | Cílem této bakalářské práce je vytvoření edukační aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř. Aplikace má sloužit jako naučný nástroj k přiblížení představy o fungování a monitorování včelích úlů na střeše Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni, který také slouží k propagaci fakulty. |
| **KLÍČOVÁ SLOVA**<br><br>**ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE** | Virtuální realita, Unity 3D, Blender, Software, Včelí úl, Aplikace |

# SUMMARY OF BACHELOR SHEET

| | | | |
|---|---|---|---|
| **AUTHOR** | **Surname**<br>Kasipovićová | **Name**<br>Anne-Maria | |
| **STUDY PROGRAMME** | B0715A270013 Mechanical Engineering | | |
| **SUPERVISOR** | **Surname (Inclusive of Degrees)**<br>Ing. Bednář | **Name**<br>Miroslav | |
| **INSTITUTION** | ZČU - FST - KPV | | |
| **TYPE OF WORK** | ~~**DIPLOMA**~~ | **BACHELOR** | **Delete when not applicable** |
| **TITLE OF THE WORK** | Development of an eduactional application for an Inteligent Bee-Hive Laboratory Project | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FACULTY** | Mechanical Engineering | | **DEPARTMENT** | KPV | **SUBMITTED IN** | 2023 |

**NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **TOTALLY** | 47 | | **TEXT PART** | 38 | **GRAPHICAL PART** | 9 |

| | |
|---|---|
| **BRIEF DESCRIPTION**<br><br>**TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS** | The aim of this bachelor's thesis is to create an educational application for the Inteligent Bee-Hive Laboratory Project. The application is intended to serve as an educational tool to provide an insight into the functioning and monitoring of beehives on the roof of the Faculty of Mechanical Engineering at the University of West Bohemia in Pilsen. It also serves to promote the faculty. |
| **KEY WORDS** | Virtual reality, Unity 3D, Blender, Software, Beehive, Application |

# Obsah

Seznam obrázků ....9
Seznam tabulek ....11
Přehled použitých zkratek a symbolů ....12
Úvod ....13
1 Představení projektu ProBee ....14
1.1 Základní znalosti o včelách ....14
1.1.1 Struktura včelího společenstva ....14
1.1.2 Části úlu ....14
1.2 Technologie používané pro monitorování včelstev ....16
1.3 Včelí úly na střeše Fakulty strojní ....17
2 Virtuální realita ....20
3 Software ....22
3.1 Software pro tvorbu 3D modelů ....22
3.2 Software pro tvorbu VR aplikací ....24
4 Hardwarové možnosti pro VR ....28
5 Tvorba 3D modelů určených pro využití ve virtuální realitě ....30
5.1 Blender ....30
5.1.1 Uživatelské rozhraní ....30
5.1.2 Tvorba jednotlivých modelů ....30
5.2 Substance Painter ....35
6 Implementace 3D modelů do Unity3D ....37
6.1 Instalace softwaru ....37
6.2 Vytvoření projektu ....37
6.2.1 Nastavení projektu ....38
6.2.2 Vložení modelů a textur do projektu ....39
6.2.3 Tvorba skript ....40
6.2.4 Animace ....43
7 Návrh scénáře aplikace ....44
8 Popis vytvořené aplikace ....47
Závěr ....49
Použitá literatura ....50

# Seznam obrázků

Obr. 1 - Rámky [27] ....15
Obr. 2 - Víko vnitřní [28] ....15
Obr. 3 - Dno [29] ....16
Obr. 4 - Včelí úly ....18
Obr. 5 - Otřesový senzor ....18
Obr. 6 - Senzor s mikrofonem ....18
Obr. 7 - 2D Graf akustických projevů ....19
Obr. 8 - 3D graf akustických projevů ....19
Obr. 9 - Prostředí Blenderu ....23
Obr. 10 - Prostředí Unity [16] ....25
Obr. 11 - Prostředí Unreal Engine [19] ....25
Obr. 12 - Prostředí CryEngine [21] ....26
Obr. 13 - Prostředí enginu Godot [22] ....27
Obr. 14 - Oculus Quest 2 [24] ....28
Obr. 15 - HTC Vive 3 [25] ....29
Obr. 16 - Model včelího úlu ....31
Obr. 17 - Model konstrukce ....32
Obr. 18 - Detail kontrukce ....32
Obr. 19 - Model otřesového senzoru ....33
Obr. 20 - Model zvukového senzoru ....33
Obr. 21 - Stůl s tlačítky ....34
Obr. 22 - Model po použitím funkce Smooth ....34
Obr. 23 - Model před použitím funkce Smooth ....34
Obr. 24 - Uživatelské rozhraní Substance Painteru ....35
Obr. 25 - Panel Layers ....36
Obr. 26 - Prostředí Unity ....38
Obr. 27 - Build Settings ....38
Obr. 28 - Záložka Hierarchy s objekty ....39
Obr. 29 - Inspector ....40
Obr. 30 - Skript "BeesManager" ....41
Obr. 31 - Skript "ButtonAction" ....42
Obr. 32 - Skript "OneTimeEvent" ....43
Obr. 33 - Stůl s panelem ....44
Obr. 34 - Vnější prostředí ....47

Obr. 35 - Vnitřní prostředí úlu .....48
Obr. 36 - Pohled na plástve uvnitř úlu.....48

# Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání softwarů pro tvorbu 3D modelů ..... 23
Tabulka 2 - Porovnání herních enginů ..... 27

# Přehled použitých zkratek a symbolů

| | |
|---|---|
| VR | Virtuální realita |
| CAD | Computer Aided Design – Počítačem podporované projektování |
| SW | Software |
| USD | United States dollar – Americký dolar |
| 3D | Trojrozměrný |

# Úvod

Cílem této bakalářské práce je vytvoření edukační aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř. Aplikace bude sloužit jako naučný nástroj k přiblížení představy o fungování včelích úlů na střeše Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni, které jsou součástí projektu společnosti Softech, jehož cílem je s využitím moderních technologií podrobně monitorovat život včel. Uživatelé aplikace budou moci interaktivně objevovat prostředí včelího úlu, prohlížet si senzory, plástve a včely a získávat hlubší porozumění fungování včelstva a jejich monitorování. Díky virtuálnímu prostředí a možnosti pohybu a interakce se včelím úlem se uživatelé budou cítit jako součást skutečného včelího světa. Tím se významně zvyšuje jejich motivace a zapojení do procesu vzdělávání.

Přínosem této aplikace je také její potenciál v propagaci naší fakulty. Aplikace Chytrá včelí laboratoř představuje inovativní technologický projekt, který ukazuje schopnost využití moderních technologií ve prospěch vzdělávání a výzkumu. Je to skvělá příležitost pro naši fakultu prezentovat se jako moderní a progresivní instituce, která se aktivně podílí na vývoji nových interaktivních vzdělávacích nástrojů.

# 1 Představení projektu ProBee

Projekt Probee je inovativní aplikace zaměřená na výzkum a monitoring včelích kolonií. Cílem projektu společnosti Softech je s využitím moderních technologií podrobně monitorovat život včel. Hlavní funkcí aplikace Probee je sběr dat z včelích úlů a jejich analýza. Včelí úly jsou vybaveny senzory, které měří teplotu, vlhkost, zvuk, aktivitu včel a další relevantní parametry. Aplikace obsahuje uživatelské rozhraní, které umožňuje vizualizovat a analyzovat naměřená data, sledovat dlouhodobé trendy, porovnávat hodnoty z různých úlů a přijímat upozornění v případě odchylek či nepříznivých podmínek pro včelí kolonie. Tato data mohou pomoci předcházet nemocem a škůdcům, optimalizovat podmínky pro včelí společenstva a přispět k jejich udržitelnému rozvoji. Aplikace je dostupná pro mobilní zařízení a umožňuje včelařům a vědcům monitorovat své včelí kolonie kdykoli a kdekoli. Projekt Probee přináší inovativní přístup ke studiu včel a přispívá k ochraně tohoto důležitého ekosystému.

Na střeše Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni jsou umístěny dva úly. Dění kolem i uvnitř úlů zaznamenávají dvě kamery. Jedna zaznamenává děj zvenku, druhá sleduje, co se děje u dna jednoho z úlů, v místě, které včelaři nazývají podmet. Na podmet totiž padají například rozdrobené kousky vosku, ale také roztoči, způsobující varroázu – onemocnění, kvůli kterému hynou celá včelstva. Umělá inteligence dokáže rozlišit roztoče a určit jejich denní spad. Monitorováním se tedy dá nákaza mezi včelami odhalit. Mikrofon zaznamenává frekvenci hučení včel, která se liší například podle toho, jestli se včely připravují na rojení, ztratily matku a podobně. Počítačový systém je schopen tyto stavy vyhodnotit. Díky tenzometrickým snímačům hmotnosti se úly také průběžně váží. Lze tak určit, zda včely nosí, či nenosí nektar nebo zda se vyrojily. Měří se také venkovní teplota a teplota uvnitř chomáče, do kterého jsou včely v úlu semknuty během chladných zimních dnů. Podle hodnoty teploty lze vyvozovat závěry o dění ve včelstvu, například zda včely plodují. [1]

## 1.1 Základní znalosti o včelách

Pro lepší pochopení významu monitorování včel je třeba si uvést a přiblížit chování včel a popsat základní strukturu včelího úlu. V této kapitole je tedy popsána struktura včelího společenstva a jednotlivé části úlu.

### 1.1.1 Struktura včelího společenstva

Včelí společenstvo sestávající z matky, dělnic a trubců je velmi dynamickým organismem se zaběhlými postupy pro řešení nejrůznějších situací. Společně obstarávají obživu, obranu a vychovávají potomstvo. Aby včelstvo prospívalo, musí se dostatečně rychle obnovovat, protože život dělnic během snůšky je velice krátký, zhruba 4-5 týdnů. Dělnice jsou včelí samičky se zakrnělými pohlavními orgány, jejichž úkolem je vyhledávání a donášení potravy, zpracování medu, výstavba plástů, strážení vchodu do úlu a krmení matky, trubců a plodu. Matka je jako jediná samička ve včelstvu schopna reprodukce, což je jejím jediným úkolem. Trubci jsou včelí samci, jejichž jediným úkolem je rovněž reprodukce. [2]

### 1.1.2 Části úlu

Včelí úl se skládá z různých částí, které mají specifické funkce a přispívají k chodu včelího společenstva. V této podkapitole jsou popsány základní části nástavkového úlu.

**Plodiště**

Plodiště je část úlu, ve kterém se chová plod. Je to prostor vyhrazený pro matku a včely, které se o plod starají. Včely zde uskladňují zásoby pro vlastní okamžitou potřebu. Plodiště je tvořeno jedním, či více nástavky s plásty, na kterých včely staví buněčné struktury. [2]

### Medník

Medníky jsou částí včelího úlu, která slouží k uskladnění a sběru medu. Obsahují plástve, do kterých včely ukládají zásoby medu v období hlavní snůšky, kdy ho produkují nadbytek. Při sběru medu jsou plásty z medníků vyjmuty a buňky s medem jsou otevřeny. Existují různé metody sběru medu z plástů, například lisováním nebo odsáváním. [2]

### Podstavec úlu

Podstavec je spodní část úlu, která slouží k podepře úlu a chrání ho před vlhkostí a zemskými vlivy. Podstavec by měl být stabilní a dostatečně vysoký, aby umožňoval volný proud vzduchu pod úlem a zabraňoval vniknutí nežádoucích živočichů. [2]

### Rámky a mezistěny

V úlu jsou zavěšeny rámky, ve kterých je vystavěné včelí dílo. Aby se včelám práce ulehčila, vkládají se do rámků průmyslově vyráběné mezistěny, což jsou voskové listy se základy buněk vtlačenými po obou stranách. Rámek je třeba nejprve vertikálně či horizontálně drátkovat. Na drátek se pak položí mezistěna a zataví se, aby byl plást pevný. [2]

**Obr. 1 - Rámky [27]**

### Vnitřní i a vnější víko

Vnitřní víko je kryt, který přesně sedí na nástavek a vkládá se pod vnější víko úlu. Vnitřní víko slouží k izolaci a regulaci teploty v úlu a nedovoluje včelám zavěšovat dílo na vnější víko. Vnější víko chrání úl před povětrnostními vlivy jako je déšť, sníh nebo přímé sluneční záření. [2]

**Obr. 2 - Víko vnitřní [28]**

**Dno**

Dno je spodní část úlu a tvoří jeho základnu. Prostor mezi deskou dna a spodními laťkami rámků se nazývá podmet. V přední části dna se nachází včelí výletový otvor, zvaný česno, který slouží pro včely jako vstup a výstup z úlu. Dno by mělo být dostatečně pevné, stabilní a zároveň umožňovat dobrou cirkulaci vzduchu pod úlem. [2]

**Obr. 3 - Dno [29]**

## 1.2 Technologie používané pro monitorování včelstev

Nejstarším zařízením pro monitorování včel jsou úlové váhy, které včelaři využívají již desítky let. Mechanické ručičkové váhy jsou dnes nahrazovány digitálními váhami s možností zpracování a odeslání dat na požadované místo bez nutnosti obsluhy. K automatizaci dochází stejně tak i u měření teploty, kdy za pomocí nových technologií dochází k zhodnocení a odeslání dat například do mobilní aplikace. Další disciplínou v oblasti monitorování včel je pozorování akustických projevů včel. Již v padesátých letech minulého století byla publikována studie Edwardem Woodsem o závislosti mezi frekvencí zvuků vydávaných včelami a tím, co se v úlu děje. Dnes umožňují akustické přístroje napojené na počítačové centrum zaznamenávat frekvence, analyzovat akustická měření a výstupy zobrazit uživateli například v podobě grafu. [3]

Systém ProBee využívá všechny výše zmíněné technologie a dále také otřesový senzor pro případ pádu úlu či jeho odcizení.

**Teplotní senzor**

Vnitřní teplotu úlu je třeba sledovat z několika důvodů. Sledování teploty ve včelím chumáči prozradí mnoho o stavu a jevech ve včelstvu.

Přítomnost zdravé kladoucí matky je jeden z nejdůležitějších aspektů v životě včelstva. Zásah včelaře si vyžaduje situace, kdy plod ve včelstvu chybí. Stav plodu je možné velmi jednoduše zjistit pravidelným měřením teploty pomocí teplotních senzorů. Pro vývoj plodu včely potřebují udržet ve svém hnízdě teplotu mezi 32-35 °C, kdežto pro přežití v zimním chumáči bez plodu je jim dostatečná teplota kolem 20 °C. Naopak při přehřátí při déle trvajícím zvýšení teploty nad 36 °C plod hyne. Nejčastěji to bývá z důvodu nedostatečného přívodu vzduchu. S rostoucím věkem plodu stoupá jeho citlivost na přehřátí. Při vysoké teplotě se včely snaží

především snížit teplotu v úlu odpařováním vody. Při nedostatku vody včely vysávají vodu z plodu. Pokud přehřátí trvá jen krátce, plod se vylíhne, ale takové včely mají pak deformovaná křídla a nevyvinuté nohy. [2] [4]

V kterémkoliv ročním období se může z různých důvodů stát, že celé včelstvo zahyne. Pokud nedojde k včasnému zjištění o úhynu včelstva, přichází včelař o většinu obsahu úlu, protože zásoby velmi rychle najdou jiné včely nebo jiní škůdci jako jsou například mravenci nebo myši. Pokud vnitřní teplota v úlu kopíruje teplotu venku, je i bez osobní prohlídky jasno, že včelstvo již úl neobývá. [4]

Výše uvedené kontroluje teplotní senzor. Výsledky sleduje systém ProBee, který na výskyt neočekávaných teplot sám upozorní uživatele v mobilní aplikaci.

**Měření hmotnosti úlu**

Změny stavu zásob v úlu velmi dobře odpovídají změnám hmotnosti úlu. Stav hmotnosti je důležité sledovat nejen ve snůškovém období, ale i po zbytek roku.

Použité časové údaje v následujícím textu jsou platné pro střední Evropu. V jiných geografických lokalitách se mohou lišit. Včelař by měl sledovat váhu nejen v květnu a červnu, kdy mu pomůže s rozhodováním o přidávání medníků nebo o nutnosti zahájení vytáčení medu. V červenci nám může váha ukázat velmi cennou informaci o stavu zásob ve včelstvu, což může pomoci při výběru správného času krmení, aby měly včely dostatek energetických zásob v době zakládání zimní generace. Během zimy se pak hlídá úbytek zásob. Poté, co matka přestane klást a vylíhne se většina plodu, spotřeba rapidně klesne. S druhou polovinou zásob pak včelstvo musí přežít celou zimu. V dlouhých a teplých zimách je spotřeba vyšší a hlídáním hmotnosti lze zachytit, zda se blíží moment vyhladovění. [4]

**Otřesový senzor s GPS sledováním**

Pro případ odcizení jsou úly vybaveny otřesovým čidlem, který vyšle majiteli alarmující signál při neočekávaném pohybu. Připojený GPS vysílač pak začne sdílet aktuální pozici a ProBee ji zobrazí na mapě. Pokud se pozice nemění, úl mohl spadnout ze stojanu. [4]

**Měření zvukových projevů včel**

V oblasti elektronického monitorování včelstev se vyhodnocování frekvencí zvuků považuje za jeden z nejdůležitějších aspektů. Pohybující se včely typicky vytvářejí bzučivý zvuk ve frekvenčním rozsahu 100 Hz až 250 Hz. Pokud jsou tedy nejvýraznější složky ve spektru v tomto rozsahu, s největší pravděpodobností je včelstvo v pořádku jak po stránce aktivity, tak i zdravotního stavu. Analýzou zvukových projevů lze dostatečně jasně určit důvody zvýšeného vzrušení včelstva jako je např. nepřítomnost oplozené matky, nedostatek zásob, významná snůška, přehřátí včelstva v horkých dnech či nemoc. [5]

Systém ProBee zaznamenává frekvence a je napojen na výkonné počítačové centrum IBM, kde se akustická měření analyzují. Výsledky se zasílají zpět do ProBee a zde se jednoduchým názorným způsobem zobrazí uživateli. [4]

## 1.3 Včelí úly na střeše Fakulty strojní

Na střeše Fakulty strojní se nachází dva včelí úly. Rozměry půdorysu jsou 0,5 m x 0,5 m. Spodní část, dno, je vysoká zhruba 10 cm a na ní jsou položená jednotlivá patra-nástavky. V nich jsou umístěny plásty, konkrétně 11 plastů v každém patře. Jedno patro má výšku zhruba 18 cm a jejich počet závisí na množství včel v úlu. Během sezóny se tedy počet pater liší, zpravidla se však nachází v rozmezí 3 až 6 pater.

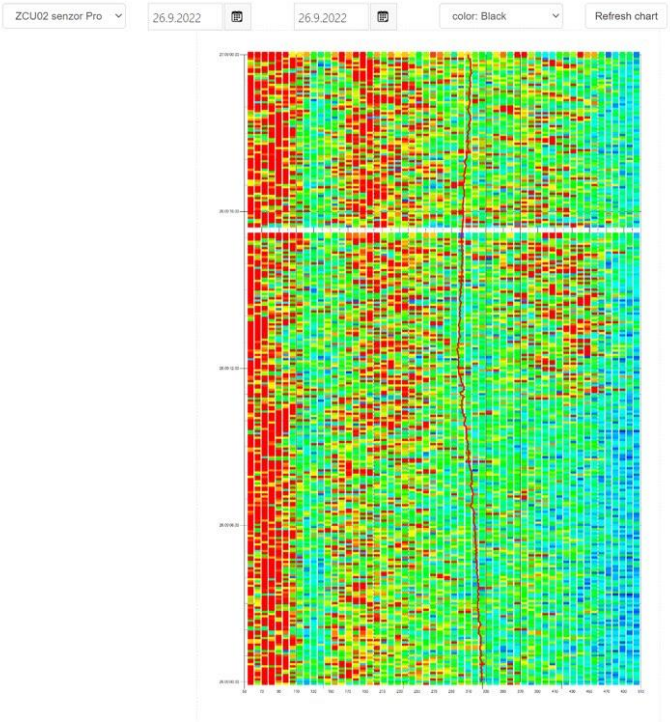
**Obr. 4 - Včelí úly**

K monitorování včel jsou využívány všechny popsané technologie. Na obrázcích níže můžeme vidět senzory, které jsou umístěny přímo v úlu mezi plásty. Senzor na Obr. 6 obsahuje teplotní čidlo a mikrofon pro zaznamenávání frekvencí zvuku vydávaného včelami. Dále je v úlu umístěn otřesový senzor s GPS sledováním.

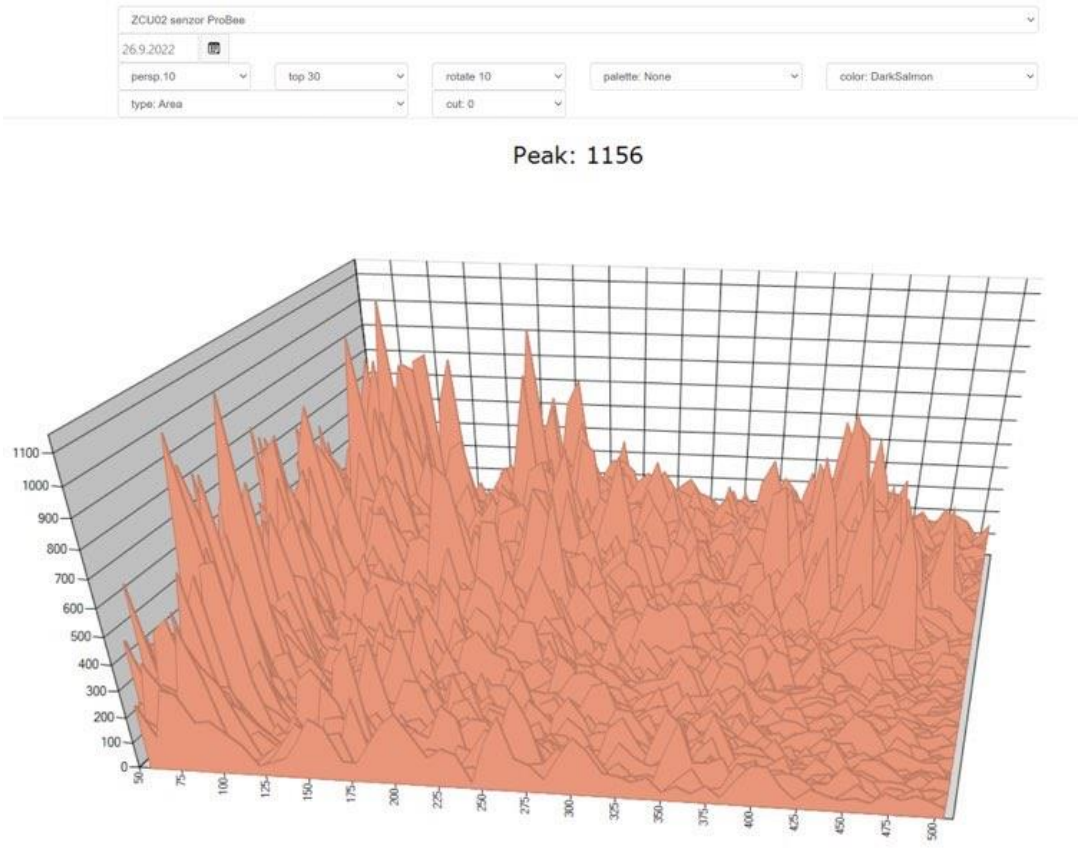
**Obr. 6 - Senzor s mikrofonem**

**Obr. 5 - Otřesový senzor**

Výstupy z naměřených dat můžeme pozorovat pomocí grafů. Na obrázcích níže můžeme vidět 2D a 3D grafy průběhů akustických dějů ve včelím úlu. Na vodorovné ose se nachází stupnice frekvencí a svislá osa znázorňuje čas sledování. Včely se začínají zvukově projevovat zhruba od frekvence 100 Hz. V grafu akustických výstupů z úlů na střeše univerzity však můžeme pozorovat aktivitu již od 50 Hz znázorněnou červenou barvou. Důvodem je rušivý element z okolí, nejspíše se jedná o vzduchotechniku v blízkosti úlů.




**Obr. 7 - 2D Graf akustických projevů**




**Obr. 8 - 3D graf akustických projevů**

# 2 Virtuální realita

Když mluvíme o virtuální realitě pojednáváme o počítačové simulaci, která vytváří obraz světa, který se našim smyslům jeví stejným způsobem, jakým vnímáme skutečný svět neboli fyzickou realitu. Aby se mozek přesvědčil, že uměle vytvořený svět je autentický, počítačová simulace monitoruje pohyby účastníka a upravuje senzorický displej způsobem, který poskytuje pocit vcítění se do simulace. Virtuální realita je tedy prostředek, který umožňuje účastníkům zapojit se do nějakého simulovaného prostředí, které se liší od jejich fyzické reality. Virtuální realita poskytuje uměle vytvořené podněty jednomu či více smyslům uživatele. [6] [7]

Stimulace smyslů můžeme rozdělit:

- Vizualizační – stimulace zraku díky 3D projekci nebo speciálním zařízením
- Aurální – stimulace sluchu s využitím reproduktorů
- Haptické – stimulace hmatu pomocí speciálních rukavic nebo obleků
- Ostatní aspekty – např. stimulace chuti a čichu [6]

Typicky se u systémů virtuální reality setkáváme se stimulací zraku díky 3D projekci nebo speciálním zařízením a často se stimulací sluchu. Méně časté jsou stimulace hmatu, chuti a čichu.

Virtuální realita, tedy její systémy, lze rozdělit do tří stupňů podle věrohodnosti jejího prostředí s čímž je i spojená obtížnost jejich realizace:

1) Pasivní – virtuální okolí můžeme sledovat, poslouchat a popřípadě vnímat hmatem. Prostředí se mění, můžeme mít dojem pohybu, ale nedokážeme pohyb ovládat. O tento typ VR se jedná například při sledování filmu.
2) Aktivní – stejně jako u předchozího případu můžeme okolí sledovat, poslouchat ho, vnímat hmatem, ale hlavní odlišností je, že pohyb dokážeme řídit (běh, chůze, lezení a další). Jako u pasivního však nelze prostředí měnit a zasahovat do něj.
3) Interaktivní – ke všem funkcím z obou předchozích stupňů se přidá i možnost měnit prostředí. Příkladem je uchopení předmětu, pracování s ním, prohlížení si ho. [8]

**Využití VR**

Schopnost vytvářet realistické a interaktivní prostředí přináší mnoho přínosů v různých odvětvích. Příklad oblastí, ve kterých je virtuální realita využívána je zdravotnictví, trénink zaměstnanců či vzdělávání.

Ve zdravotnictví se virtuální realita stala důležitým nástrojem pro léčbu a terapii různých poruch a obtíží. Pacienti trpící například posttraumatickým stresem, úzkostí, fobiemi nebo depresí mohou být léčeni pomocí VR prostředí, které jim poskytuje bezpečné místo pro postupnou expozici a překonávání jejich obav. VR se také využívá v medicínském vzdělávání pro simulaci chirurgických zákroků a trénink dovedností. Studenti medicíny mohou prostřednictvím VR prostředí získat praktické zkušenosti a provádět simulované operace v realistickém prostředí. To jim poskytuje možnost procvičit si techniky a postupy bez rizika pro skutečné pacienty. VR umožňuje studentům získat důležité praktické dovednosti a zlepšit svou jistotu před tím, než se dostanou do skutečných operačních sálů.

V oblasti tréninku zaměstnanců virtuální realita nabízí bezpečné a efektivní prostředí pro výcvik v nebezpečných pracovních podmínkách. Zaměstnanci mohou být trénováni a seznámeni s

reálnými situacemi bez ohrožení jejich bezpečí. Virtuální prostředí umožňuje simulovat různé pracovní scénáře a umožňuje hodnocení pracovníků při jejich výkonu. Díky VR mohou zaměstnanci prožívat a trénovat tyto situace v interaktivním a realistickém prostředí. Můžou se naučit správné postupy, rozhodování v stresových situacích a získat dovednosti potřebné pro jejich pracovní úspěch. Virtuální realita umožňuje také hodnocení pracovníků při jejich výkonu. Data z jejich interakce ve virtuálním prostoru mohou být analyzována a použita pro posouzení jejich schopností, identifikaci oblastí, které vyžadují zlepšení, a přizpůsobení tréninkových programů jejich individuálním potřebám.

Využití virtuální reality ve vzdělávání přináší řadu výhod a nových možností pro uživatele. Jednou z hlavních výhod je interaktivní a zábavné učení. Díky VR mohou uživatelé prožívat ponoření do virtuálního prostředí a aktivně s ním interagovat. Tento způsob výuky je nejen zábavný, ale také efektivní, protože studenti se ve virtuálním prostředí mohou naučit komplexní témata snadněji a rychleji. Další výhodou VR ve vzdělání je personalizace učení. Každý student má své vlastní preferované způsoby učení, a VR umožňuje přizpůsobit výuku jejich individuálním potřebám. Například studenti s vizuálním učením se mohou lépe soustředit na vizuální prvky ve virtuálním prostředí, zatímco studenti s textovým učením si mohou přečíst informace ve VR prostoru. Důležitým aspektem je také skutečnost, že současná generace studentů je od mládí obeznámena s moderními technologiemi a má s nimi přirozený vztah. Proto je využití VR ve vzdělávání pro ně přirozené a atraktivní. Učení se skrze VR jim umožňuje naučit se nové koncepty a dovednosti formou, která je pro ně přirozená a zábavná.

Celkově lze říci, že využití virtuální reality ve vzdělávání nabízí nové možnosti, které posilují zapojení studentů, zlepšují jejich porozumění a zážitek z učení. Tímto způsobem může VR přispět k efektivnější a atraktivnější výuce.

# 3 Software

Tato kapitola se zaměřuje na software používaný v oblasti virtuální reality. Před počátkem samotného vývoje aplikace pro virtuální realitu je klíčové vybrat vhodné vývojové prostředí, které nejlépe vyhovuje očekáváním a požadavkům projektu. Nejprve jsou v této kapitole představeny a porovnány různé softwarové nástroje určené pro tvorbu 3D modelů, poté je zaměření přesunuto na srovnání softwarových platforem pro tvorbu VR aplikací, takzvané herní enginy.

## 3.1 Software pro tvorbu 3D modelů

3D modely jsou jedním ze základních prvků aplikace ve virtuální realitě. Popisují vlastnosti objektů ve scéně jako je tvar či povrch. Modely můžeme tvořit pomocí CAD softwarů nebo pomocí alternativních modelovacích softwarů. Modely tvořené první skupinou obsahují veškeré součástky, které v sobě reálný model má. Vykreslování v programech pro VR se pak stává vysoce náročné, protože aplikace vykresluje veškeré součástky, které model obsahuje i přes to, že nejsou vidět. V této kapitole jsou popsány příklady alternativních modelovacích softwarů, u nichž jsou modely tvořeny jen viditelným obsahem. Objekty 3D scény jsou tedy modelovány jen pomocí svého povrchu, který je popsán jako síť polygonů a jeho optické vlastnosti jako barva, odraz světla a struktura se definují pomocí textur. Proces vytvoření výsledného obrazu se nazývá renderování. Z popisu scény je třeba určit viditelné části objektů, jejich stíny, odlesky a odrazy a na základě těchto údajů vytvořit výsledný obraz. Tento proces může být výpočetně náročný a závisí na několika faktorech, například počtu polygonů. [9] [10]

**SketchUp**

SketchUp je open source SW určen především pro tvorbu 3D modelů. První verze programu byla představena v roce 2000 společností @Last Software. Byl prezentován jako snadno použitelný nástroj určený pro tvorbu 3D modelu s intuitivním uživatelským rozhraním. K osvojení a pochopení funkcí uživateli stačí poměrně krátký čas, proto si program získal velkou oblibu. V roce 2006 koupil Google společnost @Last Software a od roku 2012 je SketchUp vlastněn společností Trimble Navigation. Tento program má také placenou verzi SketchUp Pro obsahující více funkcí a možností, které nejsou dostupné v neplacené verzi. [11]

**3ds Max**

3ds Max dříve nazývaný „3D Studio Max“ či „3D Studio“ je jedním z nejrozšířenějších programů pro 3D grafiku, vizualizace a animace. Je často používán při výrobě reklam a filmů v televizním průmyslu a k tvorbě grafiky do počítačových her. Program umožňuje modelovat detailní objekty a nabízí vizualizaci ve vysoké kvalitě. Jeho součástí je vykreslovací modul Arnold, s jehož pomocí je možno vytvořit i ty nejsložitější scény. Program má také verzi 3ds Max Design sloužící k designerské vizualizaci. Tato verze obsahuje některé funkce navíc oproti verzi základní. Jelikož je 3ds Max program pro profesionální využití, jeho cena činí 1 620 USD ročně. [12]

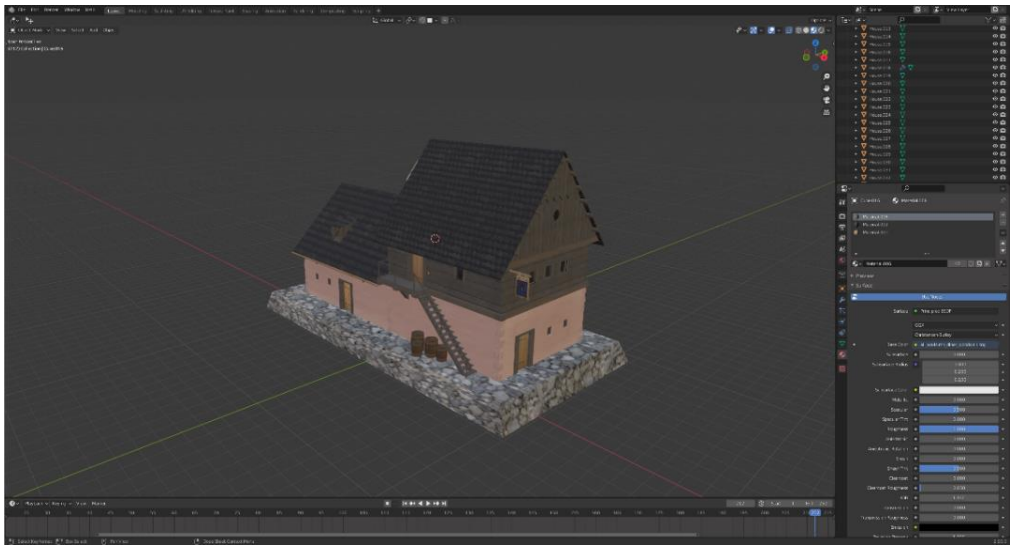
**Maya**

Maya je profesionální multiplatformní program pro tvorbu 3D grafiky. Původně byl vyvíjen firmou Alias Systems a nyní je vlastněn a vyvíjen společností Autodesk. Často je využíván v televizním průmyslu pro vytváření 3D efektů, k tvorbě počítačových her a VR scén. Hlavními funkcemi programu jsou tvorba realistických efektů, 3D objektů, scén a oživení vytvořených postav pomocí animačních nástrojů. Uživatelské rozhraní je komplexní. Stejně jako u výše zmiňovaného programu 3ds Max je součásti této aplikace vykreslovací modul Arnold, díky

němuž lze zobrazit i ty nejsložitější požadavky. Cena tohoto programu je 1 785 USD ročně. Proto jsou programy Maya i 3ds Max vhodné převážně pro profesionální užití. [13]

### Blender

Blender je multiplatformní 3D modelovací software, v němž lze tvořit modely na profesionální úrovni, fyzikální simulace, animace, texturování, vizuální efekty a další. Podporuje například Linux, Windows či MacOS a veřejnosti byl zpřístupněn v roce 1998. Jedná se o open source SW, který spadá pod licenci General Public License. Je tedy možné ho používat zdarma k jakýmkoliv účelům a jeho zdrojový kód je přístupný k prohlížení i k provádění úprav a distribuci. Úpravy musí být zpřístupněny ostatním uživatelům, kteří je mohou také modifikovat. Nové funkce vytvořené uživateli mohou být implementovány do nové verze v rámci otevřenosti softwaru. Skriptování nabízí Blender pomocí jazyku Python. [14]



**Obr. 9 - Prostředí Blenderu**

### Výběr softwaru

Na základě porovnání v tabulce níže je zřejmé, že Blender vychází jako nejvhodnější volba pro potřeby této práce, proto byl pro tvorbu 3D modelů použit právě tento software.

| Kritérium | Blender | SketchUp | 3ds Max | Maya |
|---|---|---|---|---|
| Licenční model | Open source | Open source | Komerční, placená verze | Komerční, placená verze |
| Uživatelské rozhraní | Intuitivní, přehledné | Intuitivní | Komplexní, profesionální | Komplexní, profesionální |
| Funkce | Pokročilé modelování, podpora různých typů geometrie, animace | Základní modelování, základní animační funkce | Pokročilé modelování, podpora animací, efektů | Pokročilé modelování, podpora animací, efektů |
| Podpora skriptování | Ano (jazyk Python) | Ano (jazyk Ruby) | Ano (MAXScript, Python) | Ano (jazyk Python) |
| Cena | Zdarma | Zdarma | Placené | Placené |

**Tabulka 1 - Porovnání softwarů pro tvorbu 3D modelů**

## 3.2 Software pro tvorbu VR aplikací

Odvětví zábavy má v dnešní době největší podíl na využití virtuální reality. Technologii využívají také věda a jiné obory. Jejich produkty však zpravidla nebývají dostupné veřejnosti a negenerují tak vysoký zisk, aby se vývojářům vyplatilo tvořit programy speciálně pro tyto účely. Z tohoto důvodu se pro tvorbu virtuálního prostředí využívají programy určené pro herní průmysl, takzvané herní enginy. Engine můžeme chápat jako jádro virtuálního světa, kolem kterého jsou sestaveny 3D modely. Jeho smyslem je komponovat objekty v 3D prostoru, detekovat jejich vzhled, vzájemné kolize nebo simulovat fyzikální zákony a aplikovat je na chování objektů (deformace, rychlost a trajektorie pádu a podobně). V aplikacích, které simulují reálný svět a chování věcí v něm fungují zmíněná pravidla a efekty shodně. Je tedy výhodné využívat programy, které tato pravidla již obsahují a není tak nutné je programovat zvlášť do každé aplikace. V případě, že engine neobsahuje požadující efekty, je možné je pomocí vlastního kódu do aplikace doplnit. V této kapitole budou popsány nejznámější a nejpoužívanější herní enginy. [15]

**Unity 3D**

Jedná se o multiplatformní herní engine, který vyvíjí společnost Unity Technologies. Tento SW představuje kompletní balíček pro vytváření 2D nebo 3D prostředí, animací a interakcí mezi modely. Vznikl v roce 2005 a jeho prvotní verze byla podporována jen operačním systémem Mac OS. Nyní je podporován více než dvaceti platformami. Je možné programovat v programovacích jazycích C# a UnityScript. Podpora jazyku JavaScript byla zrušena v roce 2017. Engine podporuje velké množství programů třetích stran používaných pro modelování jako například Maya, CAD SW, Blender a další. Součástí je také Unity Asset Store, kde lze zakoupit nebo volně stáhnout velké množství assetů, což jsou zdroje využívané aplikací. Jedná se například o grafické modely, zvuk, textury a podobně. [16] [17]

Unity je používán pro vývoj aplikací pro PC, VR zařízení, mobilní zařízení, konzole i web. V posledních letech se využití tohoto SW začíná více rozšiřovat i do jiných odvětví než herních. Ve spojitosti s VR je hojně využíván v automobilovém průmyslu, stavebnictví a pro školení zaměstnanců. Unity je oproti jeho konkurentům uživatelsky velmi přívětivé a i pro začátečníky je snadné se během chvilky v tomto softwaru zorientovat. Pyšní se tedy obrovskou komunitou, která neustále vytváří nové assety, články a návody, jak s Unity nejlépe pracovat. [18]

Unity 3D je nabízen ve čtyřech různých verzích, které se liší dostupnými funkcemi a cenou. Možnost využívání jednotlivých plánů omezuje roční obrat podniku.

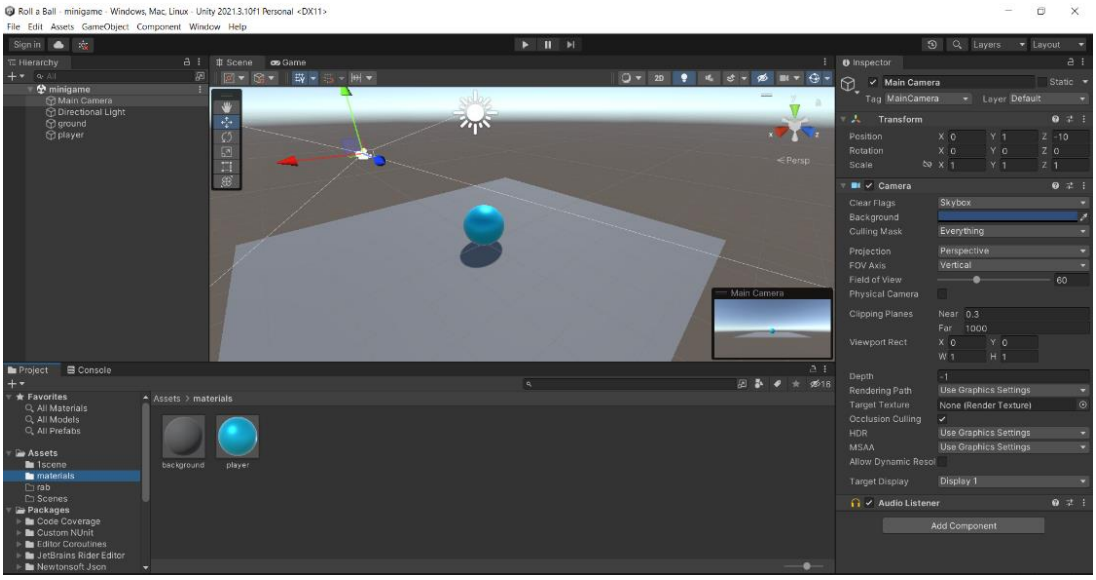
Celkově jsou k dispozici 4 verze – Personal, Plus, Pro a Enterprise.

- Personal – tato verze nabízí základní funkce a služby a je dostupná zdarma, pokud uživatel nepřesáhne roční obrat nad 100 000 USD.

- Plus – je pro uživatele či firmy jejichž roční obrat je v rozhraní 100 000 až 200 000 USD a je zpoplatněna. Obsahuje navíc funkce, jež základní balíček nenabízí.

- Pro – tato verze je také zpoplatněna a je pro uživatele, jejichž roční obrat přesahuje částku 200 000 USD a navíc je zde možné dokoupit dodatečné služby jako je například technická podpora.

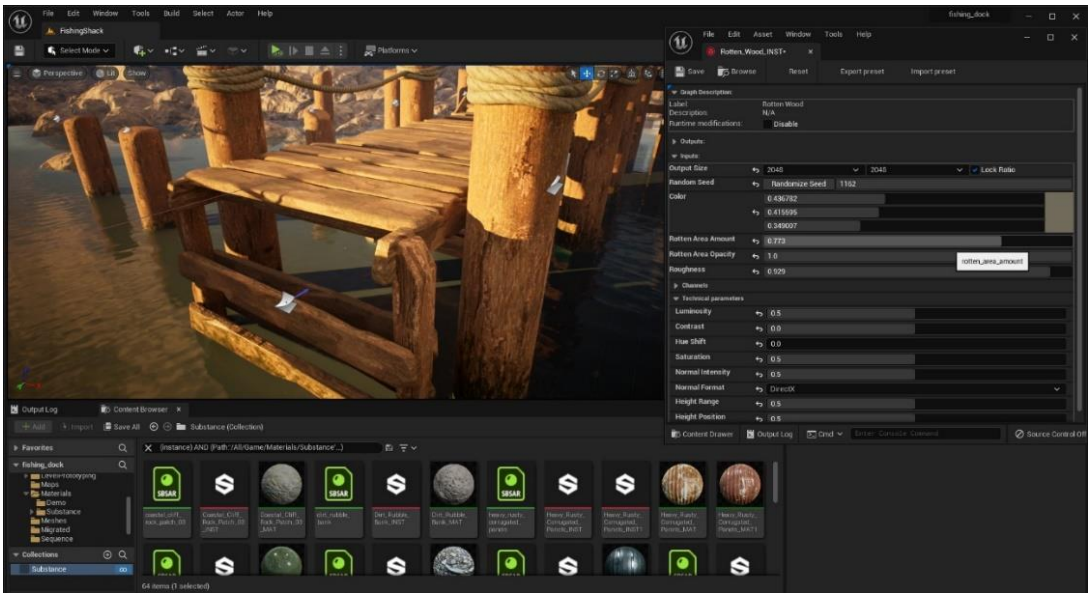
- Enterprise – jedná se o nejdražší verzi a obsahuje další dodatečné služby. [17]



**Obr. 10 - Prostředí Unity [16]**

## Unreal Engine

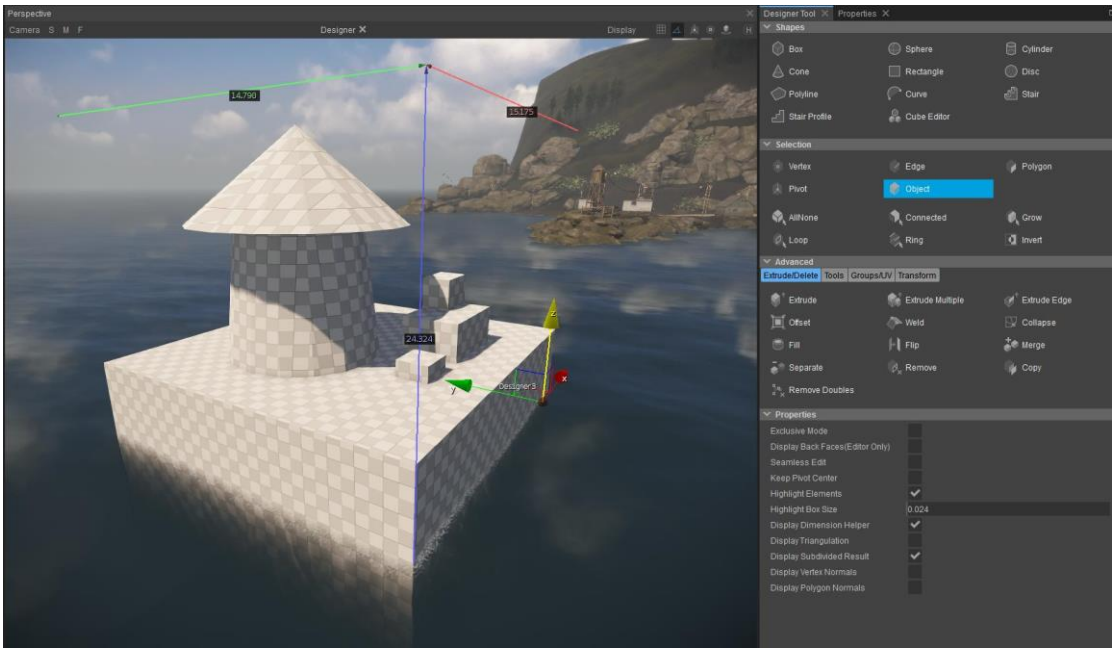
Unreal Engine byl vytvořen v roce 1998 společností Epic Games a jedná se také o jeden z nejpoužívanějších herních enginů. Engine je sám o sobě zaměřen na grafickou kvalitu a co nejrealističtější podobnost se skutečností. Ve věrnosti grafického výstupu má Unreal Engine navrch ve srovnání s veškerou dostupnou konkurencí, včetně Unity. Aktuální verzi představuje Unreal Engine 5, který vyšel v dubnu 2022. Tato verze obsahuje VR mód speciálně zaměřený na budování prostředí virtuální reality. Samotný engine podporuje většinu operačních platforem jako jsou MacOS, Linux, Android, iOS, Microsoft Windows a i herní konzole jako Playstation nebo Xbox. Jako programovací jazyk je využíván C++ nebo lze použít funkce Blueprint, kdy skript je tvořen pomocí vývojových diagramů a pro uživatele tak není potřebná znalost programovacího jazyku. Tento software je dostupný zdarma a k zpoplatnění dochází v případě, že výdělek uživatele přesahuje milion USD. Poplatek není fixní částka jako tomu je například u Unity 3D, ale uživatel platí 5% příjmu z projektu. [19]



**Obr. 11 - Prostředí Unreal Engine [19]**

## CryEngine

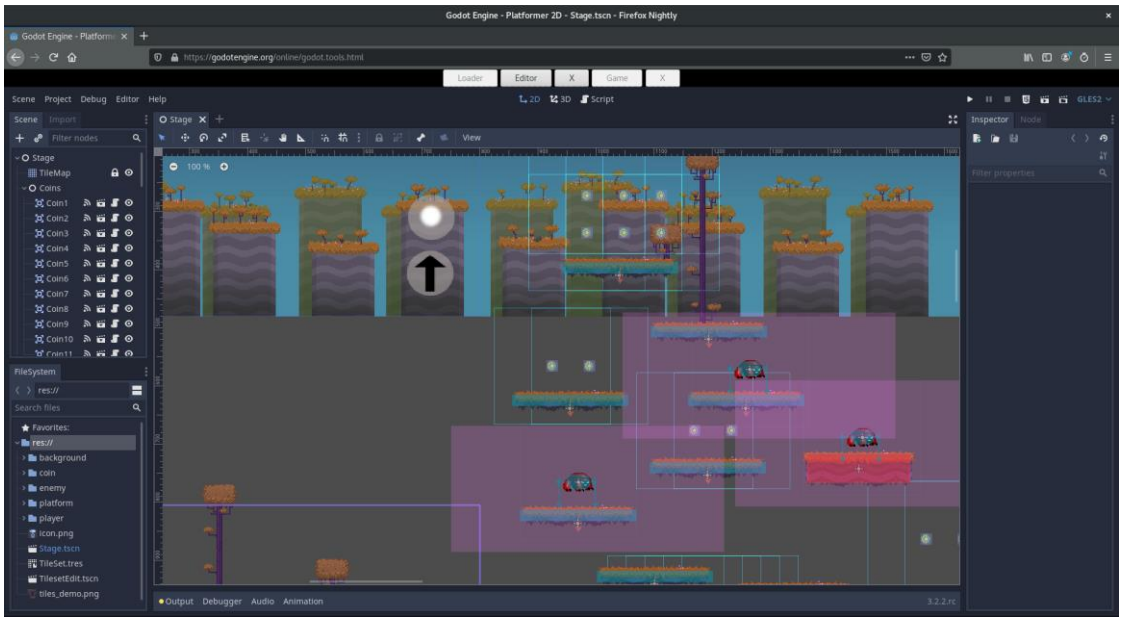
CryEngine je herní engine vyvíjený společností Crytek. První verze byla vydána v roce 2002 a nejaktuálnější verze CryEngine 5.7 byla vydána v květnu 2022. Engine byl navržen převážně pro počítačové a konzolové platformy a jeho grafické možnosti jsou srovnatelné s Unreal Engine. Hodí se proto pro potřeby velmi reálných simulací. CryEngine také zahrnuje nástroje podporující tvorbu pro virtuální realitu. V porovnání s Unity může být editor náročnější na pochopení a není tak uživatelsky přívětivý. Není proto příliš vhodný pro uživatele bez předchozích zkušeností s ostatními enginy. CryEngine podporuje tvorbu skriptů v programovacích jazycích C++ a C#. Podobně jako UnrealEngine umožňuje vizuální skriptování pomocí nástroje Flow Graph Editor. Uživatel při práci s ním tedy nemusí přímo využívat žádný programovací jazyk. K zpoplatnění tohoto enginu dochází po překročení výdělku nad 5 000 USD a následně se platí stejně jako u Unreal Engine 5% příjmu uživatele z projektu. [20]




**Obr. 12 - Prostředí CryEngine [21]**

## Godot

Godot je 2D i 3D open source engine vytvořený pod licencí MIT, je tedy dostupný zdarma a je zaručeno libovolné užití softwaru a jeho funkcí, modifikace jeho nastavení a distribuce vytvořených aplikací včetně komerčního použití. Software umožňuje tvorbu aplikací pro PC, mobilní zařízení, web i zařízení pro virtuální realitu. Veřejnosti byl poprvé zpřístupněn v roce 2014. Programovat v něm lze v C++, C# a také v GDScript, což je jazyk vytvoření přímo pro Godot. Mezi podporované platformy patří Windows, MacOS, Linux, iOS, BlackBerry 10, HTML5, PlayStation 3, PlayStation Vita a Nintendo 3DS a další. [15]




**Obr. 13 - Prostředí enginu Godot [22]**

## Výběr softwaru

Jako software pro tvorbu samotné aplikace byl na základě porovnání kritérií zvolen Unity 3D především díky přívětivému uživatelskému rozhraní, které umožňuje snadno vytvářet a spravovat objekty, scény a skripty.

| Kritérium | CryEngine | Unity | Godot | Unreal Engine |
|---|---|---|---|---|
| Licenční model | Základní verze neplacená | Základní verze neplacená | Open Source | Základní verze neplacená |
| Uživatelské rozhraní | Pokročilejší | Intuitivní | Intuitivní | Pokročilejší |
| Multiplatformní podpora | Široká | Široká | Široká | Široká |
| Podpora jazyka | C++, Lua, C# | C#, UnityScript | GDScript, C# | C++, Blueprints |
| Komunita a podpora | Menší a méně aktivní | Velká a aktivní | Rychle rostoucí | Velká a aktivní |

**Tabulka 2 - Porovnání herních enginů**

# 4 Hardwarové možnosti pro VR

Hardware je důležitou součástí pro přenesení se do virtuálního světa a potlačení světa reálného. Snímá pozici uživatele, aby mohl určit kde se uživatel ve virtuálním světě nachází. Dále je možné snímat pozici očí, pohyb rukou a pohyb pomocí tlačítek ovladače. Jednou z možností, jak dostat uživatele do prostředí virtuálního světa je pomocí VR headsetů. Ty můžeme rozdělit na tři základní druhy-mobilní, standalone a tethered VR headsety. Mobilní headsety neobsahují displej a je tedy třeba externího zařízení. Nejčastěji se jedná o chytrý mobilní telefon, který se jednoduše zasune do náhlavní soupravy. Tethered a standalone headsety displej obsahují. Rozdíl mezi nimi je, že tethered headsety potřebují pro spuštění virtuální reality externí zařízení, zatímco standalone fungují samostatně. Tethered headsety jsou pomocí kabelů spojeny nejčastěji s počítačem nebo herní konzolí a jsou určeny pouze pro vizualizaci obrazu. Prostředí virtuální reality je spuštěno na některém z již zmiňovaných externích zařízení. O veškeré výpočty, vykreslování i uchovávání dat se stará připojený přístroj. Pro poskytnutí přesvědčivých zážitků ve VR je nezbytný velký výkon počítače, převážně v rámci procesoru a grafické karty. Nevýhodou je omezená možnost pohybu kvůli propojení pomocí kabelů. Naopak standalone headsety umožňují pohyb bez omezení díky absenci kabelů, zařízení je totiž napájeno baterií. Nevýhodou těchto headsetů je nižší výkon zařízení. Vzhledem k nízkým rozměrům a dalším omezujícím parametrům jako je například váha, nemohou se standalone headsety vyrovnat hrubým výkonem headsetům propojeným s výkonnějšími přístroji. Proto se u tohoto typu zařízení musí počítat s méně propracovanými texturami, nižší obnovovací frekvencí u vykreslování grafického prostředí a jednodušší fyzikou. [23]

**Oculus Quest 2**

Oculus Quest 2 je standalone headset pro virtuální realitu od společnosti Meta Platforms Inc. Byl představen roku 2020 a jedná se o přímého nástupce modelu Oculus Quest. Samotný headset obsahuje procesor Qualcomm Snapdragon XR2, operační paměť 6 GB a uložiště velké 128 GB nebo 256 GB. Rozlišení displejů pro každé oko činí 1832x1920 pixelů a obnovovací frekvence je 90 Hz s možností přepínání mezi 72 Hz 80 Hz a 90 Hz. Dále je součástí přístroje reproduktor a 3,5mm audio vstup pro připojení sluchátek. Oculus Quest je standardně ovládán pomocí 2 ovladačů Oculus Touch, zařízení má ale také implementovány senzory pro snímání rukou (hand tracking). Frekvenci snímání rukou je možné zvýšit z 30 Hz na 60 Hz pomocí zapnutí módu „High Frequency Hand Tracking“, což zvyšuje kvalitu snímání. [24]

Nejvýraznější výhodu oproti konkurenčním zařízením však představuje cena – základní 128 GB verze Oculus Quest 2 se totiž oficiálně prodává za cenu 399 USD. [24]

**Obr. 14 - Oculus Quest 2 [24]**

## HTC VIVE 3

HTC Vive je standalone headset uvedený na trh v roce 2021 společností HTC. Jedná se o třetí generaci řady Vive. S výše zmiňovaným headsetem sdílí tento několik paramterů, jako například shodný procesor Qualcomm Snapdragon XR2, který je však přetaktován na vyšší frekvenci. Nabízí tedy vyšší hrubý výkon. Pro snížení provozní teploty je headset osazen měděnou heatpipe a aktivním chlazením. Rozlišení displejů činí 2448 × 2448 pixelů. Obnovovací frekvence je 90 Hz a zorné pole je o velikosti 120°, což představuje oproti obvyklým 90° nadstandard v oblasti VR headsetů. Operační paměť činí 8 GB, uložiště 128 GB. Datové uložiště lze také rozšířit pomocí microSD karet. Součástí zařízení je také 3,5mm audio vstup pro připojení sluchátek. Nevýhodou oproti Oculus Quest 2 je pořizovací cena, která činí 1300 USD. [25]

**Obr. 15 - HTC Vive 3 [25]**

# 5 Tvorba 3D modelů určených pro využití ve virtuální realitě

V této kapitole jsou popsány postupy, které byly při tvorbě jednotlivých modelů použity. K tvorbě modelů byl využit program pro 3D modelování Blender a program pro vytváření textur, které dodávají modelům vizuální vlastnosti, byl použit Substance Painter.

## 5.1 Blender

Pro účely této práce byl jako software pro tvorbu 3D modelů zvolen Blender kvůli jeho dostupnosti a přívětivému uživatelskému rozhraní. Jedná se o open source program, který poskytuje široké možnosti pro tvorbu detailních a realistických modelů.

### 5.1.1 Uživatelské rozhraní

Po otevření programu Blender se zobrazí úvodní obrazovka, která nabízí několik možností, jak začít pracovat. Nejprve byla zvolena možnost vytvořit nový soubor a po jeho vytvoření se zobrazí hlavní pracovní prostředí. Výchozí scéna se skládá z 3D viewportu, nástrojové lišty a dalších panelů a nabídek, které tvoří uživatelské rozhraní Blenderu.

Výchozím režimem je "Object Mode", kde je možné vytvářet a manipulovat s objekty ve scéně. Na pravé straně rozhraní se nachází panel "Properties", který obsahuje různá nastavení pro aktivní objekt, scénu a renderování. Na dolní straně rozhraní je časová osa, kde lze nastavit aktuální snímek a ovládat přehrávání jakýchkoli animací, které jsou vytvářeny. Tato funkce však nebyla pro naše účely využita.

Prvním krokem při tvorbě modelu je vytvoření základního tvaru. Nové objekty je možné přidat stisknutím klávesy Shift + A nebo kliknutím na nabídku "Add" v nástrojové liště. Objeví se seznam různých objektů, které můžeme přidat do scény. Tyto objekty zahrnují základní tvary, jako jsou krychle, koule, válec nebo kužel, ale také komplexnější objekty. Vybraný objekt se následně objeví v prostoru, kde můžeme manipulovat s jeho pozicí, rotací a měřítkem.

Dalším krokem je úprava tvaru pomocí nástroje "Edit Mode", což je jeden z hlavních režimů v Blenderu, který umožňuje upravovat a manipulovat s tvary objektů. V tomto módu je možné přidávat, odebírat, deformovat a upravovat vrcholy, hrany a stěny objektu. Režim umožňuje přístup k různým nástrojům pro upravování a transformování tvarů a můžeme tak vytvářet různé tvary a detaily.

Dalšími nástroji jsou "Scale", "Rotate" a "Move", které slouží k přizpůsobení velikosti, orientace a pozice jednotlivých částí tvaru. Tyto nástroje mohou být použity na výběr konkrétních vrcholů, hran nebo ploch, které je třeba upravit.

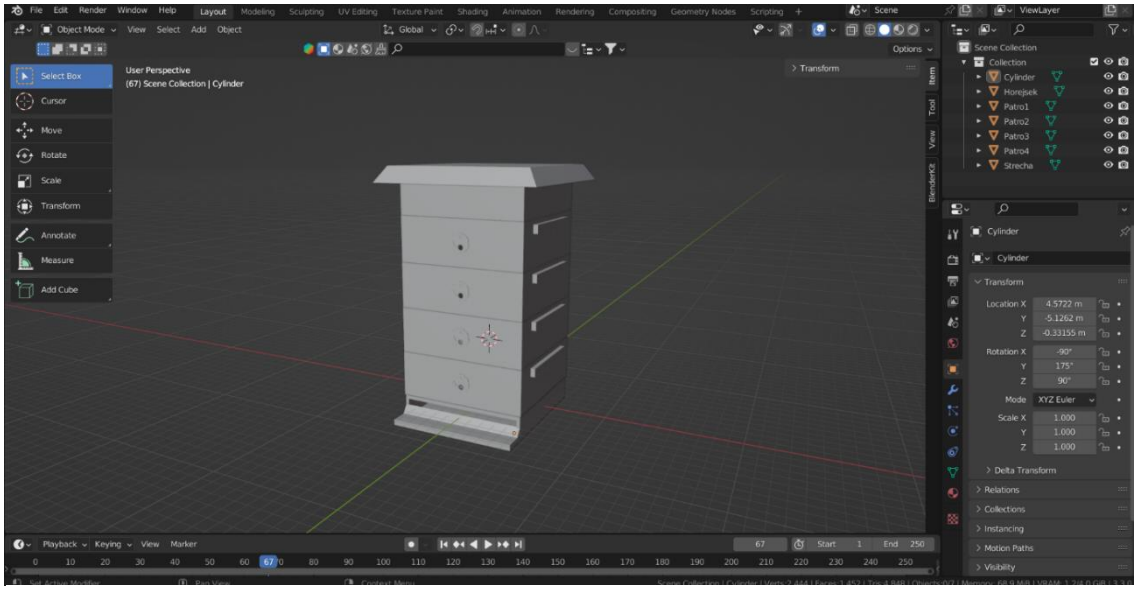
Důležitým nástrojem pro modelování v Blenderu je "Modifiers". Operace, které tento nástroj nabízí umožňují přidávat různé efekty a úpravy objektům, jako jsou například zrcadlení, deformace a další.

### 5.1.2 Tvorba jednotlivých modelů

Pro účely tohoto projektu byl v Blenderu vymodelován model včelího úlu, konstrukce, na níž se úl nachází, otřesový senzor, zvukový senzor a stůl s tlačítky. Model včely byl kvůli své složitosti stažen.

### Včelí úl

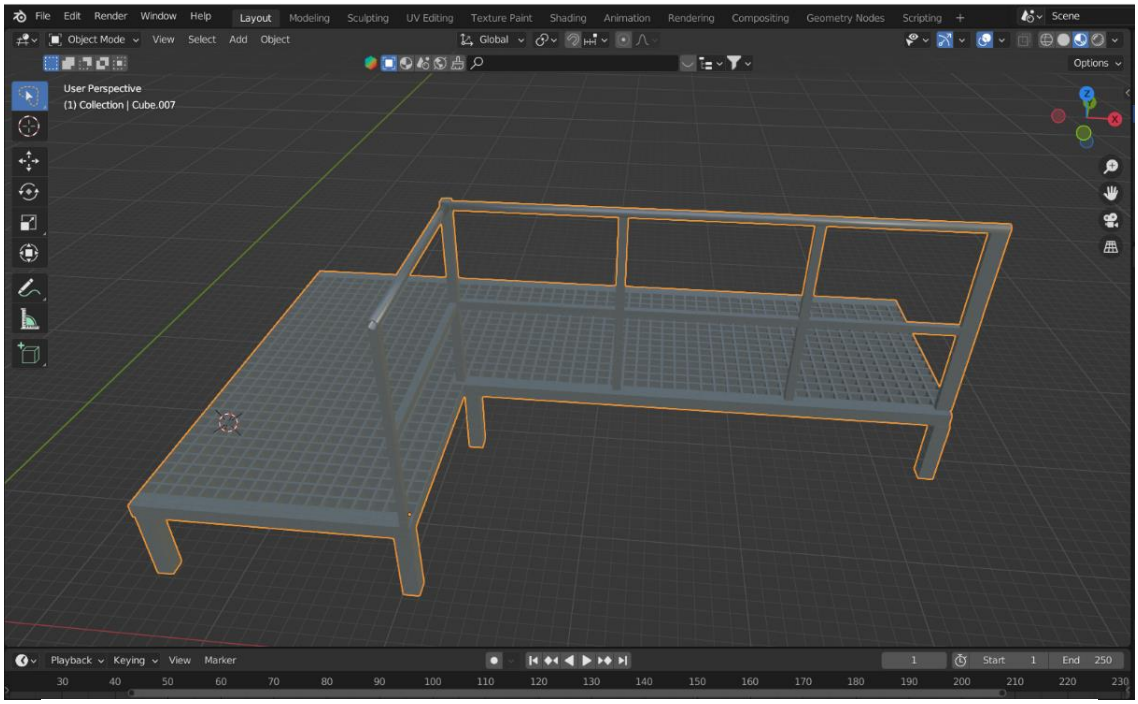
Na obrázku níže je vidět vymodelovaný 3D model včelího úlu. Všechny jeho části byly vytvořeny ze základního objektu krychle, který se dále pomocí již zmiňovaného editačního módu upravoval do požadovaného tvaru a velikosti. Jelikož se úl skládá ze stejných na sebe naskládaných nástavků, bylo třeba vytvořit jeden a ten se dále pomocí klávesy Shift + D duplikoval. Uvnitř každého nástavku se nacházejí plástve. Pro urychlení procesu tvorby většího množství pláství byl použit modifikátor "Array", který se používá k vytváření opakovaných prvků. Dalším použitým modifikátorem byl "Boolean", který umožňuje kombinovat dva nebo více objektů pomocí booleanovských operací, jako jsou sjednocení, průnik a rozdíl. Pomocí tohoto modifikátoru je možné například vytvořit díru v objektu nebo spojit dva objekty do jednoho. Modifikátor pracuje na základě zadaných vstupních objektů a aplikuje vybranou booleanovskou operaci na jejich průniky. V našem případě byl použit pro vytvoření děr.



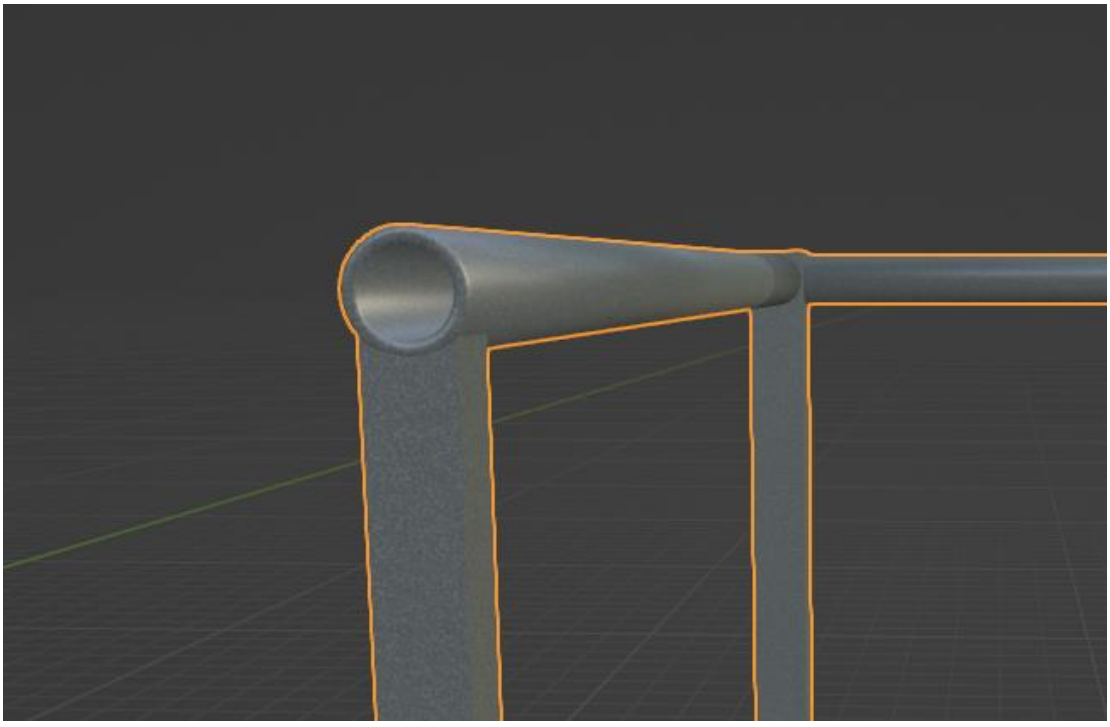

**Obr. 16 - Model včelího úlu**

### Konstrukce

Dalším vytvářeným modelem byla konstrukce, na níž se samotný úl nachází (viz Obr. 17). Jednotlivé části konstrukce byly zhotoveny převážně ze základního objektu krychle či válce. Jako modifikátor byl opět použit "Array" při tvorbě mříže konstrukce a dále také "Boolean" při tvorbě děr a sjednocování konstrukce zábradlí (viz Obr. 18).



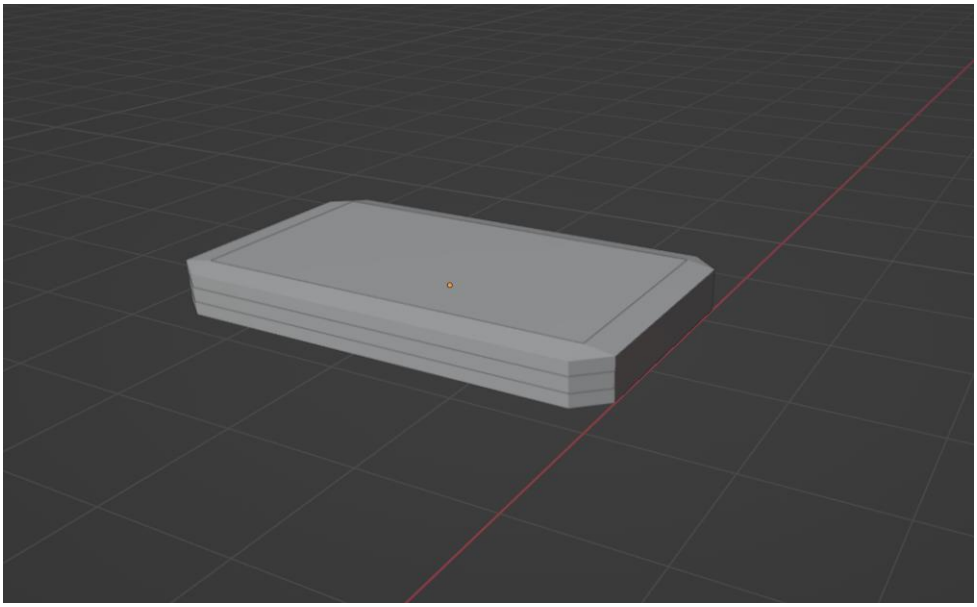

**Obr. 17 - Model konstrukce**



**Obr. 18 - Detail kontrukce**

### Otřesový senzor

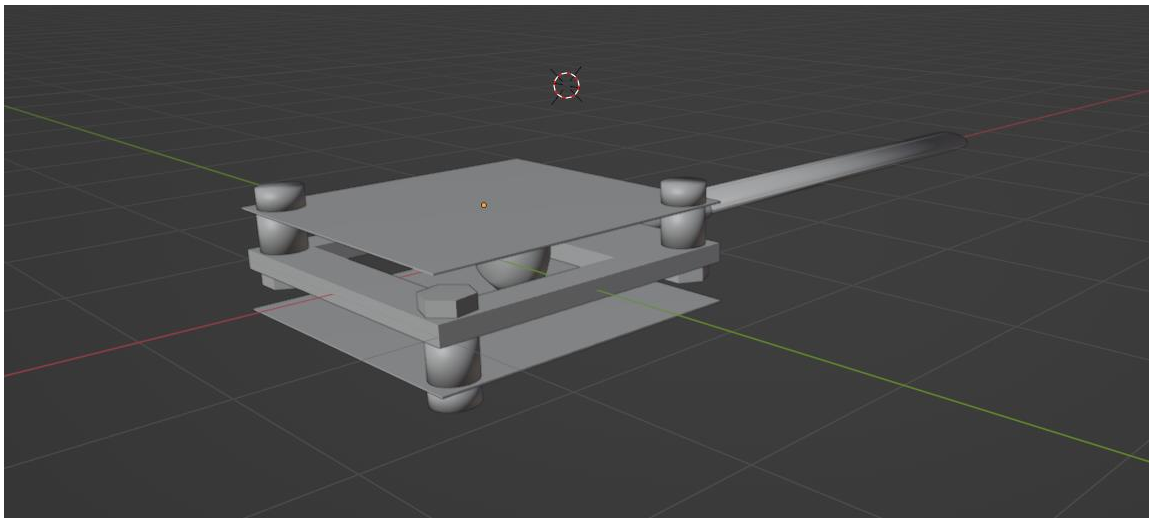
Otřesový senzor je jednoduchý model skládající se z jedné krychle, která byla přetransformována do požadovaného tvaru pomocí funkce "Bevel" v editačním módu. Tato funkce se používá zpravidla na zaoblení hran a profilovaných okrajů 3D modelu. Blender automaticky vytvoří nové hrany a plochy, které se připojí k původnímu objektu.



**Obr. 19 - Model otřesového senzoru**

### Zvukový senzor

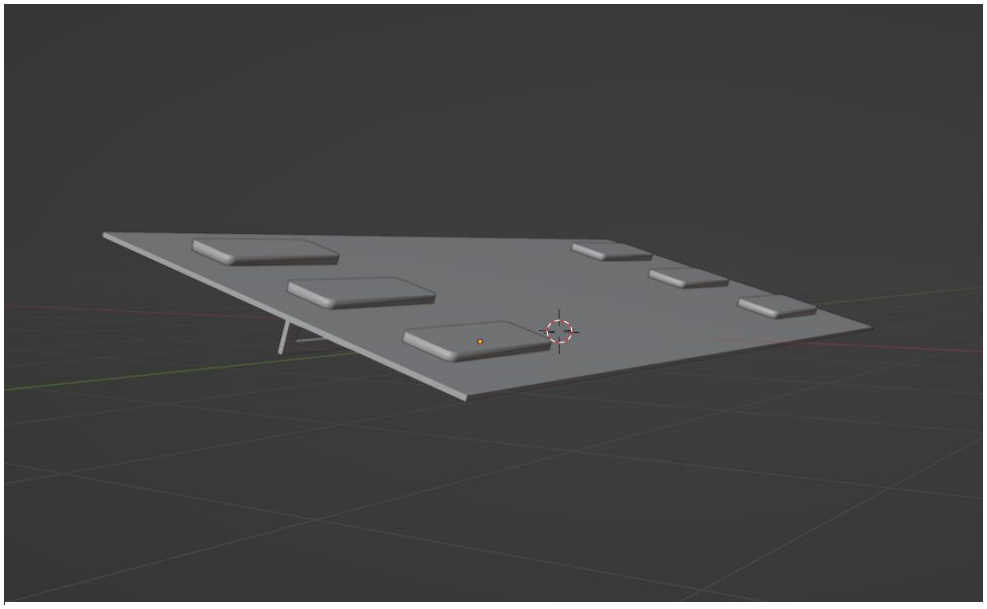
Model zvukového senzoru je tvořen opět částmi, jejichž základ tvoří krychle či válec a z modifikátorů byl rovněž použit "Array" pro tvorbu opakujících se částí.



**Obr. 20 - Model zvukového senzoru**

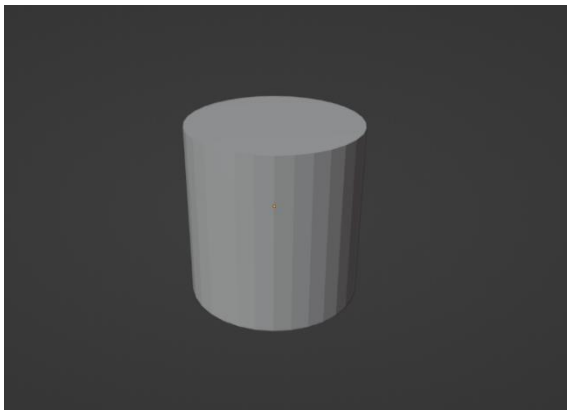
### Stůl s tlačítky

Stůl s tlačítky byl vytvořen pomocí základního objektu krychle. Stejně jako v případě nástavků jsme vytvořili jedno tlačítko a následně ho zduplikovali.



**Obr. 21 - Stůl s tlačítky**

U všech modelů byla pro přirozenější vzhled použita funkcie "Smooth", která funguje tak, že Blender automaticky upraví normály ploch tak, aby vytvořily plynulý přechod mezi sousedními plochami. Na obrázcích níže je možné vidět rozdíl ve vzhledu objektu před a po použití této funkce.



**Obr. 23 - Model před použitím funkce Smooth**

**Obr. 22 - Model po použitím funkce Smooth**

Posledním krokem před exportováním modelů bylo vytvoření základních materiálů, které se dále upravovali v programu Substance Painter. Exportování 3D modelů proběhlo do formátu FBX, což umožňuje snadnou přenosnost modelů do jiných aplikací. Pro dokončení texturování bylo nezbytné provést proces zvaný "unwrap" neboli rozbalení, který spočívá v převodu 3D

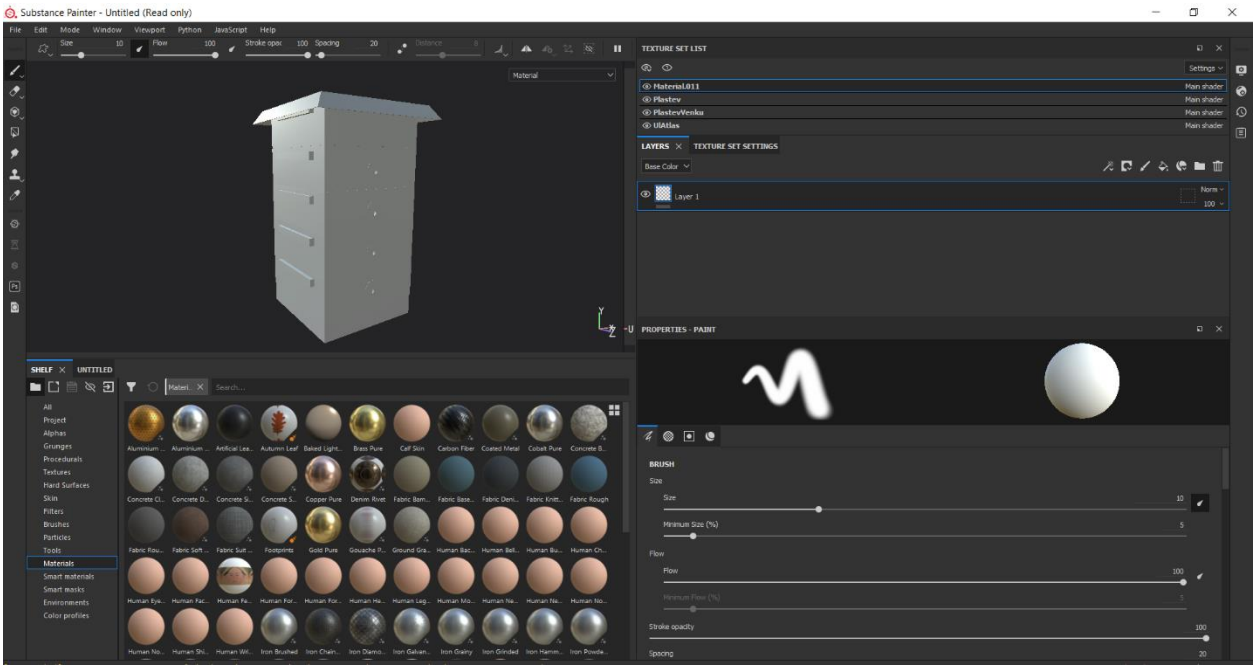
modelu na 2D plochu. Tímto rozbalením se vytváří rozložení geometrie modelu do plochy, což umožňuje aplikovat textury na jednotlivé části modelu.

Pro exportování modelu z Blenderu do formátu FBX jsme vybrali "File => Export => FBX (.fbx)".

## 5.2 Substance Painter

Pro vytvoření a úpravu textur byl použit program Substance Painter. Prostředí Substance Painteru je přehledné a intuitivní. Skládá se z několika hlavních panelů, které umožňují rychle a efektivně vytvářet a upravovat textury na 3D modelech.

Hlavním panelem je viewport, který model zobrazuje a umožňuje ho otáčet, přibližovat a posouvat. Na pravé straně se nachází panel "Layers", kde je možné vytvářet a spravovat texturové vrstvy. Pod tím se nachází panel "Properties", který zobrazuje vlastnosti vybrané vrstvy nebo materiálu. Na levé straně je panel "Shelf", který obsahuje knihovnu předem vytvořených materiálů a textur.

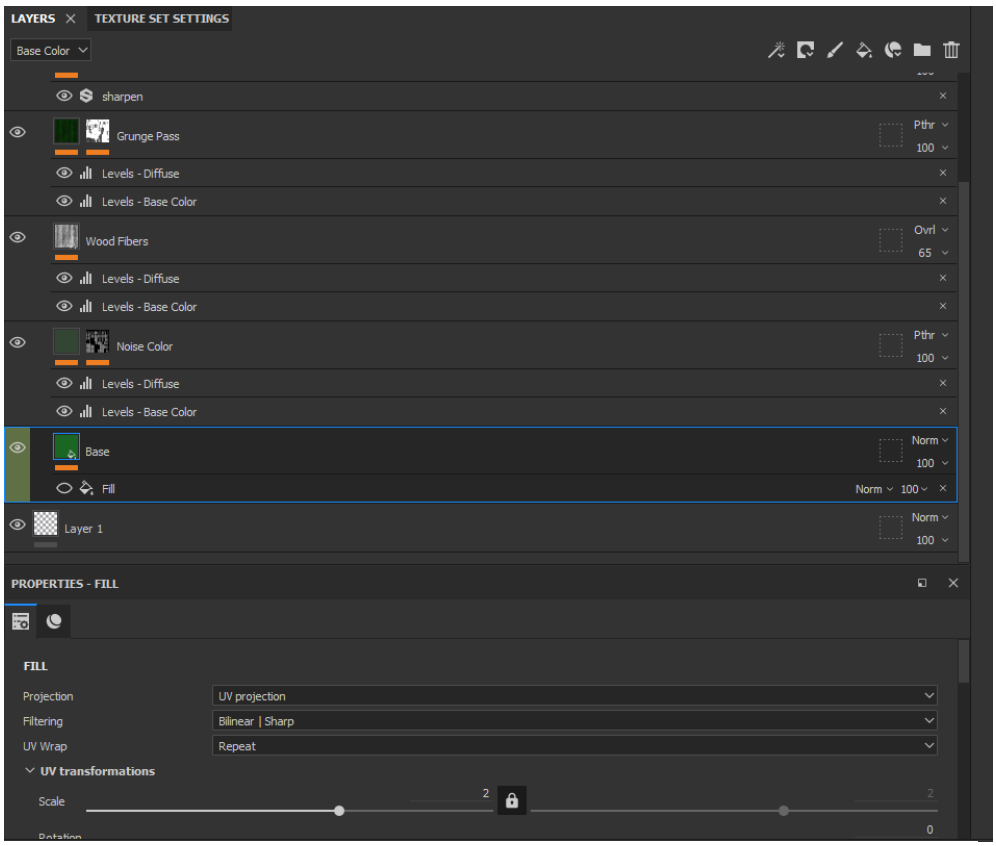



**Obr. 24 - Uživatelské rozhraní Substance Painteru**

Nový projekt byl vytvořen pomocí menu "File => New Project", dále byl tlačítkem "Select" vybrán požadovaný model ve formátu FBX a zmáčkli tlačítko "OK".

V panelu "Shelf" byl vždy pro danou část modelu vybrán požadovaný materiál z knihovny dostupných materiálů a další vlastnosti jako je například barva se upravovali vpravo v panelu "Layers" (Obr. 25). Proces texturování zahrnuje řadu technik a postupů pro vytvoření detailních a realistických textur. Mezi tyto techniky patří například textura "black maps" umožňující kontrolu konkrétních aspektů materiálu nebo textury. Dalším důležitým aspektem texturování bylo "texture baking" neboli vytvoření textur z vyrenderované scény. Tento proces spočívá v přenášení detailů a informací z 3D prostoru na 2D texturu. Texture baking umožnilo zachytit stíny, osvětlení, odrazy a další detaily modelu, které by jinak byly náročné na vykreslování v reálném čase.

Po vytvoření všech textur následoval jejich export pomocí "File => Export Textures" ve formátu png.




**Obr. 25 - Panel Layers**

# 6 Implementace 3D modelů do Unity3D

Tato kapitola se zabývá implementací modelů do enginu Unity3D a tvorbou aplikace.

## 6.1 Instalace softwaru

Pro instalaci softwaru je možné použít libovolný internetový prohlížeč. Po vyhledání oficiální webové stránku Unity Technologies je třeba nejprve vybrat požadovanou verzi Unity3D. Byla vybrána bezplatná verze, která je dostačující pro vytvoření aplikace. Pokud by byla vytvářena aplikace, která by generovala hrubý roční příjem větší než 100 000 dolarů, bylo by nutné pořídit placenou verzi Unity Pro. Po instalaci z oficiálních stránek Unity se do počítače nainstaluje Unity Hub, kde je umožněno vytvořit si nový účet přímo u společnosti Unity3D nebo se přihlásit se pomocí již existujícího účtu Google nebo Facebook. Tímto způsobem je možné spravovat své instalace Unity3D a provádět aktualizace na novější verze, stejně jako mít přehled o všech projektech a licencích. Pokud by se vyskytly problémy s přihlášením nebo správou svého účtu v Unity Hub, lze vyhledat podporu na stránkách Unity.

Dalším krokem je výběr verze, ve které se bude pracovat. Nejlepší volbou zpravidla bývá nejnovější verze s označením LTS (Long-Term Support), což zajistí dlouhodobou stabilitu a funkčnost verze. V našem případě byla zvolena verze 2021.3.10f1 LTS. Jelikož je vytvářena aplikace pro virtuální brýle, je zapotřebí nainstalovat také moduly Android a MS Visual Studio Community, které nabízí rozsáhlé funkce a možnost ladění kódu přímo v prostředí Unity.

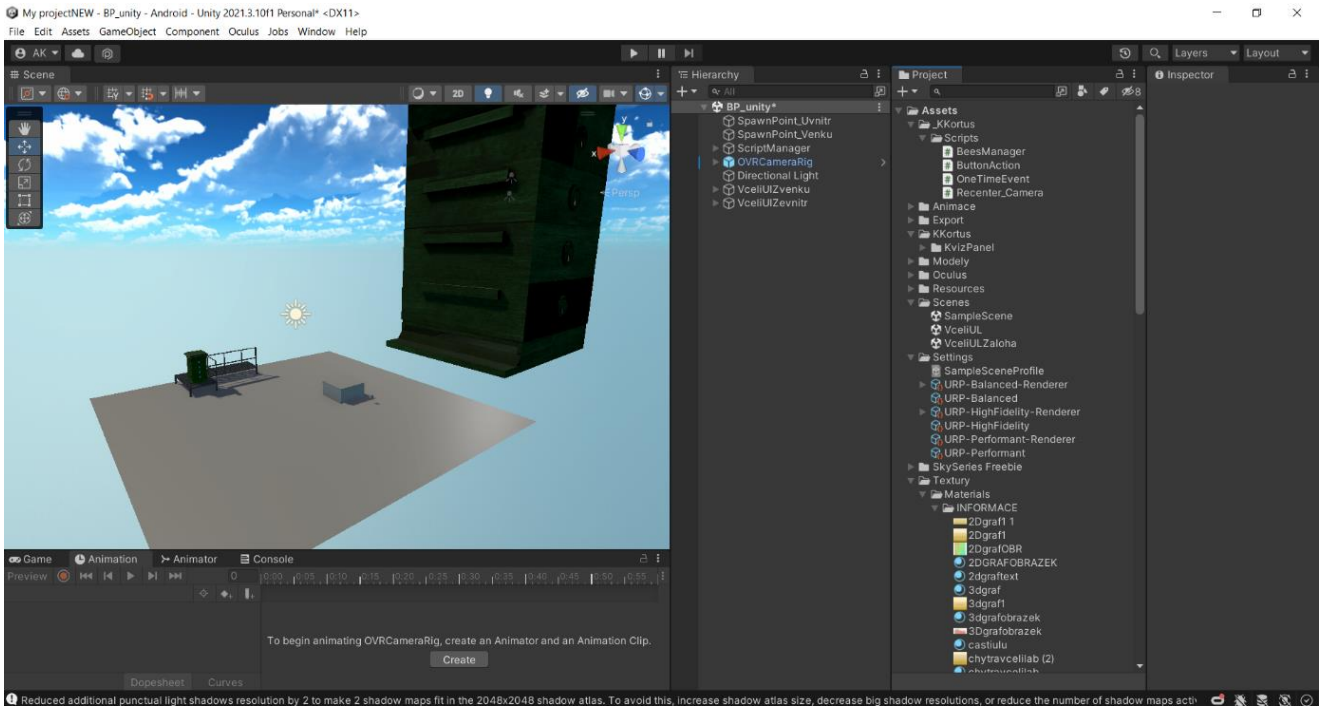
V Unity Hub se dále vybere šablona a vytvoří projekt. Pro vytvoření různých typů projektů si může uživatel vybrat z předem vytvořených šablon. Pro naše účely byla vybrána šablona Universal Render Pipeline (3D URP). URP je optimalizováno pro různé platformy a poskytuje rychlý výkon při renderování grafiky.

## 6.2 Vytvoření projektu

Po vytvoření nového projektu se objeví hlavní pracovní prostředí, které obsahuje několik záložek:

- Scene – slouží k editaci a sestavování scény. Zde je možné přidávat, odebírat a upravovat objekty.
- Game – umožňuje spustit a otestovat animace v editoru Unity.
- Asset Store – zobrazuje nabídku assetů, které mohou být doinstalovány do projektu, jako jsou textury, modely, animace a další.
- Packages – obsahuje balíčky funkcí, které mohou být doinstalovány do projektu.
- Hierarchy – zobrazuje hierarchii všech objektů v aktuální scéně. Zde je možné přidávat, odebírat a upravovat objekty.
- Project – zobrazuje veškeré soubory v projektu, jako jsou skripty, materiály, textury a další. Zde lze přidávat, odebírat a upravovat soubory.
- Inspector – umožňuje editaci vlastností vybraného objektu. Zde je možné měnit parametry objektu, jako jsou jeho pozice, velikost, materiál a další.
- Console – zobrazuje chybové a informační zprávy z projektu, které jsou generovány při běhu aplikace.

V horní části hlavního okna se také nacházejí nástroje pro manipulaci s objekty, jako jsou pohyb, rotace a měření vzdálenosti. Celé prostředí je navrženo tak, aby bylo přehledné a intuitivní pro vývojáře a umožňovalo snadné vytváření interaktivní 3D aplikace.

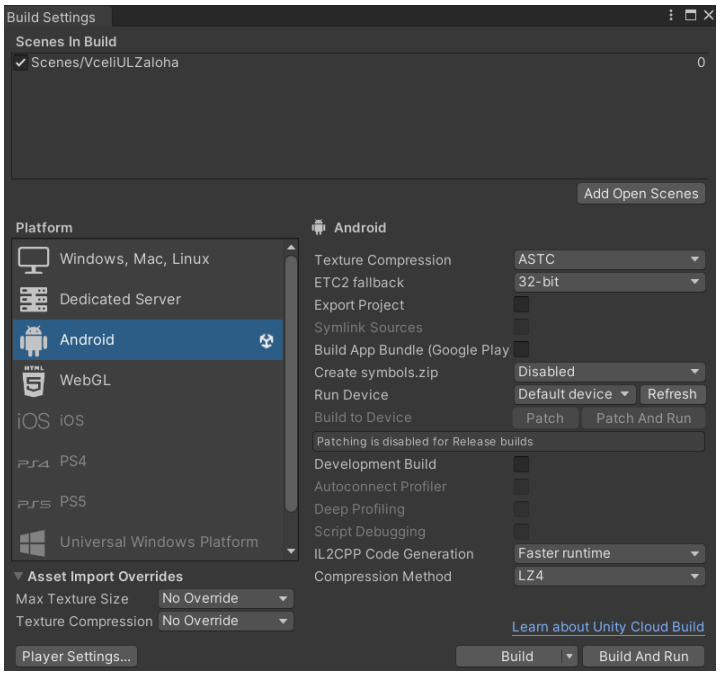



**Obr. 26 - Prostředí Unity**

### 6.2.1 Nastavení projektu

K nastavení projektu pro správnou funkčnost na brýlích Oculus Quest 2 je třeba provést několik kroků:

- V menu "File => Build Settings" byl nastaven náš projekt pro platformu Android a pole "Texture Compression" bylo změněno na "ASTC"(viz Obr. 27).




**Obr. 27 - Build Settings**

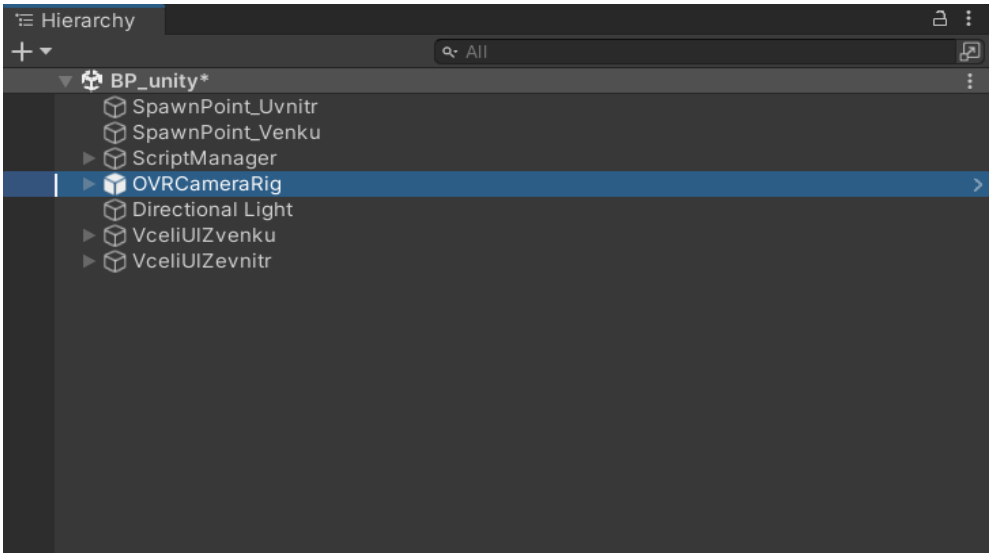
- Pro optimalizaci projektu byla nastavena následující konfigurace v menu "File => Build Settings => Player Settings" v záložce "Player":
- V záložce "Other Setting" bylo změněno pole "Color Space" na lineární, aby byly barvy vykreslovány jednodušeji.
- Pole "Texture compression format" bylo nastaveno rovněž na "ASTC" jako bylo provedeno v "Build Settings".
- „Minimum API Level“ bylo přepnuto na „Android 7.1 ‘Nougat‘“.
- V konfiguraci skriptů bylo třeba nastavit "Scripting Backend" na "IL2CPP" a "Target Architectures" z "ARMv7" na "ARM64".
- Změna "Install Location" z "Prefer External" na "Automatic".
- Jako poslední krok bylo v záložce "XR Plug-in Management" zaškrtnuto pole "Oculus".

Zbytek nastavení byl ponechán tak, jak byl v základu.

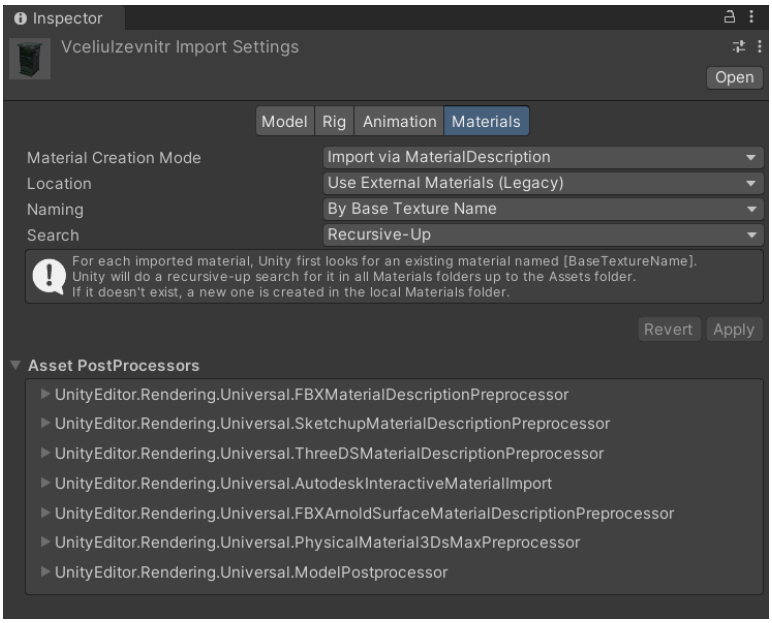
### 6.2.2 Vložení modelů a textur do projektu

Po nastavení projektu bylo možné začít s implementací modelů do Unity. Soubory s modely ve formátu FBX byly vloženy přetažením do složky "Models" ve složce "Assets". Dále byly do Unity importovány textutry vytvořené pomocí Substance Painteru do složky "Textures". V záložce "Hierarchy" byly vytvořeny objekty ve scéně (viz Obr. 29). Importované modely byly poté přidány do scény do jednotlivých objektů v hierarchii. Vlastnosti modelů lze upravovat v okně "Inspector", kde je možné nastavit například velikost, rotaci nebo materiál. Aby bylo možné přiřadit modelům textury, bylo třeba nejprve v tomto okně v záložce "Materials" přepnout "Location" z "Use Embedded Materials" na "Use External Materials" (viz Obr.30).

Po tomto kroku již bylo možné přiřadit odpovídající textury jednotlivým částem modelů též v okně "Inspector".




**Obr. 28 - Záložka Hierarchy s objekty**




**Obr. 29 - Inspector**

### 6.2.3 Tvorba skript

Skripty pro vytvoření funkcionalit byly vytvořeny kliknutím pravým tlačítkem myši na složku "Assets" v panelu "Project" a zvolením "Create => C# Script". Pro tvorbu skriptů byla využívána aplikace Microsoft Visual Studio.

Nejprve byl vytvořen skript "BeesManager", který obsahuje několik proměnných a metod. Celkově tento kód umožňuje spravovat skupinu objektů v Unity, aby byl viditelný vždy pouze jeden z objektů a po dokončení výběru všech objektů se zobrazí finální tlačítko.

Proměnné:

"parentObrazek": rodičovský objekt, který obsahuje několik dceřiných objektů (potomků).

"obrazky": pole objektů, do kterého jsou uloženy dceřiné objekty "parentObrazek".

"finallButton": herní objekt, který se zobrazí po dokončení přepnutí všech obrázků.

"counter": celočíselná proměnná, která uchovává počet přepnutých obrázků.

Metody:

"Start()": volá se při spuštění scény a vytváří pole objektů "obrazky" a přiřazuje jim objekty z dceřiných objektů "parentObrazek".

"OnlyOneActive(int actualNumber)": metoda, která má jeden celočíselný parametr "actualNumber": Tato metoda přepne viditelnost herních objektů v poli "obrazky" tak, aby byl viditelný pouze jeden objekt, který odpovídá indexu "actualNumber". Pokud je "actualNumber" rovno "i", objekt se aktivuje, jinak se deaktivuje. Pokud je počet přepnutých obrázků rovný počtu obrázků v poli "obrazky", metoda aktivuje herní objekt "finallButton" a zvyšuje hodnotu proměnné "counter".

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class BeesManager : MonoBehaviour
{
    public Transform parentObrazek;
    public GameObject[] obrazky;

    public GameObject finallButton;

    public int counter = 0;

    private void Start()
    {
        obrazky = new GameObject[parentObrazek.childCount];

        for (int i = 0; i < obrazky.Length; i++)
        {
            obrazky[i] = parentObrazek.GetChild(i).gameObject;
        }
    }

    public void OnlyOneActive(int actualNumber)
    {
        for (int i = 0; i < obrazky.Length; i++)
        {
            if(actualNumber == i)
            {
                obrazky[i].SetActive(true);
            }else { obrazky[i].SetActive(false); }

        }

        if(counter == obrazky.Length-1)
        {
            counter++;
            finallButton.SetActive(true);
        }
    }

}
```

**Obr. 30 - Skript "BeesManager"**

Dalším vytvořeným skriptem je "ButtonAction". Celkově tento kód umožňuje spouštět různé akce, když se tlačítko stiskne. Tyto akce zahrnují změnu aktuálního obrázku a spuštění přiřazené události.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.Events;

public class ButtonAction : MonoBehaviour
{
    public int numberOfPicture;
    public UnityEvent action;

    private BeesManager beesManager;

    private bool oneTime = true;

    private bool check = true;

    void Start()
    {
    beesManager = FindObjectOfType<BeesManager>();
    }


    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if(other.tag == "Ruka" && check)
        {
            check = false;

            if(oneTime)
            {
                oneTime = false;
                beesManager.counter++;
            }

            StartCoroutine(PauzaButton(other));
        }
    }

    IEnumerator PauzaButton(Collider rucka)
    {
        rucka.enabled = false;
        beesManager.OnlyOneActive(numberOfPicture);
        action?.Invoke();
        yield return new WaitForSeconds(1f);
        rucka.enabled = true;
        check = true;
    }
```

**Obr. 31 - Skript "ButtonAction"**

Dalším vytvořeným skriptem je" OneTimeEvent", který vytváří jednorázovou událost, která se spustí, když objekt s tímto skriptem narazí na jiný objekt s tagem "Ruka". Pokud byla událost již spuštěna (proměnná "oneTime" je false), kód nic neudělá. Pokud ještě nebyla spuštěna (proměnná "oneTime" je true), spustí se událost uložená v proměnné "doSomething".

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.Events;

public class OneTimeEvent : MonoBehaviour
{
    public UnityEvent doSomething;

    private bool oneTime = true;

    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if(oneTime && other.tag == "Ruka")
        {
            oneTime = false;
            doSomething.Invoke();

        }

    }
}
```

**Obr. 32 - Skript "OneTimeEvent"**

Posledním vytvořeným skriptem byl "Recenter_Camera". Vytvořený kód slouží pro nastavení pozice kamery v prostoru.Kód definuje třídu "Recenter_Camera", která obsahuje metodu "ResetVRPosition". Tato metoda slouží k přemístění kamery a uživatele na určené místo v prostoru a natočení kamery pod určitým úhlem.

### 6.2.4 Animace

Pro vytvoření animace létající včely bylo třeba nejprve vytvořit animační controller. Animační controller v Unity je součástí systému animací, který umožňuje řídit animace a chování 3D modelů v interaktivním prostředí. Obsahuje seznam animací, které jsou k dispozici pro určitý GameObject v hře. V tomto seznamu lze definovat, jak bude animace spouštěna, jak bude přehrávána a jak bude ovlivněna uživatelem nebo jinými faktory v hře. Pro vytvoření controlleru je třeba kliknout pravým tlačítkem myši na složku "Assets" v okně projektu, vybrat "Create" a poté vybrat "Animator Controller". K animačnímu controlleru pak byla přidána nová animaci kliknutím opět na tlačítko "Create" a následně vybráním "Animation". Dále byla vytvořena animaci létající včely nastavením klíčových snímků pro každou fázi animace ve vestavěném animačním editoru. Klíčové snímky byly nastaveny pro rotaci a pohyb modelu v určitý časový okamžik. Poté byla přiřazena k příslušnému Game Objectu v hierarchii komponenta "Animator" a animační controller do něj přetažen. Animaci lze pak přehrát a zkontrolovat stisknutím tlačítka "Play".

# 7 Návrh scénáře aplikace

Cílem aplikace je poskytnout uživateli možnost virtuální prohlídky včelího úlu zvenku i zevnitř a nabídnout interaktivní zážitek s možností naučit se více informací o včelách a jejich monitorování. Aplikace se bude skládat ze dvou scén, které poskytnou uživatelům unikátní zážitek z virtuální prohlídky včelího úlu. Uživatelé budou mít možnost vychutnat si realistické vizuální efekty a zvuky, které vytvoří atmosféru včelího prostředí.

První scéna se zaměřuje na vnější prostředí úlu a umožní uživatelům prohlédnout si okolí a exteriér úlu. Uživatel se nejprve bude nacházet před včelím úlem a bude mít možnost prozkoumat vnější prostředí úlu. Úl je umístěn na železné konstrukci, kolem které se uživatel bude moci pohybovat. Po prohlédnutí úlu se bude moci uživatel stisknutím tlačítka přemístit do druhé scény, která se zaměřuje na vnitřní prostředí úlu. Tento přechod přináší pocit ponoření do včelího světa, protože uživatel se ocitne v prostoru podmetu na mřížce, kam padají například rozdrobené kousky vosku, ale také roztoči. Uvnitř včelího úlu má uživatel možnost se volně pohybovat a zkoumat různé aspekty včelího života. Může se přiblížit a detailně prozkoumat otřesový senzor a zvukový senzor, které jsou klíčovými prvky v monitorování včelí kolonie. Dále si může prohlédnout jednotlivé včelí plástve a sledovat létající včely. K prohloubení prožitku uživatele by v aplikaci také mohl model včely představovat interaktivního průvodce, který uživatele provází aplikací a poskytuje mu instrukce.

Uprostřed místnosti včelího úlu se nachází stůl s panelem, který slouží jako interaktivní zdroj informací. Uživatel může pomocí pohybu ruky simulující stisknutí tlačítka v reálném světě vybrat konkrétní téma na panelu. Po vybrání tématu se na panelu zobrazí relevantní informace a případně doplňující obrázky, které umožňují uživatelům prohloubit si danou problematiku včelího světa ještě více.

Když uživatel prozkoumá všechna dostupná témata, aplikace nabízí závěrečnou fázi, která představuje kvíz s otázkami, který testuje a utvrzuje znalosti, které si uživatel během prohlídky získal. Tento kvíz představuje zábavný a interaktivní způsob, jak uživatele zapojit a poskytnout jim možnost ověřit si své znalosti o včelách a včelařství.

**Obr. 33 - Stůl s panelem**

Na levé straně panelu se nacházejí tři tlačítka se třemi hlavními tématy:

- Včely
- Chytrá včelí laboratoř
- Výstupy dat

Uprostřed panelu se nachází úvodní text s instrukcemi pro uživatele:

"Před tebou se nachází panel, na jehož levé straně jsou umístěna tlačítka, po jejichž stisknutí se zaktivuje pravá strana panelu obsahující informace o jednotlivých tématech. Po dokončení se na dolní části panelu objeví tlačítko, po jehož stisknutí se spustí vědomostní kvíz."

Po stisknutí tlačítka hlavního tématu se vždy na panelu objeví text s krátkým popisem a zároveň se zaktivují další tři tlačítka na pravé straně, které zobrazují podtémata k dané problematice. Stisknutím pravého tlačítka se opět zobrazí informační text, popřípadě obrázek. Jakmile uživatel prokliká všemi tématy a podtématy, zobrazí se na dolní části panelu nové tlačítko "Kvíz", po jehož spuštění se na panelu objeví 6 různých otázek, které vycházejí z informací, které si mohl uživatel osvojit.

Texty, které se po stisknutí jednotlivých tlačítek zobrazí jsou následující:

**Včely**

"Včely jsou sociální hmyz tvořící trvalá společenstva – včelstva. Včelstvo tvoří jedno velké společenství, které můžeme považovat za samostatný živý organismus."

**Stavba včel**

"Tělo včely se skládá ze tří částí – hlavy, hrudi a zadečku. Hlava včely je s hrudí spojena tenkým zúžením, které jí umožňuje pohyb. Na hlavě se nachází dvě složené oči a dvě tykadla, na kterých se nachází mnoho smyslových orgánů, pomocí kterých včela dovede vnímat čichová a hmatová podráždění. Hruď má hlavní funkci jako nosič orgánů pohybu – křídel a nohou. Včela má 3 páry nohou a na každém boku hrudní části jeden pár blanitých křídel. V zadečku včely jsou uložené zažívací orgány, medový váček, jedová žláza, vzdušné vaky a žihadlo."

**Struktura včelího společenstva**

"Včelí společenstvo se skládá z matky, dělnic a trubců. Dělnice jsou včelí samičky se zakrnělými pohlavními orgány, jejichž úkolem je vyhledávání a donášení potravy, zpracování medu, výstavba plástů, strážení vchodu do úlu a krmení matky, trubců a plodu. Tvoří většinu včelstva. Matka je jako jediná samička ve včelstvu schopna reprodukce, což je jejím jediným úkolem. Trubci jsou včelí samci, jejichž jediným úkolem je rovněž reprodukce."

**Části úlu**

"Úl se skládá z na sobě naskládaných dřevěných rámů, kterým se říká nástavky. V nich jsou zavěšené vyjímatelné rámky – ty tvoří základ pro stavbu voskových pláství a produkci medu. Horní části úlu se říká medník. Do pláství, které jsou uvnitř, ukládají včely zásoby medu. Z medníku pak včelař rámky odebírá a vytáčí z nich med. Plodiště je část úlu, ve kterém se chová plod a tato část je vyhrazena pro matku a včely, které se starají o plod. Je tvořeno jedním, či více nástavky s plásty a od medníku je oddělen mateří mřížkou, která brání matce prolézt do medníku a naklást v něm vajíčka. Spodní část úlu se nazývá dno."

**Chytrá včelí laboratoř**

"Nejstarším zařízením pro monitorování včel jsou úlové váhy, které včelaři využívají již desítky let. Mechanické ručičkové váhy jsou dnes nahrazovány digitálními váhami s možností zpracování a odeslání dat na požadované místo bez nutnosti obsluhy. K automatizaci dochází

stejně tak i u měření teploty, kdy za pomocí nových technologií dochází k zhodnocení a odeslání dat například do mobilní aplikace. Další disciplínou v oblasti monitorování včel je pozorování akustických projevů včel. Akustické přístroje napojené na počítačové centrum umožňují zaznamenávat frekvence, analyzovat akustická měření a výstupy zobrazit uživateli například v podobě grafu."

**Otřesový senzor**

"Pro případ odcizení jsou úly vybaveny otřesovým čidlem, který vyšle majiteli alarmující signál při neočekávaném pohybu. Připojený GPS vysílač pak začne sdílet aktuální pozici a ta se uživateli zobrazí na mapě. Pokud se pozice nemění, úl mohl spadnout ze stojanu."

**Teplotní senzor**

"Sledování teploty ve včelím chumáči prozradí mnoho o stavu a jevech ve včelstvu. Pomocí teplotních senzorů je možné velmi jednoduše zjistit stav plodu. Pro vývoj plodu včely potřebují udržet ve svém hnízdě teplotu mezi 32-35 °C, kdežto pro přežití v zimním chumáči bez plodu je jim dostatečná teplota kolem 20 °C. Naopak při déle trvajícím zvýšení teploty nad 36 °C plod hyne. Pokud nedojde k včasnému zjištění o úhynu včelstva, přichází včelař o většinu obsahu úlu, protože zásoby velmi rychle najdou jiné včely nebo škůdci jako jsou například mravenci nebo myši."

**Mikrofon**

"V oblasti elektronického monitorování včelstev se vyhodnocování frekvencí zvuků považuje za jeden z nejdůležitějších aspektů. Pohybující se včely typicky vytvářejí bzučivý zvuk ve frekvenčním rozsahu 100 Hz až 250 Hz. Pokud jsou tedy nejvýraznější složky ve spektru v tomto rozsahu, s největší pravděpodobností je včelstvo v pořádku. Analýzou zvukových projevů lze dostatečně jasně určit důvody zvýšeného vzrušení včelstva jako je např. nepřítomnost oplozené matky, nedostatek zásob, významná snůška, přehřátí včelstva v horkých dnech či nemoc."

**Výstupy dat**

"Ke sledování stavu včelstva slouží záznamy o jeho aktivitách. Výstupy z naměřených dat můžeme pozorovat například pomocí grafů. Nejvíce perspektivní metodou počítačové evidence jsou internetové aplikace, které umožňují přístup k zadaným údajům odkudkoliv. Chytrá včelí laboratoř umožňuje včelaři vedení všech záznamů týkajících se práce se včelami. Uživatelé aplikace vidí v evidenci všechna měření jednotlivých úlů včetně jejich vyhodnocení a systém je automaticky varuje v případě výskytu mimořádných situací."

**Teplota a váha úlu**

"Graf znázorňuje průběh teploty a váhy v úlu za sledované období. Váha úlu ukazuje cennou informaci o stavu zásob ve včelstvu a pomáhá včelaři s rozhodováním o přidávání medníků nebo o nutnosti zahájení vytáčení medu."

**2D graf akustických projevů**

"Na obrázku můžeme vidět graf 2D průběhů akustických dějů ve včelím úlu. Na vodorovné ose se nachází stupnice frekvencí a svislá osa znázorňuje čas sledování. Včely se začínají zvukově projevovat zhruba od frekvence 100 Hz."

**3D graf akustických projevů**

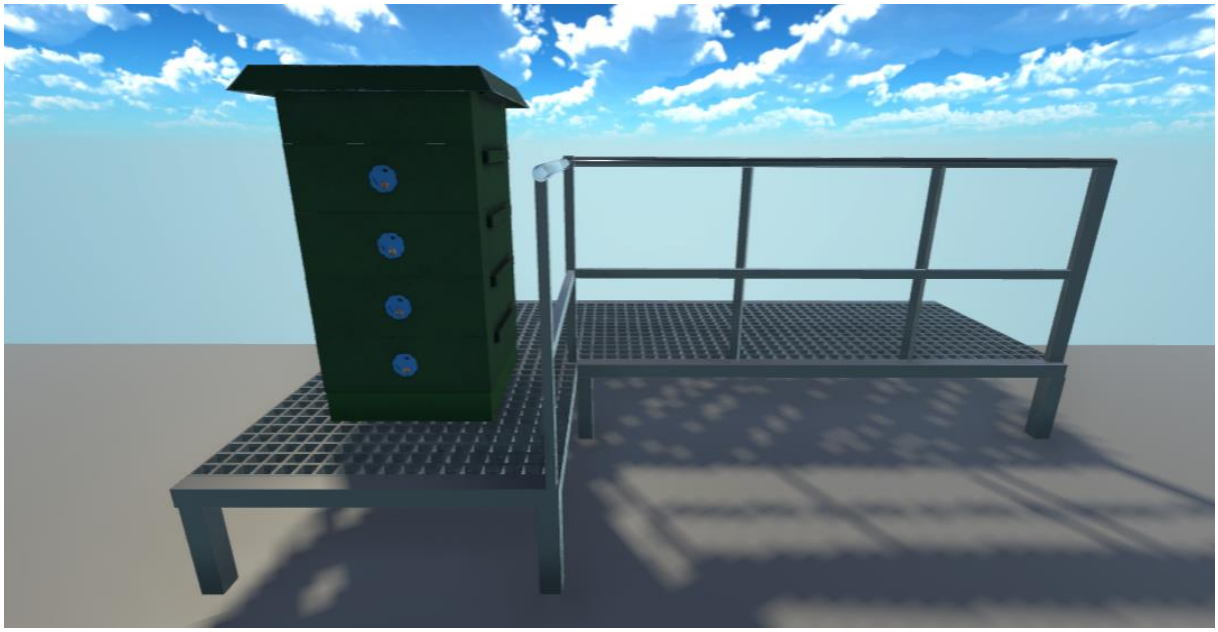
"Graf na obrázku zobrazuje 3D průběh akustických dějů, který navíc oproti 2D grafu znázorňuje intenzitu zvukových projevů včel."

# 8 Popis vytvořené aplikace

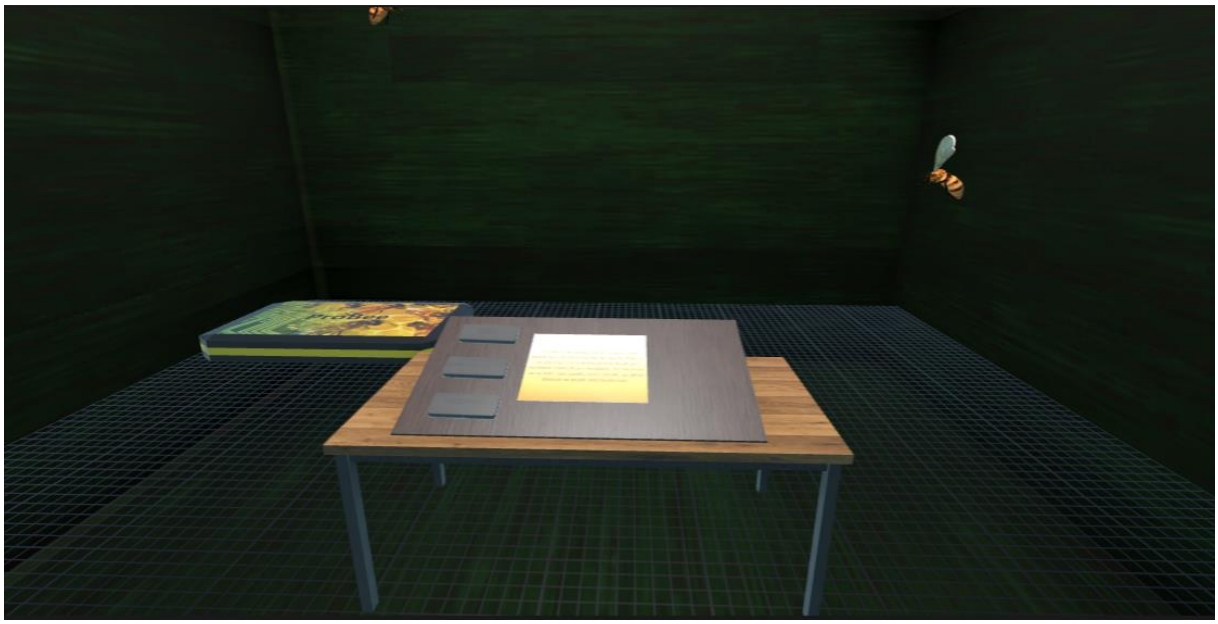
Aplikace přenáší uživatele do virtuálního prostředí včelího úlu na střeše Fakulty Strojní. Uživatel může prozkoumávat úl zvenku a poté přejít do vnitřních prostor, kde je možné se volně pohybovat. Vnitřek úlu nabízí detailní zobrazení otřesového senzoru, zvukového senzoru, pláství a létajících včel. Uživatel může interagovat s panelem na stole pomocí pohybu ruky a vybírat témata, která ho zajímají. Na panelu se zobrazují informace a doplňující obrázky k danému tématu. Po prozkoumání všech témat je k dispozici kvíz s otázkami, který pomáhá testovat a utvrdit znalosti uživatele. Tímto způsobem se prostřednictvím aplikace umožňuje uživatelům interaktivní a zajímavý způsob výuky o chytré včelí laboratoři. Aplikace kombinuje virtuální prostředí, pohybové interakce a informace o různých aspektech včelstva, což vytváří jedinečnou edukační zkušenost.

Tato aplikace využívá technologii virtuální reality, která přináší mnoho přidaných hodnot a zvyšuje celkovou kvalitu edukačního zážitku pro uživatele. Díky VR se uživatel ocitá v plně imerzivním prostředí, které mu umožňuje ponořit se do virtuálního světa včelího úlu a prožít ho v neuvěřitelně realistickém zobrazení. Jednou z hlavních výhod VR pro tuto aplikaci je možnost interakce pomocí hand trackingu. Uživatel může přímo pohybem ruky ovládat tlačítka na panelu a vybírat různá témata a informace. Tato forma interakce je přirozená a intuitivní, což přispívá k autentičnosti uživatelského prožitku. Využití VR také umožňuje věrnou vizualizaci a detailní zobrazení různých prvků včelího úlu, jako jsou otřesový senzor, zvukový senzor nebo samotné plástve. Uživatel má možnost se k těmto prvkům přiblížit, prozkoumat je a získat tak porozumění jejich funkce a významu.

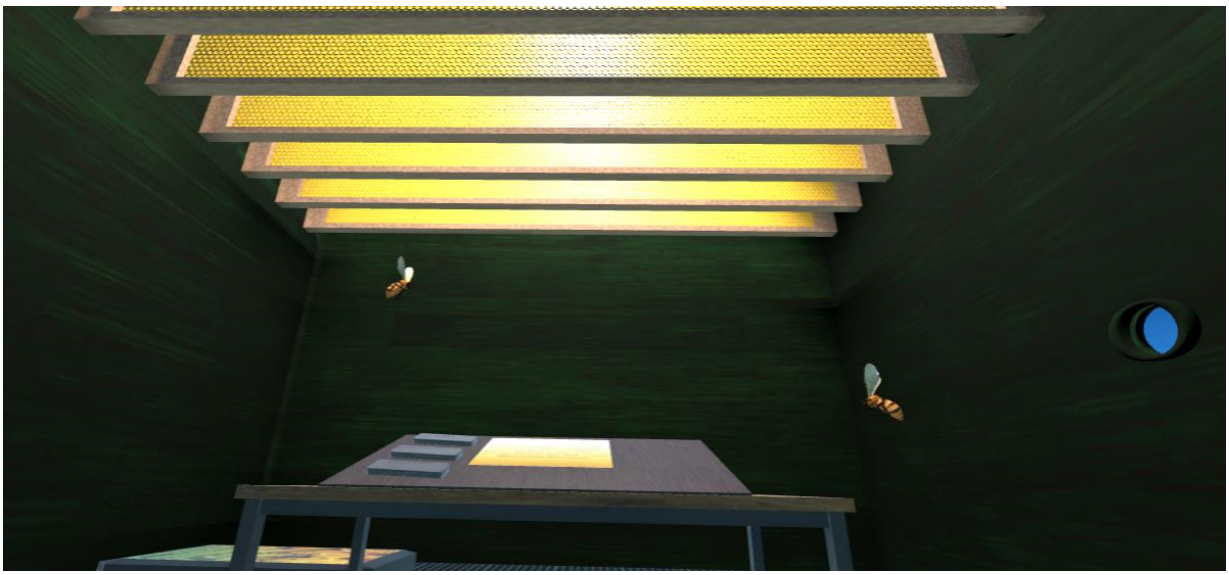
Celkově lze říci, že díky využití virtuální reality získává tato aplikace vysokou míru realismu, interaktivity a zapojení uživatele. VR vytváří prostředí, ve kterém se uživatel skutečně ocitá a aktivně se účastní virtuální prohlídky včelího úlu. To výrazně zvyšuje přitažlivost aplikace, její edukační hodnotu a přispívá k lepšímu a hlubšímu porozumění tématu včelstva.



**Obr. 34 - Vnější prostředí**



**Obr. 35 - Vnitřní prostředí úlu**



**Obr. 36 - Pohled na plástve uvnitř úlu**

# Závěr

V první části práce byla provedena teoretická rešerše, která poskytuje základní informace o včelích společenstvech, stejně jako o technologiích využívaných pro jejich monitorování. V rámci teoretické části práce jsme také studovali možnosti tvorby aplikace ve virtuální realitě a vyhodnocovali různé softwarové a hardwarové možnosti. Bylo důležité zvolit vhodný vývojový prostředek, který by umožnil vytvořit interaktivní a realistické prostředí včelího úlu.

Tímto teoretickým základem jsme se připravili na druhou, praktickou, část práce. Nejprve byly vytvořeny 3D modely včelího úlu, senzorů, pláství a dalších součástí prostředí. Pro tvorbu těchto modelů byl použit program Blender, který poskytuje široké možnosti tvorby a úpravy 3D objektů. Modely byly navrženy tak, aby co nejvěrněji reprezentovaly skutečné včelí prostředí. Následně byly tyto 3D modely importovány do Unity, kde byla provedena další práce na aplikaci. Byly vytvořeny interaktivní prvky, které umožňují uživatelům prozkoumávat včelí úl a získávat informace o jednotlivých součástech prostřednictvím virtuálních popisků a ovládacích prvků. Grafické prostředí bylo navrženo tak, aby bylo přitažlivé a přívětivé pro uživatele, a zároveň odpovídalo celkovému vizuálnímu stylu a záměru aplikace.

Vytvořená aplikace pro projekt Chytrá včelí laboratoř představuje interaktivní prostředek pro vzdělávání, který zároveň demonstruje schopnost využití moderních technologií v oblasti výzkumu. Tato aplikace slouží jako efektivní prostředek pro přiblížení fungování včelích společenstev a včelařských technik širší veřejnosti. S využitím virtuální reality a interaktivních prvků umožňuje uživatelům prozkoumat prostředí včelího úlu, přiblížit si senzory, plástve a samotné včely a získat tak hlubší porozumění tématiky. Aplikace také slouží jako nástroj pro propagaci naší fakulty, která se může prezentovat jako moderní a inovativní instituce, aktivně zapojená do vývoje moderních technologií.

# Použitá literatura

[1] STARÁ, Šárka. Aktuality. In: *Universitas* [online]. 2021 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.universitas.cz/aktuality/6866-na-strese-fakulty-strojni-zcu-vznikla-chytra-vceli-laborator

[2] CRAMP, David. *Včelařství*. 2. Praha: AMOS, 2016. ISBN 978-80-255-0831-2.

[3] ABDOLLAHI, Mahsa, Pierre GIOVENAZZO a Tiago H. FALK. Automated Beehive Acoustics Monitoring: A Comprehensive Review of the Literature and Recommendations for Future Work. *Applied Sciences* [online]. 2022, **12**(8), 1 [cit. 2022-12-02]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12083920

[4] ProBee. In: *ProBee* [online]. 2017 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.probee.cz/

[5] The radar microphone: A new way of monitoring honey bee sounds. *IEE Explore* [online]. 2016, 2 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: doi:10.1109/ICSENS.2016.7808865

[6] CRAIG, Alan B., William R. SHERMAN a Jeffrey D. WILL. *Developing virtual reality applications: foundations of effective design*. 2. Amsterdam: Elsevier, 2009. ISBN 9780123749437.

[7] SHERMAN, William R. *a Alan B CRAIG*. *Understanding Virtual Reality*: Interface, Application, and Design. 2. Cambridge: MA: Morgan Kaufmann, 2019. ISBN 0128183993.

[8] Virtuální realita. In: Https://*projekt-virtualnirealita.estranky*.cz/clanky/tri-stupne-virtualni-reality-podle-verohodnosti/ [online]. 2018 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://projekt-virtualnirealita.estranky.cz/clanky/tri-stupne-virtualni-reality-podle-verohodnosti/

[9] 3D modelování a renderování. In: IS MUNI [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/1492/el/sitmu/law/html/modelovani-a-renderovani.html

[10] MILS, Matt. Tools to make *a* virtual reality project. In: ITIGIC [online]. 2021 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://itigic.com/cs/tools-to-make-a-virtual-reality-project/

[11] CONSTINE, Josh. Startups. In: TechCrunch [online]. 2012 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://techcrunch.com/2012/04/26/sketchup-google-first-divestment/

[12] 3ds Max. In: Capterra [online]. *[cit*. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.capterra.com/p/206897/3ds-Max/

[13] JANSEN, Stuart. *Maya* Review. In: PC Mag [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.pcmag.com/reviews/maya.

[14] License. In: Blender [online*]*. 2021 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.blender.org/about/license/

[15] Video Games Engines. In*:* Game Designing [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.gamedesigning.org/career/video-game-engines

[16] Unity Forum. In*:* Unity [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://forum.unity.com/threads/is-unityscript-javascript-discontinued.486824/

[17] Products. In: Unity [online*]*. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://unity.com/

[18] Unity for manufacturing. *In:* Develop 3D [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://develop3d.com/features/unity-visualisation-vr-manufacturing-industrial-design-game-on-simulation/

[19] Marketplace. In: *Unreal* Engine [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/substance-plugin.

[20] Licensing. In: *CryEngine* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.cryengine.com/support/view/licensing

[21] Showcase. In: CryEngine [online*]*. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.cryengine.com/showcase

[22] Godot Engine editor. In: Godot Engine [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://godotengine.org/article/godot-editor-running-web-browser.

[23] The Best VR *Headset* for Application Development. In: Program Ace [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://program-ace.com/blog/best-vr-headset-for-development/

[24] Products. In: *Meta* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.meta.com/quest/products/quest-2/

[25] Products. In: *Vive* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.vive.com/us/product/vive-focus3/overview/

[26] Flyingbee CC Attribution, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://sketchfab.com/3d-models/flying-bee-ba935104d4774583af65828289e8aad5

[27] Rámky. In: Apinovo *[online*]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.apinovo-vcely.cz/produkt/ramek-easy-click-langstroth-2-3-995-246-242/

[28] Frames. In: BetterBee *[online*]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.betterbee.com/wooden-hive-equipment-10-frame/ics10.asp.

[29] Včelařské Potřeby. In: *Včelí Obchod* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.vceliobchod.cz/celodrevene-dno-tenkostenny-ul